



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ**

Διδακτορική Διατριβή

του

Αλέξανδρου Νίκα

Επιβλέπων Καθηγητής: Αναπλ. Καθ. Χάρης Δούκας

Αθήνα 2019



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Ολοκληρωμένο Υπόδειγμα για την Υποστήριξη Αποφάσεων Κλιματικών Πολιτικών

Διδακτορική διατριβή

ΤΟΥ

Αλέξανδρου Νίκα

Συμβουλευτική Επιτροπή: Χ. Δούκας, Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π. (επιβλέπων)

Ι. Ψαρράς, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Δ. Ασκούνης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την: 26^η / Ιουνίου / 2019

.....
Χάρης Δούκας
Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Βασίλειος Ασημακόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γρηγόριος Μέντζας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Παπαβασιλόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Αλέξανδρος Φλάμος
Αναπλ. Καθηγητής ΠΑ.ΠΕΙ.

Αθήνα 2019

.....
Αλέξανδρος Νίκας

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Αλέξανδρος Νίκας, 2019
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για όλα αυτά τα χρόνια,

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον δάσκαλό μου, Καθηγητή κ. Χάρη Δούκα, ο οποίος από την πρώτη στιγμή μου έδειξε εμπιστοσύνη, μου έδωσε αυτήν την μοναδική ευκαιρία να εργαστώ και να φοιτήσω υπό την επίβλεψή του, και μου προσέφερε απλόχερα την αδιάκοπη και αμέριστη καθοδήγησή του. Πολύ θερμές ευχαριστίες οφείλονται επίσης: στον διευθυντή του εργαστηρίου, Καθηγητή κ. Ιωάννη Ψαρρά, για τη διαρκή εμπιστοσύνη και ενθάρρυνση στο έργο μου, καθώς και για τις ιδέες του και εποικοδομητικές συζητήσεις μας· στον Καθηγητή κ. Αλέξανδρο Φλάμο και την ομάδα του εργαστηρίου του στο Πανεπιστήμιο Πειραιά, για την άψογη συνεργασία και τα ενδιαφέροντα, διασκεδαστικά και ενίοτε περιπετειώδη ταξίδια μας σε Ελλάδα και Ευρώπη· καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της επταμελούς επιτροπής καθοδήγησης και αξιολόγησης της διδακτορικής διατριβής μου, τους Καθηγητές κ.κ. Δημήτριο Ασκούνη, Βασίλειο Ασημακόπουλο, Γρηγόριο Μέντζα, και Γεώργιο Παπαβασιλόπουλο.

Έπειτα, θα ήθελα από τα βάθη της καρδιάς μου να ευχαριστήσω την υπέροχη οικογένειά μου: τους γονείς και πρότυπά μου, Συντύχη και Κώστα, για την παράλογη κατανόηση που έδειξαν στις ιδιοτροπίες και τις προκλήσεις που απαρτίζουν τον χαρακτήρα μου, την αδιάκοπη στήριξή τους στις σπουδές και τη ζωή γενικότερα, την αγάπη που μου καλλιέργησαν για την έρευνα, και την επιμονή που με εφοδίασαν για τις σπουδαιότερες δυσκολίες που αντιμετώπισα· τα αδέρφια μου, Κωνσταντίνα και Ανδρέα, για την εξίσου αλόγιστη κατανόηση που μου έδειξαν, το θάρρος που τόσο απλόχερα μου χάρισαν και πρωτίστως γιατί αμφότεροι αποτέλεσαν υπόδειγμα ανθρώπου· την Γιάννα και τον Θάνο που πάντα θα έβρισκαν τρόπο να νιώσουν υπερηφάνεια έστω και για μισή λέξη από αυτόν τον τόμο· και φυσικά την Γιάννα, για τα όμορφα χρώματα που γέμισε τις μέρες που αφιέρωσα στην έρευνα, και την ατελείωτη συμπαράσταση που έδειξε τα βράδια που ξενύχτησε μαζί μου, υπομένοντας το φως του υπολογιστή που για ώρες την κρατούσε ξύπνια, κι ας μην «καταλαβαίνω λέξη από το ερευνητικό σου έργο».

Ιδιαίτερη μνεία οφείλει να γίνει στις φίλες και τους φίλους μου, την Πετρούλα και τον Νίκο, την Χριστίνα και τον Χρήστο, την Ιωάννα και την Χρύσα, τον Σωτήρη και τον Θέμη, την Βάσω και τον Γιώργο, τον Νίκο και τον Γιώργο, και όλες/-ους εκείνες/-ους που μου δώρισαν την ανεκτίμητης αξίας συντροφιά και αγάπη τους και με στήριξαν έμπρακτα σε κάθε μου προσπάθεια, με κάθε τρόπο και σε κάθε ευκαιρία, κι ας απογοήτευσά με την απουσία μου συχνότερα από όσο θα ήθελα να παραδεχτώ.

Η διατριβή αυτή δεν θα μπορούσε να είχε ολοκληρωθεί χωρίς τις/τους υπέροχες/-ους συναδέλφους μου, την Ελένη και τον Χρήστο, την Κατερίνα και τον Αποστόλη, την Χαρά και την Κατερίνα, την Αριάδνη και τον Βαγγέλη, και ολόκληρη την οικογένεια του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης ΕΜΠ, για το πολύ φιλικό κλίμα, το ευχάριστο και εποικοδομητικό εργασιακό και ακαδημαϊκό περιβάλλον, την συντροφιά τους σε αυτό το ερευνητικό ταξίδι και φυσικά την φιλία τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την μεγάλη οικογένεια της Mano Aperta, η οποία για πολύ μεγάλο διάστημα κατά τη διάρκεια των διδακτορικών σπουδών μου αποτέλεσε μία από τις ελάχιστες σταθερές μου, και σε πολύ δύσκολους καιρούς συνέχισε να μου διδάσκει ανθρωπιά και αλληλεγγύη. Κάθε μέλος της αξίζει ξεχωριστή, ονομαστική αναφορά, αλλά αυτός ο τόμος πρέπει κάποια στιγμή να κλείσει.

Για έναν κόσμο πιο δίκαιο.

Αλέξανδρος Νίκας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πλαίσιο των μετασχηματισμών που απαιτούνται για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, η Συμφωνία του Παρισιού τονίζει την ανάγκη σχεδιασμού και υλοποίησης παγκοσμίως συντονισμένων, βιώσιμων, εύρωστων και κοινωνικά αποδεκτών μονοπατιών πολιτικής. Επί δεκαετίες, η επιστημονική κοινότητα υποστήριζε την χάραξη κλιματικής πολιτικής κυρίως μέσω εργαλείων μοντελοποίησης κλίματος-οικονομίας. Σκοπός της διατριβής είναι η μελέτη της έως τώρα επιστημονικής συνεισφοράς τους στη χάραξη πολιτικής, η ανάδειξη των διαθέσιμων μέσων για τη διαμόρφωση ενός νέου υποδείγματος που ανταποκρίνεται στις υφιστάμενες και νέες προκλήσεις, η επιλογή μεθοδολογιών και ανάπτυξη μίας εργαλειοθήκης υποστήριξης αποφάσεων στην κατεύθυνση του προτεινόμενου υποδείγματος, και η εφαρμογή της σε πραγματικές μελέτες περίπτωσης.

Συγκεκριμένα, υποστηρίζεται ότι οι διεργασίες μοντελοποίησης καθαυτές διευρύνουν το χάσμα μεταξύ επιστήμης και πολιτικής, και διερευνώνται οι κυρίαρχες επικρίσεις των τυποποιημένων πλαισίων μοντελοποίησης. Το προτεινόμενο υπόδειγμα ορίζει τις έννοιες του κινδύνου και της αβεβαιότητας στην κλιματική πολιτική, και τονίζει τη σημασία των ποικίλων μοντελικών συνόλων, του ανθρώπινου παράγοντα, και της ευρωστίας των τελικών συστάσεων πολιτικής. Για την κατασκευή αυτού του ολοκληρωμένου επιστημονικού υποδείγματος, αρχικά επιχειρείται η οργάνωση των μοντέλων κλίματος-οικονομίας. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση και επιλογή τριών μεθοδολογιών υποστήριξης αποφάσεων για την πλαισίωση του προτεινόμενου υποδείγματος, με κριτήριο τη δυνατότητά τους να αντιμετωπίσουν τις κύριες αδυναμίες των μοντέλων κλίματος-οικονομίας και να αναβαθμίσουν τις διεργασίες χάραξης κλιματικής πολιτικής. Αυτές περιλαμβάνουν τους ασαφείς γνωστικούς χάρτες, την πολυκριτήρια ανάλυση και την ανάλυση χαρτοφυλακίου.

Έτσι, αναπτύσσεται και παρουσιάζεται μία εξειδικευμένη εργαλειοθήκη. Η χαρτογράφηση συστημάτων συνδυάζεται με το πλαίσιο των συστημάτων καινοτομίας και εισάγεται στον χώρο της κλιματικής πολιτικής, ενώ αναπτύσσεται το λογισμικό MATISE για τη διαχείριση της γνώσης εμπειρογνομόνων. Η ασαφής γνωστική χαρτογράφηση τροποποιείται ώστε να ενσωματώνει την έννοια του χρόνου, και το εργαλείο ESQAPE εισάγει το νέο μεθοδολογικό πλαίσιο στην ενεργειακή και κλιματική πολιτική. Τέλος, περιγράφεται μία νέα προσέγγιση πολυκριτήριας πολυμετοχικής ανάλυσης βασισμένης στην Behavioural TOPSIS και παρουσιάζεται λεπτομερώς ένα εξειδικευμένο εργαλείο, το MACE-DSS.

Το προτεινόμενο επιστημονικό υπόδειγμα έπειτα δοκιμάζεται σε πέντε πραγματικές εφαρμογές και με διαφορετικές συνθέσεις των διαστάσεων που το απαρτίζουν: των αναπτυγμένων μεθοδολογικών πλαισίων και εργαλείων, των συνδυασμών μοντέλων κλίματος-οικονομίας, και της γνώσης των εμπειρογνομόνων. Οι τέσσερις μελέτες περίπτωσης περιλαμβάνουν την αποτίμηση των επιδράσεων των κινδύνων μίας ενεργειακής μετάβασης στην Ελλάδα με βάση την ηλιακή ενέργεια, τον προσδιορισμό βέλτιστων τεχνολογιών στην ευρωπαϊκή ηλεκτροπαραγωγή, την αξιολόγηση των δυνατοτήτων απανθρακοποίησης του πολωνικού ενεργειακού τομέα, και τη μελέτη των προοπτικών για έναν πράσινο κτιριακό τομέα στην Κίνα. Τέλος, επιχειρείται μία συνολική εφαρμογή όλων των μεθοδολογιών και πτυχών του προτεινόμενου υποδείγματος, σε μία προσπάθεια προσδιορισμού του βέλτιστου μίγματος πολιτικής για την βελτιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας στην Ελλάδα.

Λέξεις-κλειδιά: κλιματική αλλαγή, κλιματική πολιτική, μοντέλα ολοκληρωμένης αποτίμησης, Συμφωνία του Παρισιού, κίνδυνος, αβεβαιότητα, ασαφείς γνωστικοί χάρτες, πολυκριτηριακά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, ανάλυση χαρτοφυλακίου, εμπειρογνώμονες

ABSTRACT

In pursuit of the drastic transformations necessary for effectively responding to climate change, the Paris Agreement stresses the need to design and implement sustainable, robust, and socially acceptable policy pathways in a globally coordinated and cooperative manner. For decades, the scientific community has been carrying out quantitative modelling exercises in support of climate policy design, primarily by means of climate-economy modelling tools. The aim of this dissertation is to describe in detail the context of these tools' hitherto scientific contribution to policymaking, highlight the available means to formulate a new paradigm that overcomes existing and emerging challenges, select methodologies and develop a dedicated climate policy support toolbox in line with the proposed paradigm, and ultimately implement the toolbox in real-world case studies.

In particular, individual modelling exercises alone are argued to widen the gap between formal representation and real-life context in which decisions are taken, and major criticisms to which formalised modelling frameworks are subject are investigated. The proposed paradigm introduces a concrete definition of risk and uncertainty in climate policy, and then underlines the importance of employing diverse modelling ensembles, placing the human factor at the core of modelling processes and enhancing the robustness of model-driven policy prescriptions with decision support systems. To lay the groundwork of this integrative scientific paradigm, an attempt is made to provide a detailed overview and consistent classification of scientists' traditional tools in support of climate policy, i.e. climate-economy models. After exploring major weaknesses of the formalised modelling frameworks, three decision support methodologies are reviewed and selected to frame the proposed paradigm, based on their capacity to overcome said weaknesses and eventually enhance climate policy making processes. These include fuzzy cognitive maps, multiple-criteria decision aid, and portfolio analysis.

Based on these findings, a dedicated toolbox is developed and discussed. The system mapping method is integrated with the systems of innovation framework and framed in the climate policy domain for the first time, and the MATISE software application is introduced for managing stakeholder knowledge for the evaluation of innovation systems in the face of climate change. The fuzzy cognitive mapping approach is formalised and modified to include the notion of time, and the developed ESQAPE software application introduces the new framework in energy and climate policy. Finally, a new Behavioural TOPSIS-oriented multi-criteria group decision making approach for evaluating climate policy risks is described and a dedicated tool, MACE-DSS, is developed and discussed in detail.

The proposed scientific paradigm is then stress-tested in five real-world applications and settings of the dimensions comprising it: the developed methodological frameworks, climate-economy modelling ensembles, and stakeholder knowledge. The four case studies include the assessment of the impacts of risks associated with a solar-based energy transition in Greece, the identification of optimal technological portfolios for European power generation, the evaluation of the potential for decarbonising the Polish power sector, and the assessment of prospects for a green building sector in China. Finally, all aspects and methodologies comprising the proposed paradigm are integrated in an effort to determine the optimal policy mix for enhancing energy efficiency in Greece in the short term.

Keywords: climate change; climate policy; integrated assessment models; Paris Agreement; risk; uncertainty; fuzzy cognitive maps; multi-criteria decision aid; portfolio analysis; stakeholders

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	7
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	9
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	15
1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
1.1 Σκοπός και αντικείμενο διατριβής	17
1.2 Συμβολή διατριβής	17
1.2.1 Διαμόρφωση ενός σύγχρονου, εύρωστου και αποτελεσματικού υποδείγματος	17
1.2.2 Ανάπτυξη επιμέρους μεθοδολογιών υποστήριξης της κλιματικής πολιτικής	19
1.2.3 Ανάπτυξη εργαλειοθήκης για την υποστήριξη χάραξης κλιματικής πολιτικής	20
1.3 Δομή διατριβής	20
2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΓΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΕΝΟΣ ΝΕΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	25
2.1 Εισαγωγή	25
2.2 Οι έννοιες του κινδύνου και της αβεβαιότητας στην κλιματική δράση	27
2.3 Πολυδιάστατα χαρακτηριστικά του προβλήματος	29
2.4 Ο ρόλος των εμπειρογνομόνων	32
2.5 Ανάγκη ενσωμάτωσης νέων μεθοδολογιών	34
2.6 Συμπεράσματα	35
2.7 Βιβλιογραφία	38
3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΛΙΜΑΤΟΣ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ	43
3.1 Εισαγωγή	43
3.2 Ταξινόμηση των μοντέλων κλίματος-οικονομίας	46
3.3 Μοντέλα βέλτιστης ανάπτυξης	55
3.4 Μοντέλα γενικής ισορροπίας	62
3.5 Μοντέλα μερικής ισορροπίας	66
3.6 Μοντέλα ενεργειακών συστημάτων	69
3.7 Μακροοικονομετρικά μοντέλα	74
3.8 Άλλα μοντέλα ολοκληρωμένης αποτίμησης	76
3.9 Συμπεράσματα	81

3.10	Βιβλιογραφία	82
4ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ		
ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ		95
4.1	Εισαγωγή	95
4.2	Τα ΜΟΑ και η ανάγκη για ολοκλήρωση	98
4.3	ΑΓΧ, μία προσέγγιση ημιποσοτικής μοντελοποίησης	101
4.4	ΠΣΥΑ και κλιματική πολιτική	106
4.5	ΑΧ: μέτρα κλιματικής πολιτικής ως περιουσιακά στοιχεία	120
4.6	Συμπεράσματα	129
4.7	Βιβλιογραφία	129
5ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ ΥΠΟ ΤΟ ΠΡΙΣΜΑ ΤΗΣ		
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ		145
5.1	Εισαγωγή	145
5.2	Τα Συστήματα Καινοτομίας	147
5.3	Χαρτογράφηση Συστημάτων	149
5.4	Η ΧΣ ως ερευνητικό εργαλείο για την κλιματική πολιτική	152
5.5	Το εργαλείο MATISE	155
5.5.1	Εισαγωγή στο MATISE	155
5.5.2	Εννοιολογικό πλαίσιο	156
5.5.3	Ροή εργασιών	156
5.5.4	Επεκτασιμότητα και διαθεσιμότητα κώδικα	160
5.5.5	Τεχνικές δυνατότητες και χαρακτηριστικά	160
5.5.6	Ολοκλήρωση με άλλες προσεγγίσεις μοντελοποίησης	164
5.6	Συμπεράσματα	165
5.7	Βιβλιογραφία	166
6ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΑΣΑΦΗΣ ΓΝΩΣΤΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ		
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ		171
6.1	Εισαγωγή	171
6.2	Μεθοδολογία	173
6.2.1	Ασαφείς γνωστικοί χάρτες	173
6.2.2	Μεθοδολογικό πλαίσιο	175
6.3	Το εργαλείο ESQAPE	175
6.4	Αξιολόγηση μιγμάτων ενεργειακής πολιτικής	183
6.4.1	Πλαίσιο εφαρμογής	183
6.4.2	Μίγματα πολιτικής	184
6.4.3	Κοινωνικοοικονομικά σενάρια	185
6.4.4	Σχεδίαση του ΑΓΧ	187

6.4.5	Αποτελέσματα προσομοίωσης	189
6.5	Αξιολόγηση στρατηγικών κλιματικής πολιτικής	193
6.5.1	Πλαίσιο εφαρμογής	193
6.5.2	Μέτρα και στρατηγικές πολιτικής	194
6.5.3	Κοινωνικοοικονομικά σενάρια	195
6.5.4	Σχεδιασμός και παραμετροποίηση μοντέλου	196
6.5.5	Αποτελέσματα και συζήτηση	198
6.6	Συμπεράσματα	201
6.7	Βιβλιογραφία	203
7ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ		207
7.1	Εισαγωγή	207
7.2	ΠΣΥΑ και ομαδικές αποφάσεις στην κλιματική πολιτική	209
7.3	Το εργαλείο MACE-DSS	217
7.3.1	Ενοποίηση δεδομένων εισόδου	219
7.3.2	Πολυκριτήρια ανάλυση	220
7.3.3	Έλεγχος συμφωνίας	224
7.4	Αξιολόγηση κινδύνων και μέτρων πολιτικής	226
7.4.1	Εκτίμηση της σημαντικότητας των κινδύνων υλοποίησης	226
7.4.2	Αξιολόγηση μέτρων πολιτικής	232
7.5	Συμπεράσματα	235
7.6	Βιβλιογραφία	237
8ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΑΓΧ ΚΑΙ ΜΟΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΜΙΑΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ		245
8.1	Εισαγωγή	245
8.2	Διαμόρφωση του διεπιστημονικού μεθοδολογικού πλαισίου	249
8.2.1	Ασαφείς γνωστικοί χάρτες	249
8.2.2	Το μοντέλο BSAM	250
8.2.3	Το μοντέλο MEMO	250
8.3	Προσδιορισμός των κινδύνων με τη βοήθεια των εμπειρογνομόνων	251
8.4	Ανάπτυξη ενός συνδυαστικού πλαισίου μοντελοποίησης	262
8.4.1	Ανάλυση σεναρίων	262
8.4.2	Υποθέσεις και παράμετροι μοντελοποίησης	264
8.5	Αποτελέσματα μοντελοποίησης: κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις	267
8.5.1	Οικονομικοί κίνδυνοι	267
8.5.2	Κοινωνικοί κίνδυνοι	271
8.6	Συμπεράσματα και προοπτικές	273

8.7	Βιβλιογραφία	275
9ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΜΟΑ ΚΑΙ ΑΧ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ		
ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ		281
9.1	Εισαγωγή	281
9.2	Μέθοδοι και μοντέλα	285
9.2.1	Το μοντέλο GCAM	285
9.2.2	Ανάλυση χαρτοφυλακίου	286
9.2.3	Ανάλυση ευρωστίας	289
9.3	Προτεινόμενη προσέγγιση ολοκλήρωσης	291
9.4	Εφαρμογή και αποτελέσματα	293
9.4.1	Διαμόρφωση προβλήματος	293
9.4.2	Δεδομένα εισόδου	296
9.4.3	Διαχείριση αβεβαιότητας και αξιολόγηση ευρωστίας	297
9.5	Συμπεράσματα	301
9.6	Βιβλιογραφία	303
10ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΜΟΑ, ΧΣ ΚΑΙ ΑΓΧ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΟΠΑΤΙΩΝ ΠΡΑΣΙΝΗΣ		
ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΩΝΙΑ		309
10.1	Εισαγωγή	309
10.2	Κλασική οικονομική ανάλυση	312
10.2.1	Ορισμός των βασικών εννοιών	312
10.2.2	Η εργαλειοθήκη	312
10.2.3	Αποτελέσματα της μοντελοποίησης του ενεργειακού συστήματος	314
10.2.4	Αποτελέσματα της ανάλυσης γενικής ισορροπίας	318
10.2.5	Δυνατά και αδύναμα σημεία της κλασικής οικονομικής ανάλυσης	321
10.3	Πέραν της κλασικής οικονομικής ανάλυσης – κρυμμένοι κίνδυνοι	323
10.3.1	Χαρτογράφηση της γνώσης των εμπειρογνομόνων με ΑΓΧ	323
10.3.2	Κύριοι κίνδυνοι του πράσινου μονοπατιού	329
10.3.3	Κύριοι κίνδυνοι του baseline μονοπατιού	331
10.4	Ανάλυση αβεβαιότητας	332
10.4.1	Χαμηλές τιμές ΣΕΔΕΕΕ	332
10.4.2	Χαμηλά κόστη ΑΠΕ	335
10.4.3	Υψηλά κόστη ΑΠΕ	335
10.4.4	Μη διαθεσιμότητα πυρηνικής ενέργειας	335
10.5	Συμπεράσματα	336
10.6	Βιβλιογραφία	338
11ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΠΣΥΑ, ΧΣ ΚΑΙ ΑΓΧ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΜΙΑΣ		
ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ ΤΟΥ ΚΙΝΕΖΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ		341

11.1	Εισαγωγή	341
11.2	Ερευνητικό πλαίσιο: πρωταρχικές στρατηγικές κλιματικής πολιτικής	346
11.2.1	Κώδικες και κανονισμοί πράσινης κατασκευής	347
11.2.2	Σύστημα αξιολόγησης και πιστοποίησης πράσινων κτιρίων	348
11.2.3	Πολιτικές επιδοτήσεων και προνομιακών μεταχειρίσεων	348
11.2.4	Ενημερωτικές εκστρατείες	349
11.3	Εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου	349
11.3.1	Πολυκριτήρια αξιολόγηση των κινδύνων	349
11.3.2	Ανάπτυξη γνωστικού χάρτη του συστήματος	354
11.3.3	Διαμόρφωση των πέντε κοινωνικοοικονομικών σεναρίων	357
11.3.4	Η πιθανή επίδραση των κινδύνων στα πέντε κοινωνικοοικονομικά σενάρια	360
11.3.5	Προσομοίωση του ΑΓΧ	361
11.4	Συμπεράσματα	364
11.5	Βιβλιογραφία	366

12ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ

ΠΡΩΘΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ 371

12.1	Εισαγωγή	371
12.2	Πλαίσιο μελέτης	375
12.2.1	Στόχοι και πρόοδος	375
12.2.2	Μέτρα πολιτικής	376
12.2.3	Το αβέθαιο ελληνικό περιβάλλον	379
12.2.4	Προκλήσεις και κίνδυνοι στο βραχυπρόθεσμο και μεσοπρόθεσμο μέλλον	381
12.3	Μεθοδολογική Προσέγγιση	383
12.3.1	Διαμόρφωση του προβλήματος	383
12.3.2	Συγκέντρωση δεδομένων από το μοντέλο ενεργειακού συστήματος	383
12.3.3	Μοντέλο ΠΣΥΑ για την αξιολόγηση κινδύνου	384
12.3.4	Πολυστοχικό μοντέλο ΑΧ	385
12.3.5	Ανάλυση ευρωστίας με προσομοιώσεις Monte Carlo	386
12.3.6	Επιλογή του βέλτιστου μίγματος πολιτικής με ΑΓΧ	387
12.4	Εφαρμογή	387
12.4.1	Συλλογή δεδομένων των μέτρων πολιτικής	387
12.4.2	Αξιολόγηση κινδύνου	389
12.4.3	Μαθηματική μοντελοποίηση	390
12.4.4	Σύνοψη βασικών υποθέσεων μοντελοποίησης	392
12.5	Αποτελέσματα	393
12.5.1	Βέλτιστη κατανομή πόρων με δεδομένο διαθέσιμο προϋπολογισμό	393
12.5.2	Το κόστος επίτευξης του εθνικού στόχου για το 2020	395

12.5.3	Ανάλυση ευρωστίας	396
12.5.4	Επιλογή ενός χαρτοφυλακίου από τους εμπειρογνώμονες	399
12.6	Συμπεράσματα	402
12.7	Βιβλιογραφία	404
13ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ		411
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΣΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		417
	Άρθρα σε έγκριτα επιστημονικά περιοδικά	417
	Επιμέλεια επιστημονικών βιβλίων	418
	Κεφάλαια σε διεθνή επιστημονικά βιβλία	418
	Ανακοινώσεις σε επιστημονικά συνέδρια	419

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ΣΥΑ	Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων
ΣΠΗΕΚΑ	Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC)
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΚΣ	Εθνικά Καθορισμένες Συνεισφορές (Nationally Determined Contributions – NDC)
ΕΚΠΣ	Εθνικά Καθορισμένες Προθέσεις Συνεισφορών (Intended Nationally Determined Contributions – INDC)
ΠΑ	Παγκόσμιος Απολογισμός (Global Stocktake – GST)
ΚΜ	Κράτος-Μέλος (της Ευρωπαϊκής Ένωσης)
ΜΟΑ	Μοντέλο Ολοκληρωμένης Αποτίμησης (Integrated Assessment Model – IAM)
ΣΒΑ	Στόχος για την Βιώσιμη Ανάπτυξη (Sustainable Development Goal – SDG)
ΔΕΚΑ	Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC)
ΜΚΟ	Μη Κυβερνητικός Οργανισμός
ΔΚΜ	Διαμοιρασμένο Κοινωνικοοικονομικό Μονοπάτι (Shared Socioeconomic Pathway – SSP)
ΑΜΣ	Αντιπροσωπευτικό Μονοπάτι Συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathway – RCP)
ΔΑΑ	Δέσμευση και Αποθήκευση Άνθρακα (Carbon Capture & Storage – CCS)
ΑΔΑ	Άμεση Δέσμευση Αέρα (Direct Air Capture – DAC)
ΠΣΥΑ	Πολυκριτηριακά Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (Multiple-Criteria Decision Aid/Analysis – MCDA ή Multiple-Criteria Decision Making – MCDM)
ΧΣ	Χαρτογράφηση Συστήματος (System Mapping – SM)
ΑΓΧ	Ασαφής Γνωστικός Χάρτης (Fuzzy Cognitive Map – FCM)
ΘΧ	Θεωρία Χαρτοφυλακίου (Portfolio Theory – PT)
Ε&Α	Έρευνα & Ανάπτυξη (Research & Development – R&D)
Ε&Ι	Έρευνα & Καινοτομία (Research & Innovation – R&I)
ΑΚΖ	Ανάλυση Κύκλου Ζωής (Life-Cycle Assessment – LCA)
ΑΧ	Ανάλυση Χαρτοφυλακίου (Portfolio Analysis – PA)
ΑΕΠ	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
ΟΟΣΑ	Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Organisation for Economic Cooperation and Development – OECD)
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΔΥΚ	Διατήρηση της Υφιστάμενης Κατάστασης (Business As Usual – BAU)
ΣΘΧ	Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου (Markowitz/Modern Portfolio Theory – MPT)
ΣΚ	Συστήματα Καινοτομίας (Systems of Innovation – SI)
ΤΣΚ	Τεχνολογικό Σύστημα Καινοτομίας (Technological Innovation System – TIS)
ΑΤΑ	Αξιολόγηση Τεχνολογικών Αναγκών (Technology Needs Assessment – TNA)
ΟΗΕ	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (United Nations – UN)
ΕΣΔΕΑ	Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την Ενεργειακή Αποδοτικότητα (National Energy Efficiency Action Plan (NEEAP)
ΚΣΕΔ	Κτιριακό Σύστημα Ενεργειακής Διαχείρισης (Building Energy Management System – BEMS)
ΠΕΑ	Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Performance Certificate – EPC)
ΜΜΕ	Μικρομεσαίες Επιχειρήσεις (Small and Medium Enterprises – SMEs)
ΕΕΥ	Επιχειρήσεις Ενεργειακών Υπηρεσιών (Energy Service Companies – ESCOs)
ΚΣΜΚΕ	Κτίριο Σχεδόν Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας (Nearly Zero Energy Building – NZEB)
ΦΒ	Φωτοβολταϊκά (Photovoltaics – PV)
ΣΕΔΕΕΕ	Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EU ETS – European Union Emissions Trading System)
ΚΕΝΑΚ	Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων
ΣΗΕ	Συγκεντρωμένη Ηλιακή Ενέργεια (Concentrated Solar Power – CSP)

1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός και αντικείμενο διατριβής

Αντικείμενο της διδακτορικής διατριβής αποτελεί η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου επιστημονικού υποδείγματος για την αντιμετώπιση προβλημάτων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή και την υποστήριξη της διαμόρφωσης κλιματικής δράσης και πολιτικής σε διεθνές, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο.

Η διατριβή χωρίζεται σε τρία μέρη: (α) τη σαφή διατύπωση του προβλήματος και της προτεινόμενης μεθοδολογίας, την οργάνωση των εργαλείων του υφιστάμενου παραδείγματος, και την βιβλιογραφική ανασκόπηση των σχετιζόμενων μεθοδολογιών· (β) την ανάπτυξη και παρουσίαση της εργαλειοθήκης που αξιοποιείται στην εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου· και (γ) τη λεπτομερή και αναλυτική παρουσίαση της εφαρμογής του αναπτυχθέντος υποδείγματος σε πέντε πραγματικές εφαρμογές υποστήριξης κλιματικής πολιτικής, καθώς και την εξαγωγή συμπερασμάτων και την παράθεση προοπτικών.

1.2 Συμβολή διατριβής

Η συμβολή της διδακτορικής διατριβής συνίσταται στη διατύπωση ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού υποδείγματος για την υποστήριξη της διαμόρφωσης κλιματικής πολιτικής, καθώς και στην ανάπτυξη μίας σύνθετης εργαλειοθήκης υποστήριξης αποφάσεων, αποτελούμενης από πληροφοριακά συστήματα υλοποίησης των επί μέρους μεθοδολογιών που απαρτίζουν το υπόδειγμα αυτό.

1.2.1 Διαμόρφωση ενός σύγχρονου, εύρωστου και αποτελεσματικού υποδείγματος

Συγκεκριμένα, η προτεινόμενη ολοκληρωμένη προσέγγιση αντλεί από τις αδυναμίες που χαρακτηρίζουν το υφιστάμενο επιστημονικό υπόδειγμα και τις προκλήσεις που επισημαίνουν οι σύγχρονες εξελίξεις στον χώρο της κλιματικής αλλαγής (π.χ. Συμφωνία του Παρισιού), καθώς και την επακόλουθη ανάγκη διαμόρφωσης κλιματικά αποτελεσματικής, κοινωνικά αποδεκτής, οικονομικά βιώσιμης, τεχνικά εφικτής, εύρωστης και διαφανούς κλιματικής δράσης σε διαφορετικά γεωγραφικά και διακυβερνητικά επίπεδα.

Οι αδυναμίες αυτές μπορούν να συνοψιστούν:

- στη δυσκολία των μοντέλων κλίματος-οικονομίας να μεταγλωττίσουν εντός των αυστηρά προτυποποιημένων πλαισίων τους όλα τα πιθανά μέτρα ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής,
- την περιορισμένη δυνατότητα ενσωμάτωσης στα μοντέλα των κινδύνων και αβεβαιοτήτων που σχετίζονται τόσο με την κλιματική αλλαγή όσο και με την κλιματική δράση,
- την απουσία του ανθρώπινου παράγοντα από τις αμιγώς επιστημονικές διεργασίες, αποσυνδέοντας το τεχνικό πλαίσιο προσομοίωσης των μοντέλων από το πραγματικό πλαίσιο στο οποίο λαμβάνονται και υλοποιούνται οι αποφάσεις,
- τον εξαιρετικά μεγάλο αριθμό των υποθέσεων που καθοδηγούν τις διεργασίες μοντελοποίησης, οι οποίες αποτυπώνουν μέρος της ενυπάρχουσας αβεβαιότητας, από τις οποίες εξαρτώνται σε καθοριστικό βαθμό οι συστάσεις πολιτικής που προκύπτουν, και οι οποίες δεν επικοινωνούνται επαρκώς στους φορείς χάραξης πολιτικής,
- τη διαφορετικότητα και ποικιλομορφία των διαθέσιμων πλαισίων μοντελοποίησης, σε όρους μαθηματικής δομής, οικονομετρικής προσέγγισης, γεωγραφικής λεπτομέρειας και κάλυψης τομέων ανθρώπινης δραστηριότητας, με αποτέλεσμα η επιλογή μοντέλου να οδηγεί στην εξαγωγή σημαντικά διαφορετικών αποτελεσμάτων για το ίδιο πρόβλημα, και
- την πολυπλοκότητα των πολυσύνθετων αυτών μοντέλων, η οποία καθιστά αδιαφανείς και δυσνόητες τις επιστημονικές διεργασίες στα μάτια των φορέων χάραξης πολιτικής, με αποτέλεσμα αυτοί να δυσκολεύονται να εμπιστευτούν τα αποτελέσματά τους.

Σε αυτό το πλαίσιο, το επιστημονικό υπόδειγμα που προτείνεται μπορεί να αναλυθεί σε τρεις διαφορετικούς αλλά συμπληρωματικούς άξονες ή πυλώνες:

- a) Την αποτελεσματική ανάλυση των διαφορετικών διαστάσεων της κλιματικής αλλαγής και δράσης (διαφορετικά καθεστάτα συντονισμού, ποσοτικοποίηση κόστους πλήρους εναρμόνισης πολιτικής με θερμοκρασιακούς στόχους, συνεκτίμηση προόδου με στόχους βιώσιμης ανάπτυξης, αναγνώριση κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων, αξιολόγηση συνεργειών με άλλες πολιτικές, κλπ.) με τη χρήση συνδυασμών διαφορετικών πλην συμπληρωματικών μοντέλων ολοκληρωμένης αποτίμησης, καλύπτοντας έτσι το σύνολο των οικονομικών τομέων και γεωγραφικών/διακυβερνητικών επιπέδων από διαφορετικές επιστημονικές (μαθηματικές και οικονομικές) σκοπιές.
- b) Την ουσιαστική διαμόρφωση των απαιτήσεων των επιστημονικών διεργασιών και τη γεφύρωση των γνωσιακών χασμάτων μέσα από την ενεργό συμμετοχή στις επιστημονικές διεργασίες τόσο των φορέων χάραξης πολιτικής όσο και όλων των ενδιαφερόμενων φορέων και εμπειρογνομόνων, οι οποίοι αποτελούν τις κινητήριες δυνάμεις των μεταβάσεων που απαιτούνται για τον μετασχηματισμό και την απανθρακοποίηση των κοινωνιών και οικονομιών μας, επιλύοντας έτσι τα ζητήματα διαφάνειας και διακυβέρνησης του παραδοσιακού επιστημονικού υποδείγματος.
- c) Τη μεγιστοποίηση της ευρωστίας των μοντέλων και των αποτελεσμάτων τους, μέσα από την αξιοποίηση μεθοδολογιών για την σωστή πληροφόρηση του πλαισίου των αναλύσεων και για την ανάλυση και μείωση της αβεβαιότητας, την ενσωμάτωση του πλήθους των

μέτρων πολιτικής στις επιστημονικές διεργασίες, και τη μεγιστοποίηση της ευρωστίας των τελικών συστάσεων πολιτικής.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή του πλήρους επιστημονικού υποδείγματος, προσαρμοσμένου στο ελληνικό πλαίσιο και με σκοπό την διαμόρφωση σχεδιασμού ενεργειακής εξοικονόμησης (όπως αναλύεται στο Κεφάλαιο 12), υποστήριξε τους φορείς του ελληνικού Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας να αναγνωρίσουν κινδύνους υλοποίησης του πλαισίου ενεργειακής πολιτικής για την εξοικονόμηση ενέργειας του πρόσφατου παρελθόντος και να διαμορφώσουν εκ νέου τον βραχυπρόθεσμο ενεργειακό σχεδιασμό για τη λήψη μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας με γνώμονα τον εθνικό στόχο.

1.2.2 Ανάπτυξη επιμέρους μεθοδολογιών υποστήριξης της κλιματικής πολιτικής

Σε αυτό το επίπεδο συμβολής της διατριβής και σύμφωνα με το προδιαγεγραμμένο πρόβλημα, αναπτύσσονται ή προσαρμόζονται στο πεδίο της κλιματικής πολιτικής οι μεθοδολογίες που απαρτίζουν τον τρίτο άξονα του επιστημονικού υποδείγματος, δηλαδή των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων.

Έτσι, για πρώτη φορά, η μεθοδολογία της χαρτογράφησης αγοράς ολοκληρώνεται με το πλαίσιο των συστημάτων καινοτομίας και πλαισιώνεται στο πεδίο της κλιματικής αλλαγής και πολιτικής, για την υποστήριξη της αξιολόγησης συστημάτων καινοτομίας και της αναλυτικής καταγραφής του κοινωνικοτεχνικού υποβάθρου των συστημάτων προς μετέπειτα ενημερωμένη μοντελοποίηση. Η νέα μεθοδολογία αποκαλείται χαρτογράφηση συστημάτων.

Παρότι δημοφιλής στο πεδίο της περιβαλλοντικής πολιτικής και διαχείρισης, η ασαφής γνωστική χαρτογράφηση αποτελεί μία ακόμη μεθοδολογία που προσαρμόζεται στο πλαίσιο της κλιματικής και ενεργειακής πολιτικής. Προς αυτήν την κατεύθυνση, τροποποιείται το μαθηματικό υπόβαθρο του αρχικού μεθοδολογικού πλαισίου ώστε να λαμβάνει υπόψιν την απαραίτητη στο συγκεκριμένο πεδίο έννοια του χρόνου, προτυποποιείται η ορθή αξιοποίηση των διαστάσεων που απαρτίζουν τη μεθοδολογία, και διαμορφώνεται ένα πλαίσιο ενσωμάτωσης της αβεβαιότητας μέσω της διαμόρφωσης κοινωνικοοικονομικών σεναρίων και της ολοκλήρωσης αυτών με τη βιβλιογραφία της μοντελοποίησης ολοκληρωμένης αποτίμησης. Παράλληλα, αναπτύσσεται ένα ευέλικτο πλαίσιο ημιποσοτικής μοντελοποίησης, στο οποίο δεν επιτρέπεται μόνο η ανάλυση μεμονωμένων μέτρων πολιτικής όπως αποκλειστικά συμβαίνει στη βιβλιογραφία των ασαφών γνωστικών χαρτών, αλλά και η αξιολόγηση και σύγκριση μιγμάτων πολιτικής.

Ένα πλαίσιο που χρησιμοποιείται ευρέως στην υποστήριξη αποφάσεων εν γένει, αλλά και στην ενεργειακή πολιτική ειδικότερα, αποτελεί και η πολυκριτήρια ανάλυση. Μέσα από τη λεπτομερή επισκόπηση της βιβλιογραφίας, επιλέγεται η μεθοδολογία TOPSIS και προσαρμόζεται στις ανάγκες του πεδίου της κλιματικής και ενεργειακής πολιτικής για τη σύγκριση εναλλακτικών μέτρων πολιτικής ή/και αξιολόγησης σχετιζόμενων κινδύνων, με την ενσωμάτωση της δυνατότητας συμμετοχής πολλαπλών αποφασιζόντων, θεώρησης της συμπεριφοράς των αποφασιζόντων απέναντι στον κίνδυνο, καθώς και αξιολόγησης του επιπέδου ομοφωνίας ανάμεσα στους αποφασίζοντες.

Τέλος, επιλέγονται και τροποποιούνται προσεγγίσεις ανάλυσης χαρτοφυλακίου και στοχαστικής αβεβαιότητας, συμπεριλαμβανομένων των AUGMECON-2, Iterative Trichotomic Approach και Monte Carlo, οι οποίες και ολοκληρώνονται μεταξύ τους και με τα μοντέλα κλίματος-οικονομίας, με σκοπό τη μείωση της αβεβαιότητας και τη μεγιστοποίηση της ευρωστίας των αποτελεσμάτων.

1.2.3 Ανάπτυξη εργαλειοθήκης για την υποστήριξη χάραξης κλιματικής πολιτικής

Το τελευταίο επίπεδο συμβολής της διδακτορικής διατριβής αφορά στην σχεδίαση και ανάπτυξη τριών εφαρμογών λογισμικού, στην βάση των μεθοδολογιών που απαρτίζουν τον τρίτο άξονα του επιστημονικού υποδείγματος. Έτσι, αναπτύχθηκαν:

- Το εργαλείο MATISE, για την διαχείριση της γνώσης των εμπειρογνομώνων και την χαρτογράφηση συστημάτων καινοτομίας υπό το πρίσμα της κλιματικής αλλαγής, με πλήθος επιλογών εισαγωγής δεδομένων και οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων· το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε με χρήση του περιβάλλοντος προγραμματισμού και ανάπτυξης λογισμικού MATLAB.
- Το εργαλείο ESQAPE, για την καθοδηγούμενη από ενδιαφερόμενους φορείς, ημιποσοτική μοντελοποίηση κλιματικής και ενεργειακής πολιτικής, στη βάση της μεθοδολογίας των ασαφών γνωστικών χαρτών και με πλήθος επιλογών εισαγωγής δεδομένων, μαθηματικής δομής των προσομοιώσεων και οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων· το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε με χρήση του περιβάλλοντος προγραμματισμού και ανάπτυξης λογισμικού MATLAB.
- Το εργαλείο MACE-DSS, για την πολυκριτήρια ανάλυση και κατάταξη πολλαπλών εναλλακτικών έναντι πολλαπλών κριτηρίων από πολλαπλούς αποφασίζοντες, στη βάση της μεθοδολογίας των πολυκριτηριακών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων· το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε στο περιβάλλον διαχείρισης υπολογιστικών φύλλων του Microsoft Excel.

1.3 Δομή διατριβής

Η διδακτορική διατριβή χωρίζεται σε τρία μέρη, όπως παρουσιάζεται στην [Εικόνα 1.1](#).

1	Εισαγωγή						
2	Διατύπωση επιστημονικού υποδείγματος	Άξονας Α': Μοντέλα Ολοκληρωμένης Αποτίμησης (ΜΟΑ)	Άξονας Β': Εμπειρογνώμονες	Άξονας Γ': Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ)			
3	Επισκόπηση & οργάνωση πλαισίων μοντελοποίησης						
4	Βιβλιογραφική ανασκόπηση μεθοδολογιών						
5	ΣΥΑ 1: Χαρτογράφηση συστημάτων καινοτομίας				MATISE		
6	ΣΥΑ 2: Ασαφής γνωστική χαρτογράφηση					ESQAPE	
7	ΣΥΑ 3: Πολυκριτηριακά Συστ. Υποστήριξης Αποφάσεων						MACE-DSS
8	Ελλάδα: Μελέτη κινδύνων πράσινης ενεργ. μετάβασης	MEMO, BSAM	Εργαστήριο			ESQAPE	
9	Ευρώπη: Αξιολόγηση τεχνολογιών ηλεκτρισμού	GCAM					GAMS
10	Πολωνία: Προσδιορισμός κινδύνων απολιγνιτοποίησης	MEMO, MOEM	Εργαστήριο		MATISE	ESQAPE	
11	Κίνα: Μελέτη κινδύνων μετάβασης κτιριακού τομέα		Συνεντεύξεις, Εργαστήριο		MATISE	ESQAPE	MACE-DSS
12	Ελλάδα: Αξιολόγηση μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας	TIMES	Συνεντεύξεις, Εργαστήριο			ESQAPE	MACE-DSS, GAMS
13	Συμπεράσματα και Προοπτικές						

Εικόνα 1.1 Δομή της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Το πρώτο μέρος της διδακτορικής διατριβής αφορά στη λεπτομερή μελέτη και ανάλυση του χώρου προβλήματος. Στο **Κεφάλαιο 2**, περιγράφεται αναλυτικά το πρόβλημα που η παρούσα διατριβή καλείται να επιλύσει, μέσα από τον καθορισμό μίας συνεπούς ορολογίας για τον κίνδυνο και την αβεβαιότητα (Hanger-Kopp, Nikas and Lieu, 2019) και από την διερεύνηση σύγχρονων προκλήσεων που θέτουν αφενός η έως τώρα πρόοδος της κλιματικής δράσης και αφετέρου οι σύγχρονες πολιτικές κατευθύνσεις με ορόσημο τη Συμφωνία του Παρισιού, καθώς και μέσα από τον επακόλουθο προσδιορισμό των αδυναμιών του υφιστάμενου επιστημονικού υποδείγματος και την περιγραφή ενός νέου (Doukas, Nikas et al., 2018). Αυτό το νέο επιστημονικό υπόδειγμα κινητοποιεί ολοκληρωμένες προσεγγίσεις, οι οποίες βασίζονται τόσο στα μοντέλα κλίματος-οικονομίας της παραδοσιακής επιστημονικής πρακτικής για την υποστήριξη της χάραξης κλιματικής πολιτικής, όσο και σε πληθώρα άλλων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που δύνανται να αντιμετωπίσουν τις αναγνωρισθείσες παθογένειες. Ξεκινώντας από τις αδυναμίες των έως τώρα επιστημονικών διεργασιών, το **Κεφάλαιο 3** πραγματοποιεί μία λεπτομερή καταγραφή, επισκόπηση και οργάνωση των μοντέλων ολοκληρωμένης αποτίμησης (MOA) που χρησιμοποιούνται σε αντίστοιχες μελέτες, αποτελώντας την μεγαλύτερη βιβλιογραφική ανασκόπηση μελετών βασισμένων σε τέτοια μοντέλα, καθώς και μία ταξινόμηση αυτών, με γνώμονα τα τεχνικά χαρακτηριστικά, καθώς και δυνατά και αδύναμα σημεία τους (Nikas, Doukas and Papandreou, 2019). Το **Κεφάλαιο 4**, στη συνέχεια, διερευνά τις σχέσεις των τριών βασικών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που, μαζί με τα μοντέλα κλίματος-οικονομίας, συναποτελούν το νέο αυτό επιστημονικό υπόδειγμα με τον χώρο της κλιματικής πολιτικής (Doukas and Nikas, 2019).

Στο δεύτερο μέρος, αναπτύσσονται και παρουσιάζονται τρία Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) στην κλιματική πολιτική. Το πρώτο εργαλείο (**Κεφάλαιο 5**) αφορά στην διαχείριση της γνώσης των εμπειρογνομώνων για την αξιολόγηση Συστημάτων Καινοτομίας (ΣΚ) ενόψει της κλιματικής αλλαγής, μέσω της Χαρτογράφησης Συστημάτων (ΧΣ) (Nikas et al., 2017). Το δεύτερο εργαλείο (**Κεφάλαιο 6**) αφορά στην υποστήριξη της αξιολόγησης εναλλακτικών στρατηγικών από την σκοπιά των εμπειρογνομώνων, μέσω των Ασαφών Γνωστικών Χαρτών (ΑΓΧ) (Nikas and Doukas, 2016), για την υποστήριξη ενεργειακής (Nikas, Ntanos and Doukas, 2019) και κλιματικής πολιτικής (Nikas, Doukas et al., 2018). Τέλος, το τρίτο εργαλείο (**Κεφάλαιο 7**) αφορά στην υποστήριξη της πολυκριτήριας αξιολόγησης κινδύνων που σχετίζονται με μέτρα ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής, έναντι πολλαπλών κριτηρίων και από πολλαπλούς αποφασίζοντες, με την χρήση Πολυκριτηριακών Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων (ΠΣΥΑ) (Nikas, Doukas and Martinez-Lopez, 2018). Παρότι τα τρία αυτά εργαλεία (MATISE, ESQAPE και MACE-DSS αντίστοιχα) διαφέρουν ως προς τη μεθοδολογία στην οποία βασίζονται και την εφαρμογή της οποίας αναπτύσσονται να υποστηρίξουν, μοιράζονται δύο βασικά κοινά χαρακτηριστικά: αφενός πλαισιώνονται στο πεδίο της ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής, και αφετέρου σχεδιάζονται για να υποστηρίξουν τη συμμετοχή των εμπειρογνομώνων και λοιπών ενδιαφερόμενων φορέων στη λήψη αποφάσεων για την κλιματική δράση. Για την Ανάλυση Χαρτοφυλακίου (ΑΧ) δεν αναπτύσσεται ξεχωριστό εργαλείο δεδομένου ότι, στις εφαρμογές του προτεινόμενου επιστημονικού υποδείγματος στο πλαίσιο της διατριβής, αξιοποιούνται διαφορετικές προσεγγίσεις της ΑΧ, ενώ ως πλατφόρμα υλοποίησης χρησιμοποιείται το περιβάλλον GAMS.

Το τρίτο μέρος περιλαμβάνει την καταγραφή της εφαρμογής του αναπτυγμένου επιστημονικού υποδείγματος σε πέντε μελέτες περίπτωσης καθώς και την εξαγωγή και παρουσίαση συμπερασμάτων και μελλοντικών προοπτικών. Η πρώτη μελέτη περίπτωσης (Nikas, Stavrakas et al., 2019) αφορά στην αξιοποίηση της γνώσης των εμπειρογνομώνων, της μεθοδολογίας των ΑΓΧ, ενός μοντέλου αξιολόγησης επιχειρηματικής στρατηγικής και ενός MOA γενικής ισορροπίας, με σκοπό την διερεύνηση και εκτίμηση του μεγέθους των πιθανών κινδύνων που σχετίζονται με την βασισμένη στην ηλιακή ενέργεια πράσινη μετάβαση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος. Η δεύτερη μελέτη

(Forouli, Doukas, Nikas et al., 2019) αφορά στην αξιοποίηση ενός ΜΟΑ καθώς και της μεθόδου της ΑΧ, με σκοπό την διερεύνηση βέλτιστων χαρτοφυλακίων μακροπρόθεσμης κλιματικής πολιτικής και τεχνολογικών επενδύσεων στο ευρωπαϊκό τεχνολογικό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής. Η τρίτη μελέτη περίπτωσης (Antosiewicz, Nikas et al., 2019) αφορά στην αξιοποίηση ενός μοντέλου ενεργειακού συστήματος και ενός δυναμικού στοχαστικού ΜΟΑ για την εύρεση κατάλληλων μονοπατιών μετάβασης του πολωνικού ενεργειακού συστήματος. Στη συνέχεια, με τη βάση τη μεθοδολογία των ΑΓΧ, οι εμπειρογνώμονες συμμετέχουν και παρέχουν τη γνώση και εμπειρία τους, σε μία προσπάθεια ανάδειξης σημαντικών κινδύνων που παραλείπονται από την κλασική οικονομική ανάλυση. Κατόπιν αυτής της διαδικασίας, η μοντελοποίηση του συστήματος επαναλαμβάνεται, με γνώμονα τα ευρήματα του πλαισίου ΑΓΧ και με σκοπό την ανάλυση της ευαισθησίας των επιλεγμένων μονοπατιών μετάβασης. Η τέταρτη μελέτη (Song, Lieu, Nikas et al., 2019) αρχικά καταγράφει αναλυτικά το υφιστάμενο ρυθμιστικό και πολιτικό πλαίσιο που αφορά στον κινεζικό κτιριακό τομέα. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια των εμπειρογνομώνων, διενεργείται μία μελέτη ΠΣΥΑ για την αξιολόγηση των ορατών κινδύνων που πιθανώς σχετίζονται με τις οραματιζόμενες κλιματικές πολιτικές, ενώ επιλέγονται οι πλέον κρίσιμοι και αναλύονται περαιτέρω σε ένα πλαίσιο ΑΓΧ. Η πέμπτη και τελευταία μελέτη περίπτωσης (Forouli, Gkonis, Nikas et al., 2019) αφορά στην διαμόρφωση του ρυθμιστικού πλαισίου ενεργειακής αποδοτικότητας στην Ελλάδα. Αρχικά, χρησιμοποιείται ένα μοντέλο του ενεργειακού συστήματος της χώρας για να προσδιοριστούν βασικά μεγέθη που αφορούν στην αναμενόμενη εξοικονόμηση και τα κόστη μίας σειράς μέτρων πολιτικής, τα οποία επίσης αξιολογούνται έναντι πιθανών κινδύνων υλοποίησης (Nikas, Gkonis et al., 2019), μέσω μίας μεθόδου ΠΣΥΑ. Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης αλλά και της πολυκριτήριας ανάλυσης χρησιμοποιούνται σε ένα μοντέλο ΑΧ, από το οποίο προκύπτουν μία σειρά υποβέλτιστων χαρτοφυλακίων πολιτικής εξοικονόμησης ενέργειας, τα οποία με την σειρά τους αξιολογούνται εν τέλει σε ένα πλαίσιο ΑΓΧ, για την επιλογή του βέλτιστου, από την πλευρά των εμπειρογνομώνων, εξ αυτών.

Η βιβλιογραφία που αναφέρεται παραπάνω, και στην οποία τεκμηριώνεται επιστημονικά η παρούσα διδακτορική διατριβή, παρουσιάζεται στο [Παράρτημα](#).

2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΓΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΕΝΟΣ ΝΕΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

2.1 Εισαγωγή

Η ανταπόκριση στην κλιματική αλλαγή απαιτεί διεπιστημονικές διεργασίες, οι οποίες αποσκοπούν στη συναρμολόγηση ενός πολύπλοκου συστήματος δράσεων που όλες μαζί συναποτελούν αποτελεσματικές, κοινωνικά αποδεκτές, επιστημονικά εφικτές, οικονομικά βιώσιμες και εύρωστες κλιματικές πολιτικές, σε ένα παγκοσμίως συντονισμένο και συνεργατικό πλαίσιο. Πρόσφατες εξελίξεις, με αποκορύφωμα τη Συμφωνία του Παρισιού της 12^{ης} Δεκεμβρίου 2015, με βάση την οποία τα κράτη-μέλη της Σύμβασης-Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (ΣΠΗΕΚΑ) οφείλουν να υποβάλουν περιοδικά τις Εθνικά Καθορισμένες Συνεισφορές (ΕΚΣ) τους στην παγκόσμια κλιματική δράση, υποδεικνύουν ότι γίνονται σοβαρά βήματα προς αυτήν την κατεύθυνση. Οι υποβολές των ΕΚΣ από το 2025 κι έπειτα αναμένονται να λαμβάνουν υπόψη τα αποτελέσματα ενός νέου περιοδικού μηχανισμού που βρίσκεται σε μία διαρκή διαδικασία συγκεκριμενοποίησης, του Παγκόσμιου Απολογισμού (ΠΑ). Ο βασικός στόχος του μηχανισμού αυτού περιλαμβάνει, συν τοις άλλοις, την ανά πέντε έτη ανασκόπηση της συνολικής προόδου που έχει σημειωθεί όσον αφορά την επίτευξη του παγκόσμιου στόχου για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και την προσαρμογή της αύξησης της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας στους 1.5 - 2 °C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα. Ταυτόχρονα, θα διαπιστώνει εάν η πρόοδος αυτή και οι σχετικές προσπάθειες είναι ευθυγραμμισμένες με τις σχετικές με τη δικαιοσύνη και ισονομία αξίες της Συμφωνίας (Klinsky et al., 2017).

Πέραν των ανησυχιών σχετικά με την αποτελεσματικότητα του υποτιθέμενου ενυπάρχοντος μηχανισμού επενδυτικής κινητοποίησης (Kemp, 2018), η Συμφωνία του Παρισιού φέρει σημαντικές προκλήσεις. Παρότι προορίζεται ως ένα δυναμικό σύστημα που περιστρέφεται γύρω από την έννοια της προχώρησης, όπως αυτή ορίζεται ασθενώς στο Άρθρο 4.3 της Συμφωνίας, αυτός ο περιοδικός μηχανισμός δεσμεύσεων μπορεί να αποδειχθεί ανεπαρκής, σε όρους έγκαιρου μετριασμού της κλιματικής αλλαγής καθώς και ασυνεπής σε όρους δικαιοσύνης για όλα τα συμμετέχοντα μέρη (Falkner, 2016). Συγκεκριμένα, προκύπτει ένα ευρύ χάσμα μεταξύ των συνολικών στόχων της Συμφωνίας και της τροχιάς αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας στην οποία βαδίζει ο πλανήτης, ως αναμενόμενο αποτέλεσμα των έως τώρα υποβληθέντων ΕΚΣ ή εθνικά καθορισμένων προθέσεων συνεισφορών (ΕΚΠΣ). Από τη μία πλευρά, οι στόχοι συνοψίζονται στην ανάγκη περιορισμού της

ανόδου της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας στους έως 2 °C, σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα, σε μία ταυτόχρονη προσπάθεια περαιτέρω περιορισμού αυτής της αύξησης στους 1.5 °C. Από την άλλη πλευρά, οι επί του παρόντος προβλεπόμενες τροχιές μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου αναμένονται να περιορίσουν την θέρμανση πιθανώς έως τους 3.5 °C¹. Αυτή η απόκλιση μπορεί να θεωρηθεί και αισιόδοξη, εφόσον αυτές οι εκτιμήσεις δεν λαμβάνουν υπόψιν ορισμένες γνωστές κλιματικές αναδράσεις που δύνανται να επιταχύνουν σημαντικά την κλιματική αλλαγή και να διακινδυνεύσουν τον έλεγχο της, όπως οι υγρότοποι και το λιώσιμο του περμαφρόστ (π.χ. [Comyn-Platt et al., 2018](#)· [González-Eguino and Neumann, 2016](#)· και [González-Eguino et al., 2017](#)). Παράλληλα, ο ΠΑ θα πρέπει να σχεδιασθεί με τρόπο που εγκαθιδρύει επιτυχώς μία διεθνώς συνεργατική βάση για την εκτίμηση της συλλογικής προόδου και την ενημέρωση επί των απαιτήσεων, σε όρους εθνικών δεσμευτικών συνεισφορών, της βραχυπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης κλιματικής δράσης και σε όλες τις διαστάσεις της κλιματικής πολιτικής, καθώς και με τρόπο που καλλιεργεί τη διεθνή συνεργασία και ενθαρρύνει την ανταλλαγή γνώσεων, τεχνολογιών, πολιτικών, και χρηματικών ροών. Επιπροσθέτως, ο βαθμός στον οποίον οι ΕΚΣ είναι επαρκείς σε εθνική κλίμακα ποικίλλει σημαντικά ανάμεσα στις διαφορετικές έως τώρα υποβολές, με μόλις ελάχιστες ΕΚΣ να αξιολογούνται ως συμβατές με τους θερμοκρασιακούς στόχους της Συμφωνίας του Παρισιού.

Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), η υποβολή μίας συλλογικής, υπερεθνικής/κοινοτικής ΕΚΣ προϋποθέτει την κατάλληλη αποσύνθεση των συλλογικών στόχων στο εθνικό επίπεδο και την αντίστοιχη ανταπόκριση των Κρατών-Μελών (ΚΜ) στις εθνικές δεσμεύσεις και στόχους. Προϋποθέτει, επίσης, ότι η ΕΕ παρακολουθεί επιτυχώς την πρόοδο και στα δύο επίπεδα (κοινοτικό και εθνικό). Αυτό, με τη σειρά του, καθιστά αναγκαίες: την επιτυχή αναγνώριση των κατάλληλων θεσμικών, κοινωνικών, οικονομικών και τεχνολογικών δυναμικών και απαιτήσεων για αποτελεσματική κλιματική αλλαγή στην ΕΕ· την αποτελεσματική υποστήριξη του σχεδιασμού των αντίστοιχων διαδικασιών· την έγκαιρη πραγματοποίηση περιοδικών προβλέψεων και αναλύσεων για την ισχυροποίηση του ευρωπαϊκού θεσμικού πλαισίου για το κλίμα και την ενέργεια και της ευρωπαϊκής στρατηγικής προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή· και τη συστηματική εκτίμηση του κόστους, των επιπτώσεων που αποφεύγονται και της αποτελεσματικότητας των δράσεων που πραγματοποιούνται σε όλα τα επίπεδα.

Στην προσπάθειά της να παρέχει τα απαραίτητα εργαλεία για την αξιόπιστη και αποδοτική πλαισίωση και θεμελίωση των διαδικασιών χάραξης κλιματικής πολιτικής, η επιστημονική κοινότητα επικεντρώθηκε στα μοντέλα κλίματος-οικονομίας ή Μοντέλα Ολοκληρωμένης Αποτίμησης (ΜΟΑ). Παρά την αναμφίβολη συνεισφορά τους στον τομέα της κλιματικής αλλαγής, συμπεριλαμβανομένης της καθιέρωσης του στόχου των δύο βαθμών Κελσίου ([Nordhaus 1977a, 1977b](#)), ο βαθμός στον οποίον τα ΜΟΑ μπορούν να βοηθήσουν αποτελεσματικά τους φορείς χάραξης πολιτικής και να υποστηρίξουν την διακυβέρνηση της κλιματικής πολιτικής έχει αποτελέσει αντικείμενο συζητήσεων επί δεκαετίες (π.χ. [Schneider, 1997](#)· και [Pindyck, 2017](#)), με την κύρια επίκριση να αφορά στην αναποτελεσματική συμπερίληψη των φορέων χάραξης πολιτικής και άλλων ενδιαφερόμενων μερών/φορέων στις διαδικασίες μοντελοποίησης ([van Vliet et al., 2010](#)). Άλλοι προβληματισμοί περιλαμβάνουν την περιορισμένη ευελιξία της μοντελοποίησης του ευρέος φάσματος των διαφόρων μέτρων πολιτικής στα αυστηρώς τυποποιημένα πλαίσια μοντελοποίησης ([Agrawala et al., 2010](#)), την περιορισμένη ικανότητα αξιολόγησης των διαφορετικών τύπων αβεβαιότητας (από την οικονομική δυνατότητα και την τεχνολογική ετοιμότητα έως την κοινωνική αποδοχή και την πολιτική θέληση) που αφορούν είτε στην κλιματική αλλαγή είτε στις στρατηγικές μετριασμού ή/και προσαρμογής σε αυτήν ([Ackerman et al.,](#)

¹ The CAT Thermometer | Climate Action Tracker. Available online: <https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer> (accessed on 2 July 2018).

2009), και την φύση και τον μεγάλο αριθμό των υποθέσεων που χρησιμοποιούνται στις ασκήσεις μοντελοποίησης (Watkiss et al., 2010). Επίσης, υπάρχει μία επί του παρόντος κρίσιμη συζήτηση για τον ρόλο των τεχνολογιών «αρνητικών εκπομπών άνθρακα» (δηλαδή της αφαίρεσης του διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, συμπεριλαμβανομένων αυτών που προέρχονται από τη χρήση γης) πάνω στις οποίες βασίζεται η πλειοψηφία των υφιστάμενων σεναρίων των ΜΟΑ (π.χ. Rogelj et al., 2018). Αυτές οι τεχνολογίες, όμως, ίσως υπερτιμώνται, καλλιεργώντας επομένως έναν κίνδυνο σημαντικής καθυστέρησης των μειώσεων των εκπομπών CO₂ (Anderson and Peters, 2016· Honegger and Reiner, 2018).

Αυτές οι επικρίσεις πλαισιώνουν το περίπλοκο παζλ που η επιστημονική κοινότητα οφείλει να επιλύσει, προκειμένου να συνεισφέρει αποτελεσματικά στις διεθνείς συζητήσεις επί της κλιματικής δράσης, και να ενημερώσει τις διεργασίες χάραξης πολιτικής σε ρεαλιστικά επίπεδα, ανταποκρινόμενη στις πραγματικές ανάγκες πολιτικής (Doukas et al., 2018· De Meyer et al, 2018). Επίσης, διαμορφώνουν το πλαίσιο της ερευνητικής ερώτησης της διδακτορικής διατριβής: πώς μπορούν οι επιστημονικές διεργασίες να ενημερώνουν τις διαδικασίες χάραξης πολιτικής, προωθώντας τη διαφάνεια, την ευελιξία, τη συμμετοχικότητα και συνεργατικότητα, και την ευρωστία των εργαλείων και αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης;

Στο παρόν κεφάλαιο, αναλύονται οι τρεις απαραίτητες συνθήκες που οι επιστημονικές δραστηριότητες υποστήριξης του σχεδιασμού κλιματικής πολιτικής, υπό το πρίσμα της Συμφωνίας του Παρισιού και των διαφαινόμενων προκλήσεων που προκύπτουν από αυτήν, οφείλουν να ικανοποιούν. Σε πρώτο επίπεδο, πρέπει να χτίζονται γύρω από σύνολα διαφορετικών και συμπληρωματικών—σε όρους γεωγραφικής κάλυψης και λεπτομέρειας των οικονομικών τομέων και αερίων του θερμοκηπίου, καθώς και σε όρους θεωρητικής πλαισίωσης και μαθηματικής δομής—μοντέλων κλίματος-οικονομίας και άλλων εργαλείων μοντελοποίησης με τη δυνατότητα επέκτασης της ανάλυσης πέραν των συνηθισμένων ερευνητικών ερωτήσεων. Η ολοκλήρωση διαφορετικών προσεγγίσεων μοντελοποίησης επιτρέπει την ολοκλήρωση πραγματικά διεπιστημονικών διεργασιών. Σε δεύτερο επίπεδο, οφείλουν να τοποθετούν όλους τους σχετικούς φορείς και τα ενδιαφερόμενα μέρη στον πυρήνα των δραστηριοτήτων μοντελοποίησης, από τη διαμόρφωση των ερωτήσεων πολιτικής και έρευνας και τον καθορισμό των μοντελικών υποθέσεων σε μία προσέγγιση «βασισμένη στη ζήτηση», έως την κινητοποίηση της γνώσης όλων των φορέων για την γεφύρωση γνωσιακών χασμάτων.

2.2 Οι έννοιες του κινδύνου και της αβεβαιότητας στην κλιματική δράση

Στην παρούσα ενότητα, επιχειρείται ένας καινοτόμος καθορισμός των εννοιών του κινδύνου και της αβεβαιότητας, για τους σκοπούς όχι μόνον της περιγραφής του προβλήματος, αλλά πρωτίστως και για την διαμόρφωση και θεμελίωση ενός νέου επιστημονικού υποδείγματος που θα κινείται με βάση αυτόν. Οι ορισμοί που παρατίθενται θεωρούνται χρήσιμοι τόσο για τους σκοπούς της διδακτορικής διατριβής όσο και για τις διεπιστημονικές προσεγγίσεις εν γένει που αποσκοπούν στον προσδιορισμό και την αξιολόγηση κινδύνων και αβεβαιοτήτων στο πεδίο της κλιματικής πολιτικής. Πιθανώς αυτοί οι ορισμοί να ανταποκρίνονται και σε άλλα επιστημονικά πεδία, αλλά η θεμελίωση ενός τέτοιου ισχυρισμού δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας διατριβής.

Ο κίνδυνος (ρίσκο) και η αβεβαιότητα συχνά χρησιμοποιούνται ως έννοιες συνώνυμες, σα να αποτελούν την ίδια και αυτή έννοια. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα στο πεδίο της έρευνας της κλιματικής

αλλαγής και πολιτικής, καθώς και στο πλαίσιο της διαμόρφωσης της κλιματικής πολιτικής. Για παράδειγμα, στις πλέον πρόσφατες εκθέσεις αποτίμησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (ΔΕΚΑ), η ομάδα εργασίας III (WGIII) εισάγει τη διαχείριση κινδύνου ως έναν βασικό πυλώνα της έκθεσης (Porter et al., 2014· Edenhofer et al., 2014), και η ΔΕΚΑ συνολικά παρέχει λεπτομερή καθοδήγηση για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας στις εκθέσεις της (Mastrandrea et al., 2011). Ωστόσο, ακόμη και σε αυτήν την πλήρως συντονισμένη αποτίμηση, μπορούν να εντοπιστούν διαφορετικές ερμηνείες των κινδύνων και των αβεβαιοτήτων. Αυτό οφείλεται πιθανώς στην επιστήμη της οικονομίας, η οποία αποτελεί μία εκ των πλέον κυρίαρχων επιστημών σε αυτήν τη διεπιστημονική περιοχή των διαδράσεων κλίματος-οικονομίας, αλλά στην οποία δεν υπάρχει προτυποποιημένη κατανόηση της μίας ή της άλλης έννοιας.

Τουλάχιστον για λόγους αναλυτικής διαύγειας, αλλά και για λόγους διαύγειας στην επικοινωνία μεταξύ των επιστημονικών ορίων, αξίζει να αναγνωρισθεί και να εξηγηθεί πώς αποφεύγεται η χρήση των δύο εννοιών αυτών ως συνώνυμων στη διδακτορική διατριβή. Πολύ συχνά, όταν οι ακαδημαϊκές μελέτες, συμπεριλαμβανομένης της λεγόμενης γκριζας βιβλιογραφίας, συζητούν τους κινδύνους και τις αβεβαιότητες επί της ουσίας αντιμετωπίζουν μόνο μία εκ των δύο εννοιών. Παρότι αυτό δεν θεωρείται εξ ορισμού λάθος, αυτή η εναλλαγή στη χρήση των δύο όρων δύναται να παρεμποδίσει την ουσιαστική έρευνα προς υποστήριξη της κλιματικής πολιτικής, καθώς και να δημιουργήσει σύγχυση τόσο στους φορείς χάραξης κλιματικής/ενεργειακής πολιτικής όσο και στους ερευνητές της κλιματικής αλλαγής.

Στο πλαίσιο της διατριβής, επομένως, η αβεβαιότητα κατανοείται ως μία ευρύτερη έλλειψη γνώσης των πιθανών εκβάσεων και καταστάσεων του κόσμου. Η αβεβαιότητα αποτελεί μία ευρύτερη έννοια από αυτήν του κινδύνου, ο οποίος αναφέρεται σε μία υπολογισθείσα ή αντιληφθείσα δυνατότητα για αρνητικές επιπτώσεις όταν η έκβαση είναι αβέβαιη. Επομένως, η αβεβαιότητα διατηρεί πάντα ένα στοιχείο κινδύνου και, αντίστροφα, ο κίνδυνος είναι πάντα μία μορφή αβεβαιότητας. Ο κίνδυνος αποτελεί μία μειωμένη μορφή αβεβαιότητας που μπορούμε να διαχειριστούμε καλύτερα από άλλες. Όταν παρουσιάζονται επιστημονικές προσεγγίσεις της αβεβαιότητας, θεωρούνται μόνο εκείνες που ξεπερνούν την έννοια του κινδύνου.

Ο ελάχιστος κοινός παρονομαστής για τον ορισμό της έννοιας του κινδύνου κατά μήκος όλων των επιστημονικών αυτών προσεγγίσεων θα τον περιέγραφε ως την πιθανότητα ή δυνατότητα για μία αρνητική έκβαση, επίπτωση ή επίδραση. Οποιοσδήποτε άλλες προδιαγραφές του κινδύνου θα εξαρτώνται πάντα από το πλαίσιο στο οποίο αυτός μελετάται. Πράγματι, όπως ισχυρίζονται οι Fischhoff et al. (1990), ο ορισμός του κινδύνου, όπως καθενός όρου σε θέματα πολιτικής, είναι εγγενώς αμφιλεγόμενος· η επιλογή του ορισμού μπορεί να επηρεάσει την έκβαση των πολιτικών συζητήσεων, την κατανομή πόρων μεταξύ μέτρων ασφάλειας, και την κατανομή της πολιτικής εξουσίας στην κοινωνία.

Σε αυτήν τη διατριβή, άρα και στο προτεινόμενο επιστημονικό υπόδειγμα, το ενδιαφέρον τοποθετείται στους κινδύνους που σχετίζονται με τα μονοπάτια μετάβασης σε κοινωνίες και οικονομίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα—ή ακριβέστερα στους κινδύνους που σχετίζονται με τις πολιτικές επιλογές και στρατηγικές εκείνες που αποτελούν τα θεμέλια τέτοιων μονοπατιών μετάβασης. Συχνά, τέτοιοι κίνδυνοι ορίζονται ως κίνδυνοι πολιτικής. Εδώ, ο κίνδυνος διαιρείται σε δύο κατηγορίες, σε κινδύνους υλοποίησης και σε κινδύνους συνεπειών. Ο κίνδυνος υλοποίησης αναφέρεται στη δυνατότητα ποικίλων αιτιών να επηρεάσουν τον σχεδιασμό, την υλοποίηση ή την επιτυχία μίας δεδομένης πολιτικής· εισάγει την πιθανή αποτυχία της εφαρμογής μίας πολιτικής στην ιδέα των εμποδίων ή προκλήσεων. Ο κίνδυνος συνεπειών αναφέρεται στη δυνατότητα μίας δεδομένης πολιτικής να οδηγήσει σε ποικίλες αρνητικές

επιπτώσεις· οποιοσδήποτε αναμενόμενος κίνδυνος συνεπειών δύναται να μετατραπεί σε γνωστικό εμπόδιο στην υλοποίηση ενός μονοπατιού, δηλαδή σε έναν κίνδυνο υλοποίησης. Αυτή η διάκριση καθίσταται ρητή, τονίζοντας έτσι τη σημασία της ρητής περιγραφής της ‘αιτίας’ σε συνδυασμό με την ‘πιθανότητα’ και την ‘επίπτωση’ για οποιονδήποτε κίνδυνο, και αποτελεί το δυνατό σημείο της παρούσας πλαισίωσης. Διαφορετικά, μία τέτοια διάκριση μόνο υπονοείται και παραμένει αδιαφανής σε οποιονδήποτε δεν είναι εξοικειωμένος με το πλαίσιο στο οποίο μελετάται ένας κίνδυνος.

Οι έννοιες των κινδύνων υλοποίησης και συνεπειών εύκολα μεταφράζονται σε πιο συμβατική, φυσική γλώσσα, όπως εμπόδια και αρνητικές επιπτώσεις αντίστοιχα, καθιστώντας αυτήν την ταξινόμηση χρήσιμη στην επικοινωνία με τους εμπειρογνώμονες σε συμμετοχικές διαδικασίες.

2.3 Πολυδιάστατα χαρακτηριστικά του προβλήματος

Υπάρχει πληθώρα εργαλείων μοντελοποίησης που χρησιμοποιούνται στο πλαίσιο υποστήριξης της κλιματικής και ενεργειακής πολιτικής (Κεφάλαιο 3), η οποία διαφάνεται και στον αριθμό των βιβλιογραφικών ανασκοπήσεων επί των μοντέλων και των εφαρμογών τους καθώς και στη διαφορετική οπτική και έμφαση καθεμίας εκ των ανασκοπήσεων αυτών (Nikas et al., 2018). Υπάρχει λόγος γι’ αυτήν την ποικιλομορφία, η οποία αντικατοπτρίζεται στο εύρος των επιστημονικών πεδίων και μεθοδολογιών που περιλαμβάνονται στην ανάπτυξη των μοντέλων, στην ποικιλία των υποκείμενων μοντελικών υποθέσεων και στη διαφορετικότητα των μαθηματικών δομών των μοντέλων, καθώς και στο εύρος των ερευνητικών και πολιτικών ερωτήσεων για την απάντηση των οποίων έχουν σχεδιασθεί. Πιο σημαντικά, όμως, αντικατοπτρίζει το γεγονός ότι κανένα μεμονωμένο μοντέλο δεν μπορεί να καλύψει το πλήρες φάσμα των ζητημάτων που απασχολούν τους φορείς χάραξης πολιτικής σε ένα τόσο ποικιλόμορφο και σύνθετο πεδίο. Ιδιαίτερα μετά την Συμφωνία του Παρισιού, αυτά τα ζητήματα δεν πρέπει να περιορίζονται σε παραδοσιακές ερευνητικές ερωτήσεις που έχουν απασχολήσει έως και σήμερα την επιστημονική κοινότητα, αλλά οφείλουν να αναφέρονται στους πλέον φιλόδοξους στόχους, τους νέους μηχανισμούς, και τις επισημασμένες αξίες της Συμφωνίας. Επομένως, οι αναλύσεις οφείλουν να επεκτείνονται ώστε να περιλαμβάνουν:

- Την εκτίμηση του ρόλου διαφορετικών καθεστώτων διεθνούς συντονισμού, όπως διαφορετικές ρυθμίσεις των συστημάτων εμπορίας εκπομπών και διαφορετικούς χρηματοδοτικούς μηχανισμούς.
- Την ποσοτικοποίηση των κοστών που σχετίζονται με την ρεαλιστική κάλυψη των κενών μεταξύ των συνολικών συνεισφορών που απορρέουν από το σύνολο των ΕΚΣ και των τροχιών συμβατών με την αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας στους 1.5 και 2 βαθμούς Κελσίου.
- Την συσχέτιση, την συμπληρωματικότητα, και τα επίπεδα συμβιβασμού μεταξύ των ΕΚΣ και των Στόχων για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη (ΣΒΑ) των Ηνωμένων Εθνών.
- Την θεώρηση των φυσικών καταβοθρών άνθρακα μέσω της χρήσης της γης και της αλλαγής χρήσης της γης.
- Την ποσοτικοποίηση των βοηθητικών πλεονεκτημάτων και την αξιολόγηση των κερδών από πιο αυστηρές στρατηγικές κλιματικού ελέγχου.

- Την αναγνώριση κοινωνικοοικονομικών επιπλοκών της κλιματικής αλλαγής και της κλιματικής πολιτικής (π.χ. ανεργία, ισότητα φύλων, εισόδημα, κλπ.), σε διαφορετικά γεωγραφικά επίπεδα και κλίμακες.
- Την θεώρηση των συνεργειών που προκύπτουν από πολιτικές που δεν υπάγονται στο αυστηρά ενεργειακό ή κλιματικό πλαίσιο (δηλαδή δεν είναι σχετικές με τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής ή με την προσαρμογή σε αυτή), οι οποίες μπορούν ωστόσο να βρίσκονται σε συνέργεια ή σύγκρουση με τα μονοπάτια χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Παράλληλα με το εύρος των ερωτημάτων που οι μοντελικές δραστηριότητες οφείλουν να απαντούν, υπάρχει επίσης και το ζήτημα της δικαιοσύνης που επισημαίνεται στην περιγραφή του μηχανισμού του ΠΑ: οι προσπάθειες πολιτικής πρέπει να διασφαλίζουν την δίκαιη κατανομή πόρων και την ανταλλαγή τεχνολογικών και χρηματικών ροών που δύνανται να προάγουν ένα παγκόσμιο μονοπάτι σε απαλλαγμένη από τον άνθρακα και ανθεκτική στην κλιματική αλλαγή ανάπτυξη. Αυτή η απαίτηση προστίθεται στους ήδη υφιστάμενους λόγους για την αποτίμηση της διεθνούς κλιματικής πολιτικής σε διαφορετικές γεωγραφικές κλίμακες (π.χ. διαρροές άνθρακα, διεθνείς ρυθμιστικοί μηχανισμοί όπως τα συστήματα εμπορίας εκπομπών άνθρακα, κλπ.). Επίσης, σχετικά με τη δικαιοσύνη, η αποτελεσματική κλιματική πολιτική σε αυτό το παγκοσμίως συντονισμένο πλαίσιο πρέπει, κατ' ελάχιστον, να επεκτείνει τις παγκόσμιες αξιολογήσεις ώστε να λαμβάνει υπόψιν εκτιμήσεις των εθνικών δεσμεύσεων τόσο των χωρών που ευθύνονται για το μεγαλύτερο μέρος των παγκόσμιων εκπομπών άνθρακα όσο και των χωρών με πολύ μικρότερο μερίδιο ευθύνης, εφόσον οι πρώτες αναζητούν πρωτίστως στρατηγικές μετριασμού της κλιματικής πολιτικής ενώ οι δεύτερες τεχνολογική και οικονομική βοήθεια καθώς και στρατηγικές προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Όμως, παρά την πληθώρα ποικίλων μοντέλων κλίματος-οικονομίας, κανένα μεμονωμένο μοντέλο δεν μπορεί να παρέχει καθολική κάλυψη με όλα τα δυνατά επίπεδα λεπτομερειακότητας και γεωγραφικής ανάλυσης.

Τέλος, διαφορετικοί τύποι δομής μοντελοποίησης προσφέρουν διαφορετικού τύπου πληροφορίες-συγκεκριμένα, δύο εφαρμογές βασισμένες σε διαφορετικές μοντελικές δομές ενδεχομένως να καταλήξουν σε εντελώς διαφορετικά ή και αντικρουόμενα αποτελέσματα και απορρέουσες συστάσεις πολιτικής. Η θεμελίωση συνδέσμων μεταξύ μοντέλων που αξιοποιούν διαφορετικές μεθοδολογίες αποτελεί ένα σύνθετο και υποτιμημένο πλην κρίσιμο σημείο σε αυτό το πεδίο, δεδομένου ότι ορισμένα μοντέλα εστιάζουν σε συγκεκριμένους οικονομικούς τομείς ή περιοχές, συχνά αγνοώντας αλλαγές που λαμβάνουν χώρα σε άλλους οικονομικούς τομείς. Για τον λόγο αυτό, ο συνδυασμός διαφορετικών μοντελικών δομών δύνανται να παράγει καλύτερα, πιο εύρωστα και αξιόπιστα δεδομένα, εν τέλει οδηγώντας σε βάσιμες συστάσεις πολιτικής, ξεπερνώντας έτσι τις ενυπάρχουσες αδυναμίες κάθε δομής (Stanton et al., 2009) από τις οποίες κανένα μοντέλο από μόνο του δεν μπορεί να ξεφύγει. Υπό αυτό το πρίσμα, επισημαίνονται και οι αβεβαιότητες που σχετίζονται με την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου για την κατάλληλη ερευνητική ερώτηση. Άλλωστε, εξ ορισμού τα ΜΟΑ οφείλουν να καλύπτουν λεπτομερώς τις διασυνδέσεις μεταξύ ενέργειας, οικονομίας και κλίματος, και δεν είναι τυχαίο που αυτά τα μοντέλα συχνά επικρίνονται είτε για την έλλειψη του απαραίτητου επιπέδου λεπτομερειακότητας είτε για τη δυσκολία διαχείρισης ή κατανόησής τους. Όπως σημειώνει ο Toth (2005), τα δυνατά και αδύνατα σημεία κάθε πλαισίου μοντελοποίησης διασφαλίζουν ότι οι συνδυασμοί τέτοιων πλαισίων παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για την κλιματική πολιτική, σε αντίθεση με τη χρήση μεμονωμένων μοντέλων. Για παράδειγμα, τα μοντέλα γενικής ισορροπίας αναζητούν λύσεις στην ισορροπία μεταξύ ζήτησης και προσφοράς στην αγορά, κατά μήκος όλων των οικονομικών τομέων, οι οποίοι εξετάζονται σε υψηλή ανάλυση και υποτίθενται πλήρως αλληλένδετοι. Σε αντιδιαστολή, τα μακροοικονομικά μοντέλα, μεταξύ άλλων (Anger and Barker, 2015), μπορούν να συμπληρώσουν τις βασισμένες σε

μοντέλα γενικής ισορροπίας αναλύσεις, αντιπροσωπεύοντας με μεγαλύτερη ακρίβεια τις πραγματικές δυναμικές της οικονομίας βραχυπρόθεσμα. Συνδυάζοντας αυτά τα μοντέλα με μοντέλα ενεργειακών συστημάτων, μπορούμε να εξετάσουμε λεπτομερώς τη δυναμική των υφιστάμενων ή των αναδυόμενων τεχνολογιών και να συνεισφέρουμε στις συζητήσεις περί τεχνολογιών αρνητικών εκπομπών άνθρακα, οι οποίες θεωρούνται κρίσιμες για την πραγματοποίηση μακροπρόθεσμων οραμάτων απαλλαγής από τον άνθρακα.

Όλα τα παραπάνω επιχειρήματα συνηγορούν στην άποψη ότι οι δραστηριότητες μοντελοποίησης κλίματος-οικονομίας για την ουσιαστική υποστήριξη της χάραξης πολιτικής οφείλουν να περιστρέφονται γύρω από σύνολα ΜΟΑ και άλλων εργαλείων μοντελοποίησης που μαζί δύνανται να καλύψουν όλο το φάσμα των γεωγραφικών κλιμάκων, οικονομικών τομέων, θεμάτων ενδιαφέροντος, και αερίων του θερμοκηπίου, όπως επίσης και να βασίζονται σε διαφορετικές δομές και μεθοδολογίες οικονομικής και μαθηματικής μοντελοποίησης (Kovalevskiy et al., 2016). Με την αξιοποίηση ποικίλων συνόλων από συμπληρωματικά μοντέλα, αντί της μοντελοποίησης μόνο ενός μέρους του συστήματος κλίματος-κοινωνίας, περισσότερες όψεις των κλιματικών διεργασιών μπορούν να διερευνηθούν (Rovenskaya et al., 2016).

Ένας εξίσου κρίσιμος λόγος για την αξιοποίηση τέτοιων συνδυασμών πολλαπλών μοντέλων βρίσκεται στην προοπτική μοντελικών δια-συγκρίσεων (model inter-comparisons). Την τελευταία δεκαετία, ένας κλειστός πυρήνας μοντελικών κοινοπραξιών έχουν χρηματοδοτηθεί για την πραγματοποίηση μίας σειράς πολυάριθμων προσπαθειών έρευνας και καινοτομίας, οδηγώντας επί της ουσίας την κούρσα παραγωγής εκατοντάδων ακαδημαϊκών δημοσιεύσεων και σεναρίων (Corbera et al., 2016), διαμορφώνοντας το υπόβαθρο των αναλύσεων των μονοπατιών χαμηλού άνθρακα, σε μεγάλες επιστημονικές αναφορές και εκθέσεις, συμπεριλαμβανομένων των Εκθέσεων Αξιολόγησης της ΔΕΚΑ. Αυτές οι προσπάθειες εστιάζουν σε μεγάλο βαθμό σε δια-συγκρίσεις μεταξύ μίας σειράς από ΜΟΑ, με αφετηρία τα διαφορετικά τους χαρακτηριστικά, όπως τον βαθμό αντιπροσώπευσης των τεχνολογιών (ιδιαίτερα στη γενικά ασθενώς καθορισμένη πλευρά τελικής χρήσης) ή τη γεωγραφική και τομεακή κάλυψη. Αυτές οι διαφορές έχουν επισημανθεί ως πλεονέκτημα, και όντως οι συντάκτες επιστημονικών περιοδικών υψηλής επίδρασης τάσσονται υπέρ των μοντελικών δια-συγκρίσεων (π.χ. Editorial Board, 2015), καθώς αυτές κρίνονται πιο εύρωστες από μελέτες βασισμένες σε μεμονωμένα μοντέλα. Παρ' όλα αυτά, δεν έχει πραγματικά υπάρξει συστηματική σύγκριση των μοντέλων και των διαφοροποιήσεών τους. Όταν αυτό έχει επιχειρηθεί (Tavoni et al., 2015), τα υπό σύγκριση μοντέλα έχουν αντιμετωπισθεί ως φέροντα χαρακτηριστικά που παραπέμπουν σε «προσωπικότητες», οι οποίες διαχωρίζονται από τις υποθέσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί σε αυτά. Ακόμη κι έτσι, τέτοιες προσπάθειες τείνουν να συνεισφέρουν επιτυχώς στη μελέτη της κλιματικής αλλαγής και την υποστήριξη της διαμόρφωσης σχετικών πολιτικών, για παράδειγμα, για την καλύτερη κατανόηση των αβεβαιοτήτων (Gillingham et al., 2015). Αυτό αναδεικνύει ένα άλλο ζήτημα: πέραν της θεμελίωσης της πολιτικής με σύνολα μοντέλων κλίματος-οικονομίας, οι μοντελικές δραστηριότητες οφείλουν να προσανατολίζονται σε διαφανή, πλήρως εναρμονισμένα σενάρια και σύνολα δεδομένων, οδηγώντας σε πλέον ουσιαστικές δια-συγκρίσεις που εξηγούν με σαφήνεια τις διαφορές μεταξύ των μοντελικών αποτελεσμάτων. Αυτό, με τη σειρά του, θα έχει καθαρές, θετικές επιπτώσεις τόσο στη χάραξη πολιτικής όσο και στην εξέλιξη της επιστημονικής κοινότητας και το πεδίο της μοντελοποίησης κλίματος-οικονομίας.

2.4 Ο ρόλος των εμπειρογνομώνων

Στην προσπάθειά τους να υποστηρίξουν την περίφημη διεπαφή επιστήμης-πολιτικής (Lacey et al., 2017), οι Turnheim et al. (2015) αναφέρθηκαν λεπτομερώς στη σημασία της βασισμένης στην πρωτοβουλία εκμάθησης: η υλοποίηση των επιθυμητών μεταβάσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί αν όλοι οι σχετικοί φορείς συμμετέχουν στον καθορισμό, τη νομιμοποίηση και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, πρωτοβουλιών και πρακτικών. Η χαρτογράφηση και κατανόηση των κινήτρων, ανησυχιών, στρατηγικών και εξειδικεύσεων των παραγόντων που συναποτελούν τα κοινωνικοτεχνικά συστήματα είναι ζωτικής σημασίας για τους φορείς χάραξης πολιτικής, εάν αποσκοπούν στη σχεδίαση πολιτικών που μπορούν να προάγουν κοινωνικά αποδεκτές, τεχνικά δυνατές, οικονομικά βιώσιμες και εύρωστες μεταβάσεις. Αυτή η συμμετοχικότητα είναι πλήρως ευθυγραμμισμένη με τον Διευκολυντικό Διάλογο Talanoa που οι Διασκέψεις των Μερών (Conferences of the Parties – COP) 21-23 σταδιακά θεμελίωσαν, προκειμένου να δοθεί φωνή στο πλαίσιο των συζητήσεων για το κλίμα σε όλους, ειδικούς και μη. Αυτό, επί της ουσίας, τονίζει την ανάγκη τόσο εναρμόνισης της πολιτικής με δράσεις της αγοράς όσο και θεώρησης των κοινωνικοοικονομικών, τεχνολογικών και ρυθμιστικών μεταβάσεων που απαιτούνται προκειμένου να επιτευχθεί ουσιαστική και αποτελεσματική κλιματική δράση. Αυτές οι μεταβάσεις αντιπροσωπεύονται από πολυάριθμες ομάδες φορέων και ενδιαφερόμενων μερών, οι οποίες (πέραν των φορέων χάραξης πολιτικής) ενσωματώνουν τον ιδιωτικό τομέα και τη βιομηχανία, τις εθνικές κυβερνήσεις, την ερευνητική και ακαδημαϊκή κοινότητα, τους Μη Κυβερνητικούς Οργανισμούς (ΜΚΟ), τα εμπορικά και εργατικά σωματεία και οργανώσεις, αντιπροσώπους άλλων σχετικών θεσμών, και φυσικά την ευρύτερη κοινωνία. Ως οι ηγετικές δυνάμεις αυτών των μεταβάσεων που απαιτούνται για τον μετασχηματισμό των κοινωνιών και οικονομιών μας, κάθε μία από αυτές τις ενδιαφερόμενες ομάδες οφείλουν να βρίσκονται στην καρδιά των επιστημονικών (άρα και μοντελικών) διεργασιών υποστήριξης της πολιτικής, ιδίως στο πλαίσιο μίας διαρκούς και συστηματικής ανασκόπησης και αναμόρφωσης της κλιματικής δράσης. Άλλωστε, πρόσφατες μελέτες συνιστούν ότι η συλλογή πληροφοριών και προτιμήσεων από ένα μεγάλο εύρος εμπειρογνομώνων και η ενσωμάτωσή τους στις μοντελικές δραστηριότητες συνεισφέρει σημαντικά τόσο στη διαφάνεια όσο και την ευρωστία των επιστημονικών μεθόδων και ευρημάτων (Verdolini et al., 2018).

Έως τώρα, η συνήθης πρακτική της βασισμένης σε μοντέλα έρευνας για την υποστήριξη ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής υποδεικνύει ότι οι ενδιαφερόμενοι φορείς είτε εξαιρούνται εξ ολοκλήρου από τις μοντελικές δραστηριότητες, είτε σε περιορισμένο βαθμό καλούνται να συμμετάσχουν σε διαδικασίες που στην καλύτερη περίπτωση συνδέονται ασθενώς με τη διαμόρφωση των μοντελικών υποθέσεων και σεναρίων. Επομένως, προκύπτει ένα πλατύ χάσμα μεταξύ της τυπικής αναπαράστασης, η οποία περιλαμβάνει το μοντέλο και τις υπολογιστικές διαδικασίες που περιλαμβάνονται σε αυτό, και του πραγματικού πλαισίου στο οποίο λαμβάνονται, εκτελούνται και κρίνονται οι αποφάσεις. Η μοντελοποίηση οφείλει να είναι «βασισμένη στη ζήτηση» και η επιστημονική κοινότητα φαίνεται να αναγνωρίζει αυτήν τη συνθήκη. Και, όμως, υπάρχουν λίγες ενδείξεις ότι οι συνδυασμοί σεναρίων, όπως τα Διαμοιρασμένα Κοινωνικοοικονομικά Μονοπάτια (ΔΚΜ) και τα Αντιπροσωπευτικά Μονοπάτια Συγκέντρωσης (ΑΜΣ) που χρησιμοποιούνται σε αντίστοιχες μελέτες (O'Neill et al., 2014· van Vuuren et al., 2011), καθώς και υψηλού-επιπέδου μηνύματα θα είναι εν τέλει χρήσιμα στους φορείς σχεδίασης, υποβολής και εφαρμογής των ΕΚΣ.

Ίσως ακόμη πιο σημαντικά, για κάποιον που δεν συμμετέχει ενεργά στον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη χρήση των μοντέλων, είναι πρακτικά αδύνατο να δει μέσα στο «μαύρο κουτί» αυτών των μοντέλων, γεγονός που περιορίζει την αξιοπιστία των μοντελικών αποτελεσμάτων και των σχετικών συστάσεων

πολιτικής. Οι φορείς χάραξης πολιτικής, επομένως, είναι σκεπτικοί απέναντι στα αποτελέσματα των επιστημονικών πληροφοριών που εξάγονται από τέτοια μοντέλα, για τις υποκείμενες υποθέσεις και την ευρωστία των οποίων διατίθεται ανεπαρκής πληροφορία (Kelly and Kolstad, 2000). Για την αντιμετώπιση αυτής της δυσκολίας, δεν απαιτείται απλώς η ανάπτυξη εργαλείων μοντελοποίησης ανοικτού κώδικα και η παροχή δημόσιας πρόσβασης σε αυτά, ή έστω παροχή πρόσβασης στους φορείς χάραξης πολιτικής—άλλωστε, αυτοί σπάνια ενδιαφέρονται για κομμάτια κώδικα ή μαθηματικούς τύπους. Απεναντίας, χρειάζονται σαφείς και απλές επεξηγήσεις, συστηματικές συγκρίσεις μεταξύ των διαφόρων χαρακτηριστικών των μοντέλων και, στην περίπτωση των μοντελικών συνόλων, προσπάθειες πλήρους εναρμόνισης όλων των παραμέτρων και δεδομένων εισόδου σε όλα τα μοντέλα, με σκοπό τη βελτίωση της διαφάνειας των μοντελικών διεργασιών. Και, παρότι έχουν υπάρξει πρωτοβουλίες προσανατολισμένες στη διαφάνεια από την πλευρά της μοντελικής κοινότητας², αυτές δεν έχουν σταθεί επιτυχείς, τουλάχιστον σε βαθμό που να ικανοποιεί τους φορείς χάραξης πολιτικής και άλλους σχετικούς ενδιαφερόμενους φορείς, που να προάγει σημαντικά την κυριότητα των επιστημονικών εκβάσεων, και που να μετασχηματίζει τις συστάσεις πολιτικής σε πραγματική πολιτική. Η αποτυχία αυτών των προσπαθειών να παρέχουν επαρκείς πληροφορίες για την ολοκλήρωση των διασυνδέσεων στα ΜΟΑ συζητείται εκτενώς από τους Pauliuk et al. (2017).

Ομολογουμένως, έχουν υπάρξει τεχνικές εξελίξεις στα μοντέλα, όπως η πιο λεπτομερής αναπαράσταση νέων τεχνολογιών ή η αυξανόμενη εστίαση σε σενάρια μετριασμού της κλιματικής αλλαγής που δεν βασίζονται αποκλειστικά σε ένα κλειστό υποσύνολο τεχνολογιών αφαίρεσης του διοξειδίου του άνθρακα (Anderson and Peters, 2016). Αλλά σε ποιον βαθμό διασφαλίζουν αυτές οι προσπάθειες ότι οι φορείς χάραξης πολιτικής νιώθουν ασφαλείς με τα αποτελέσματα, τόσο ώστε να προάγουν μεγάλες επενδύσεις σε συγκεκριμένες στρατηγικές, αμιγώς στη βάση αυτών των αποτελεσμάτων; Εάν, για παράδειγμα, η ευρωστία των μονοπατιών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής που βασίζονται στη βιοενέργεια με δέσμευση και αποθήκευση του άνθρακα (ΔΑΑ) ή στην άμεση δέσμευση αέρα (ΑΔΑ) εξαρτάται από την αξιοπιστία των υποκείμενων υποθέσεων περί του κόστους εξαγωγής και επένδυσης των μονάδων παραγωγής της πρώτης ή από την αναγνώριση της έως τώρα μη πρακτικής εφαρμογής της δεύτερης, αυτό επικοινωνείται επαρκώς στους φορείς χάραξης πολιτικής; Και, αν επικοινωνείται, αυτοί αισθάνονται ασφαλείς με τέτοια μονοπάτια ή προτιμούν τη διενέργεια περισσότερης έρευνας της ρεαλιστικής δυνατότητας αξιοποίησης τεχνολογιών αρνητικών εκπομπών άνθρακα;

Επομένως, για να έχει κάποια ελπίδα να αντιμετωπίσει αυτήν τη δυσκολία, οποιαδήποτε μοντελική δραστηριότητα οφείλει να ξεκινάει με μία λεπτομερή και συστηματική καταγραφή και κατανόηση των αναγκών των φορέων χάραξης πολιτικής καθώς και των μερών αυτών που έως τώρα δεν ικανοποιούνται, συμπεριλαμβανομένων των προσδοκιών τους και του βαθμού στον οποίον κατανοούν τη λειτουργία των εργαλείων μοντελοποίησης. Αυτή η καταγραφή μπορεί να συνοψισθεί (α) στην αναγνώριση των κρίσιμων ενδιαφερόμενων ομάδων για κάθε ερευνητικό ερώτημα, (β) στην αποτελεσματική και ουσιαστική ενημέρωση αυτών σχετικά με τις δυνατότητες των επιστημονικών εργαλείων (συμπεριλαμβανομένων των μοντέλων) και με τις προσδοκίες που οφείλουν να έχουν από αυτά ή τον τρόπο με τον οποίον μπορούν να αξιοποιήσουν τα αποτελέσματά τους, και (γ) στην ουσιαστική ενσωμάτωση όλων των ομάδων ενδιαφερόμενων μερών σε όλα τα στάδια των επιστημονικών διαδικασιών. Ένα τέτοιο νέο υπόδειγμα τοποθέτησης του ανθρώπινου παράγοντα στην καρδιά των μοντελικών διεργασιών, προσανατολισμένο στην συν-σχεδίαση και την συμπαραγωγή γνώσης, θα διασφαλίσει ότι οι δραστηριότητες μοντελοποίησης κλίματος-οικονομίας είναι ρεαλιστικές

² ADVANCE Wiki | The Common Integrated Assessment Model (CIAM) Documentation. Available online: http://themasites.pbl.nl/models/advance/index.php/ADVANCE_wiki (accessed on 2 July 2018).

και «βασισμένες στη ζήτηση», καθώς και ότι τα αποτελέσματά τους θα αξιοποιηθούν πράγματι στη σχεδίαση αποτελεσματικής κλιματικής πολιτικής.

2.5 Ανάγκη ενσωμάτωσης νέων μεθοδολογιών

Η πιο αισιόδοξη προσδοκία από ένα οποιοδήποτε μοντέλο δεν είναι παρά μία χρήσιμη προσέγγιση της πραγματικότητας (Box et al., 2005). Πέραν των θεμελίων των συναρτήσεων ζημίας που υποτίθενται από τα MOA, ο Pindyck (2013) χαρακτηρίζει το επίπεδο γνώσης και ακρίβειας των μοντελικών αναλύσεων ως ανύπαρκτο. Ακόμη και αν οι ενδιαφερόμενοι φορείς και οι πραγματικές ανάγκες πολιτικής επί της ουσίας καθοδηγούν τις μοντελικές διεργασίες, σε μία προσπάθεια γεφύρωσης των γνωσιακών χασμάτων, προκύπτουν δύο κρίσιμα ζητήματα.

Το πρώτο ζήτημα αφορά στον τρόπο με τον οποίο η πληροφορία των εμπειρογνομόνων μπορεί να εξαχθεί και μετασχηματιστεί σε μορφή χρήσιμη για τις επιστημονικές διεργασίες, με τρόπο δομημένο και διευκολυντικό. Σε αυτήν την κατεύθυνση, υπάρχουν μεθοδολογίες εκτός του φάσματος των μοντέλων ενεργειακών συστημάτων και κλίματος-οικονομίας που επιτρέπουν τον καθορισμό και την εκτίμηση ζητημάτων που καταρχήν εξαιρούνται από τις μοντελικές δραστηριότητες, όπως κίνδυνοι, μέτρα πολιτικής και κρίσιμες αβεβαιότητες (Nikas and Doukas, 2016). Και, παρότι στη βιβλιογραφία υπάρχουν ορισμένα παραδείγματα συνδυασμού αυτών με εργαλεία μοντελοποίησης, τέτοιες προσεγγίσεις δεν αποτελούν συνήθη πρακτική της επιστημονικής κοινότητας. Για παράδειγμα, τα πολυκριτηριακά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (ΠΣΥΑ) έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε αυτό το πεδίο (Nikas et al., 2018) και έχουν συνδυασθεί, σε ποικίλες συνθέσεις, με μοντέλα ενεργειακών συστημάτων και κλίματος-οικονομίας, όπως τα WITCH και TIAM (Baležentis and Streimikiene, 2017), τα AIM και TIMES (Vaillancourt and Waaub, 2004), και το MARKAL (Shmelev and van den Bergh, 2016). Η χαρτογράφηση συστήματος (ΧΣ) είναι μία διαφορετική μεθοδολογία βασισμένη στη γνώση εμπειρογνομόνων, η οποία πρόσφατα πλακισώθηκε στο πεδίο της κλιματικής πολιτικής (Nikas et al., 2017), και η οποία στοχεύει στην αναγνώριση και ανάλυση κινδύνων και βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε εργαλεία Συστημάτων Καινοτομίας, τα οποία επίσης έχουν εφαρμοστεί σε πρόσφατες μελέτες για την ουσιαστική πληροφόρηση της κλιματικής πολιτικής (π.χ. Moallemi et al., 2017· και Edsand, 2017). Τέλος, και οι ασαφείς γνωστικοί χάρτες (ΑΓΧ) έχουν χρησιμοποιηθεί τα τελευταία χρόνια με σκοπό τη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ εμπειρογνομόνων και επιστημόνων που συμμετέχουν σε διεργασίες μοντελοποίησης, και τη μετάφραση της πληροφορίας των πρώτων σε μορφή χρήσιμη για τις ποσοτικές αναλύσεις των δευτέρων (π.χ. Mallampalli et al., 2016).

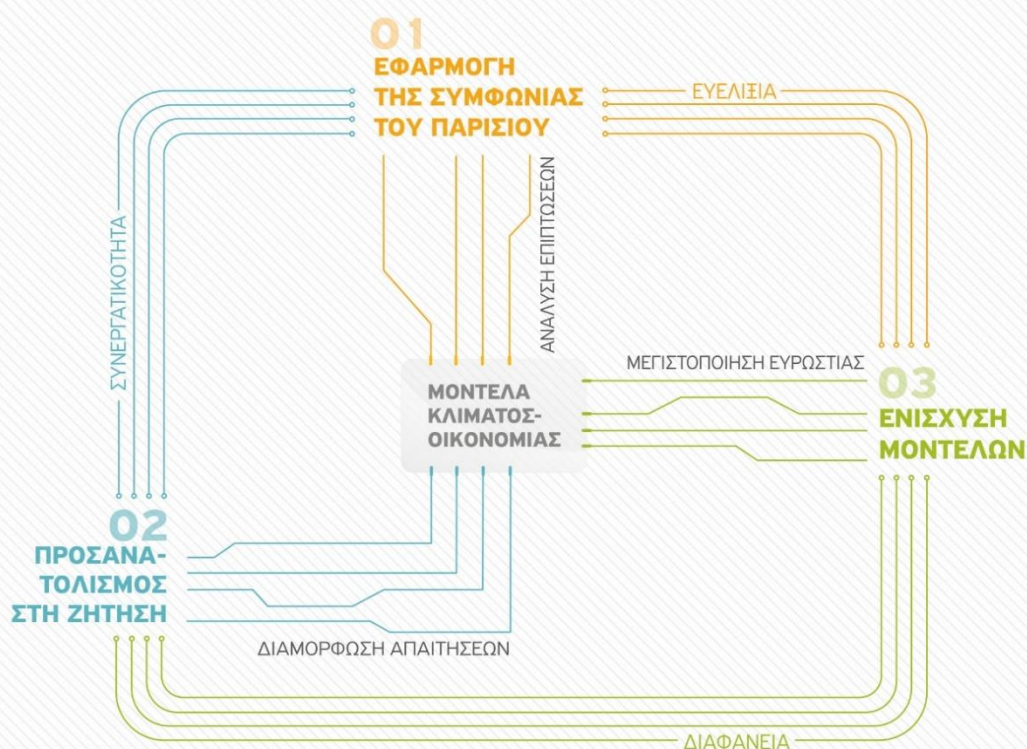
Το δεύτερο ζήτημα αφορά στη μεγιστοποίηση της ευρωστίας των αποτελεσμάτων των μοντέλων, μέσα από την κατανόηση, αξιολόγηση και ελαχιστοποίηση των αβεβαιοτήτων και του σχετιζόμενου θορύβου των τροχιών κοινωνικοοικονομικών δεικτών και επιπέδων άνθρακα (π.χ. Berger et al., 2016), που είναι κρίσιμη για την ενεργειακή και κλιματική πολιτική (Doukas, 2013). Σε αυτήν την κατεύθυνση, η θεωρία χαρτοφυλακίου (ΘΧ) και οι προσεγγίσεις ανάλυσης αναμενόμενης απώλειας (regret analysis), ολοκληρωμένες με διεργασίες ανάλυσης της στοχαστικής αβεβαιότητας, έχουν αξιοποιηθεί παράλληλα με μοντέλα υποστήριξης κλιματικής πολιτικής. Ενδεικτικά, οι Pugh et al. (2011) χρησιμοποίησαν σενάρια προχωρημένων τεχνολογιών του μοντέλου GCAM και στη συνέχεια χρησιμοποίησαν τη γνώση εμπειρογνομόνων για να αξιολογήσουν την πιθανότητα επίτευξης των σχετικών στόχων εμποροποίησης της Έρευνας & Ανάπτυξης (E&A), τα οποία εν τέλει χρησιμοποίησαν για να κατασκευάσουν βέλτιστα χαρτοφυλάκια τεχνολογικών επενδύσεων. Παρομοίως, οι Baker and

Solak (2011) χρησιμοποίησαν τις εξόδους των μοντέλων DICE-2007 και MiniCAM (πρότερη έκδοση του GCAM), και συνδύασαν οικονομική ανάλυση και επιχειρησιακή έρευνα για να αξιοποιήσουν στοχαστικά δεδομένα στην E&A ενεργειακών πολιτικών, υπό το πρίσμα της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής και των σχετικών κινδύνων. Αναγνωρίζοντας τις δυσκολίες υπολογισμού της διακύμανσης και των συσχετίσεων των αβέβαιων παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις των μοντέλων κλίματος-οικονομίας, οι Hu et al. (2012) εφάρμοσαν ένα μοντέλο στοχαστικής βελτιστοποίησης, βασισμένο σε πολυμεταβλητή κανονική κατανομή, προκειμένου να παράγουν εύρωστες πολιτικές στρατηγικές με το μοντέλο DICE. Έξω από το περιορισμένο πεδίο εφαρμογής των ντετερμινιστικών πλαισίων και της ανάλυσης σεναρίων, αυτές οι μέθοδοι δύνανται να παρέχουν πληροφορίες για τον βαθμό βεβαιότητας που σχετίζεται με την επιλογή συγκεκριμένων στρατηγικών κλιματικής δράσης και εν τέλει να ενισχύσουν την ευρωστία των επιστημονικών συστάσεων πολιτικής. Άλλα παραδείγματα «από κάτω προς τα πάνω» (bottom-up) εργαλείων, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία γνώσης σε θέματα που συνήθως υποεκπροσωπούνται στα MOA και αποτελούν παράγοντες αβεβαιότητας, είναι η ανάλυση κύκλου ζωής (AKZ) των τεχνολογιών (Arvesen et al., 2018, Pehl et al., 2017).

2.6 Συμπεράσματα

Όλες οι αδυναμίες που σχετίζονται με το υφιστάμενο επιστημονικό παράδειγμα και οι προκλήσεις που επισημαίνονται από τη Συμφωνία του Παρισιού και τις μετέπειτα εξελίξεις στον χώρο της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής και δράσης, όπως αναλύθηκαν στο παρόν κεφάλαιο, συνηγορούν στην αναγκαιότητα ανάπτυξης ενός νέου πλαισίου υποστήριξης της κλιματικής πολιτικής, το οποίο προάγει τη διαφάνεια, την ευελιξία και τη συνεργατικότητα. Οι τρεις πυλώνες που αναλύθηκαν παραπάνω (Ενότητες 2.3 - 2.5) αντιστοιχίζονται στις τρεις διαστάσεις του προτεινόμενου επιστημονικού παραδείγματος και στοχεύουν (Εικόνα 2.1):

- a. στην αποτελεσματική ανάλυση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και των σχετικών μέτρων πολιτικής,
- b. στην ουσιαστική διαμόρφωση των απαιτήσεων των επιστημονικών διεργασιών και τη γεφύρωση των γνωσιακών χάσμάτων μέσα από τη συμμετοχή εμπειρογνομόνων, και
- c. στη μεγιστοποίηση της ευρωστίας των μοντέλων και των αποτελεσμάτων τους, μέσω της αξιοποίησης μεθοδολογιών για την σωστή πληροφόρηση του πλαισίου των αναλύσεων και για την ανάλυση και μείωση της αβεβαιότητας.



01 **Επέκταση αναλύσεων σε κρίσιμα ερωτήματα πολιτικής**

- Διαφορετικά καθεστάτα εφαρμογής/συνεργασίας
- Κλιμάκωση φιλοδοξίας
- Ευθυγράμμιση ανάλυσης κλιματικών δεσμεύσεων με Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης
- Νέες τεχνολογίες αρνητικών εκπομπών άνθρακα
- Κοινωνική καινοτομία
- Εγχώριες κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις
- Συνέργειες και συγκρούσεις κλιματικής δράσης με πολιτικές άλλων πεδίων
- Δικαιοσύνη μεταξύ των κρατών
- Έμφαση στις ανταλλαγές κεφαλαίου και τεχνολογίας

02 **Συμμετοχή όλων των εμπειρογνομώνων**

- Φορείς χάραξης πολιτικής
- Βιομηχανία
- Κυβερνήσεις
- Ερευνητική κοινότητα
- ΜΚΟ
- Σωματεία, ενώσεις, δίκτυα
- Άλλοι θεσμοί
- Πολίτες

03 **Ενσωμάτωση της ανθρώπινης γνώσης**

- Πολυκριτηριακά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων
- Συστήματα Καινοτομίας
- Ασαφείς γνωστικοί χάρτες

Ανάλυση αβεβαιότητας

- Ανάλυση χαρτοφυλακίου
- Προσομιώσεις με στοχαστική αβεβαιότητα
- Συγκριτική αξιολόγηση μοντέλων κλίματος-οικονομίας με μοντέλα τομεακής ανάλυσης
- Προσαρμοστικά μείγματα πολιτικής

Ποικίλες μαθηματικές και οικονομικές δομές

- Γενικής Ισορροπίας
- Μακροοικονομετρικά
- Μερικής Ισορροπίας
- Ενεργειακών Συστημάτων
- Τομεακής ανάλυσης

Γεωγραφική κάλυψη πολλαπλών επιπέδων

- Εθνικό
- Περιφερειακό
- Παγκόσμιο

Συγκρίσεις μεταξύ αποτελεσμάτων διαφορετικών αναλύσεων

Εικόνα 2.1 Το προτεινόμενο επιστημονικό υπόδειγμα της διδακτορικής διατριβής.

Ένα πρότυπο παράδειγμα εφαρμογής του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, βασισμένο σε πρόσφατες επιστημονικές εξελίξεις, περιλαμβάνει: (i) την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων ενός συνόλου εργαλείων μοντελοποίησης κλίματος-οικονομίας ή/και ενεργειακών συστημάτων για την ανάλυση της αποτελεσματικότητας μέτρων πολιτικής (σε όρους κόστους, εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, άλλων κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων όπως η κοινωνική υγεία και η απασχόληση, κλπ.)· (ii) την αναγνώριση και αξιολόγηση κινδύνων που εμποδίζουν την αποτελεσματική εφαρμογή αυτών των πολιτικών (ή την σχετιζόμενη διάχυση νέων τεχνολογιών), από την οπτική γωνία ενός ευρύτερου συνόλου ενδιαφερόμενων φορέων και μέσω της αξιοποίησης κατάλληλων προσεγγίσεων πολυκριτήριας ανάλυσης· (iii) τον καθορισμό και την ανάλυση χαρτοφυλακίου ενός πολυστοχικού προβλήματος, στο οποίο τόσο τα μοντελικά αποτελέσματα όσο και ο κίνδυνος κάθε χαρτοφυλακίου πολιτικής θεωρούνται διαφορετικές διαστάσεις αξιολόγησης· (iv) την ανάλυση ευρωστίας των επακόλουθων υποβέλτιστων λύσεων, μέσω της αξιοποίησης προσεγγίσεων ανάλυσης της στοχαστικής αβεβαιότητας· και (v) την ημιποσοτική ανάλυση του συνόλου των υποβέλτιστων χαρτοφυλακίων πολιτικής διευκολύνοντας με κατάλληλα εργαλεία τους αποφασίζοντες να επιλέξουν ένα εκ των χαρτοφυλακίων. Μία ολοκληρωμένη εφαρμογή βασισμένη σε αυτήν τη μεθοδολογική σύνθεση, όπως παρουσιάζεται στο [Κεφάλαιο 12](#), προσδίδει περαιτέρω επιστημονικό κύρος στις διεργασίες προς υποστήριξη της σχεδίασης πολιτικών, επισημαίνει την αποτελεσματικότητα και βιωσιμότητα των επακόλουθων συστάσεων πολιτικής μέσω της ενσωμάτωσης πολλαπλών μεθοδολογιών από διαφορετικά επιστημονικά πεδία, διασφαλίζει τη διαφάνεια των διεργασιών αυτών μέσω της ενεργού συμμετοχής των ενδιαφερόμενων φορέων, και μεγιστοποιεί την ευρωστία των μοντελικών αποτελεσμάτων παρέχοντας στους φορείς χάραξης πολιτικής πληροφορίες σχετικές με το βαθμό αβεβαιότητας των προτεινόμενων στρατηγικών. Εναλλακτικές μεθοδολογικές συνθέσεις, επί του προτεινόμενου επιστημονικού υποδείγματος, παρουσιάζονται στα [Κεφάλαια 8-11](#).

Η Συμφωνία του Παρισιού επισημαίνει υφιστάμενες και αναδεικνύει νέες προκλήσεις, η αντιμετώπιση των οποίων απαιτεί από την επιστημονική κοινότητα ισχυρότερες συνεργασίες μεταξύ των ερευνητικών ομάδων και την ολοκλήρωση πολλαπλών επιστημών, αντί των τεχνικών αναλύσεων και των ψευδαισθήσεων επί ανέφικτων μονοπατιών μετάβασης σε κοινωνίες χαμηλού άνθρακα ([Peters, 2016](#)) που έως τώρα επικρατούν στη βιβλιογραφία. Αυτές οι προκλήσεις και απαιτήσεις επισημαίνουν τη συνάφεια της παρούσας διδακτορικής διατριβής με τις πραγματικές διαδικασίες χάραξης της εθνικής, υπερεθνικής και παγκόσμιας κλιματικής πολιτικής: το προτεινόμενο υπόδειγμα επί της ουσίας επιχειρεί μία μετάβαση από τη χρήση μεμονωμένων ΜΟΑ σε πραγματικά συνεργατικές και ολοκληρωμένες επιστημονικές διεργασίες, στις οποίες πολλαπλοί φορείς και ποικίλες μέθοδοι αλληλοσυμπληρώνονται. Χωρίζοντάς το σε τρεις διαστάσεις, το νέο επιστημονικό υπόδειγμα πρέπει να αποτελεί τη βάση της αποτελεσματικής επιστημονικής υποστήριξης, η οποία οφείλει να είναι εύρωστη, άρτια, διαφανής και βιώσιμη.

Οι Mach and Field ([2017](#)) πρόσφατα υποστήριξαν ότι η ανταπόκριση στις κλιματικές προκλήσεις παρουσιάζει ευκαιρίες για συνέργειες· ακόμη περισσότερο, οι συνέργειες μεταξύ των διαφορετικών επιστημονικών ομάδων και πεδίων είναι προϋπόθεση για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Επίσης, η ισχυροποίηση των δεσμών μεταξύ της επιστημονικής κοινότητας και το πλήθος των ομάδων ενδιαφερόμενων μερών, οι οποίες περιλαμβάνουν αλλά δεν περιορίζονται στους φορείς χάραξης πολιτικής, δεν θα μεγιστοποιήσει απλώς τη διακυβέρνηση της κλιματικής πολιτικής ([Geels et al., 2016](#)), αλλά θα οδηγήσει σε πιο αποτελεσματικές και εύρωστες, επιστημονικά τεκμηριωμένες συστάσεις πολιτικής.

Με την ολοκλήρωση του διευκολυντικού διαλόγου Ταλαποα, ως την πρώτη άσκηση ΠΑ, η κλιματική δράση εισέρχεται επίσημα σε μία «κλειδωμένη», αυστηρώς καθορισμένη φάση. Λαμβάνοντας υπόψιν τις νέες προκλήσεις που αναδεικνύει η Συμφωνία του Παρισιού, γίνεται εμφανές ότι η επιτυχής αναμόρφωση του κόσμου μας μέσα από βιώσιμα, κοινωνικά εύρωστα μονοπάτια απαιτεί τη ριζοσπαστικοποίηση της επιστημονικής υποστήριξης αποφάσεων κλιματικής πολιτικής. Πέραν της πολυποίκιλης πληθώρας μοντέλων MOA και άλλων εργαλείων μοντελοποίησης, η διαθεσιμότητα τόσο των ενδιαφερόμενων φορέων όσο και ενός μεγάλου αριθμού συμπληρωματικών μεθοδολογιών επιχειρησιακής έρευνας και υποστήριξης αποφάσεων είναι δεδομένη. Επομένως, ευκαιρία ή αναγκαιότητα, η πραγματικά συνεργατική και ολοκληρωμένη επιστημονική υποστήριξη της κλιματικής πολιτικής οφείλει να αποτελεί τη νέα πραγματικότητα· η δημιουργία μηχανισμών συνεργασίας στην κοινωνία προϋποθέτει την ανάπτυξη μηχανισμών συνεργασίας και μέσα στην επιστημονική κοινότητα.

2.7 Βιβλιογραφία

- Ackerman, F., DeCanio, S. J., Howarth, R. B., & Sheeran, K. (2009). Limitations of integrated assessment models of climate change. *Climatic change*, 95(3-4), 297-315.
- Agrawala, S., Bosello, F., Carraro, C., De Bruin, K., De Cian, E., Dellink, R., & Lanzi, E. (2011). Plan or react? Analysis of adaptation costs and benefits using integrated assessment models. *Climate Change Economics*, 2(03), 175-208.
- Anderson, K., & Peters, G. (2016). The trouble with negative emissions. *Science*, 354(6309), 182-183.
- Anderson, K., & Peters, G. (2016). The trouble with negative emissions. *Science*, 354(6309), 182-183.
- Anger, A., & Barker, T. (2015). The effects of the financial system and financial crises on global growth and the environment. In *Finance and the macroeconomics of environmental policies* (pp. 153-193). Palgrave Macmillan, London.
- Arvesen, A., Luderer, G., Pehl, M., Bodirsky, B. L., & Hertwich, E. G. (2018). Deriving life cycle assessment coefficients for application in integrated assessment modelling. *Environmental Modelling & Software*, 99, 111-125.
- Baker, E., & Solak, S. (2011). Climate change and optimal energy technology R&D policy. *European Journal of Operational Research*, 213(2), 442-454.
- Baležentis, T., & Streimikiene, D. (2017). Multi-criteria ranking of energy generation scenarios with Monte Carlo simulation. *Applied energy*, 185, 862-871.
- Berger, L., Emmerling, J., & Tavoni, M. (2016). Managing catastrophic climate risks under model uncertainty aversion. *Management Science*, 63(3), 749-765.
- Box, G. E., Hunter, J. S., & Hunter, W. G. (2005). *Statistics for experimenters: design, innovation, and discovery* (Vol. 2). New York: Wiley-Interscience.
- Comyn-Platt, E., Hayman, G., Huntingford, C., Chadburn, S. E., Burke, E. J., Harper, A. B., Collins, W.J., Webber, C.P., Powell, T., Cox, P.M., & Gedney, N. (2018). Carbon budgets for 1.5 and 2 C targets lowered by natural wetland and permafrost feedbacks. *Nature Geoscience*, 11(8), 568.
- Corbera, E., Calvet-Mir, L., Hughes, H., & Paterson, M. (2016). Patterns of authorship in the IPCC Working Group III report. *Nature Climate Change*, 6(1), 94.
- De Meyer, K, Rose, L, Rapley C. and Welch, K. (2018). Developing Better Climate Mitigation Policies: Challenging current climate change risk assessment approaches, UCL Policy Commission on Communicating Climate Science - Report 2018-01, July 2018
- Doukas, H. (2013). Modelling of linguistic variables in multicriteria energy policy support. *European Journal of Operational Research*, 227(2), 227-238.

- Doukas, H., Nikas, A., González-Eguino, M., Arto, I., & Anger-Kraavi, A. (2018). From Integrated to Integrative: Delivering on the Paris Agreement. *Sustainability*, 10(7), 2299.
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., & Kriemann, B. (2014). IPCC, 2014: Summary for Policymakers, In: Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. In Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Editorial Board (2015). IAM helpful or not? *Nature Climate Change*, 5 (2). (p. 81).
- Edsand, H. E. (2017). Identifying barriers to wind energy diffusion in Colombia: A function analysis of the technological innovation system and the wider context. *Technology in Society*, 49, 1-15.
- Falkner, R. (2016). The Paris Agreement and the new logic of international climate politics. *International Affairs*, 92(5), 1107-1125.
- Fischhoff, B., Watson, S. R., & Hope, C. (1983). Defining risk. University of Cambridge Engineering Department.
- Geels, F. W., Berkhout, F., & van Vuuren, D. P. (2016). Bridging analytical approaches for low-carbon transitions. *Nature Climate Change*, 6(6), 576.
- Gillingham, K., Nordhaus, W. D., Anthoff, D., Blanford, G., Bosetti, V., Christensen, P., McJeon, H., Reilly, J., & Sztorc, P. (2015). *Modeling uncertainty in climate change: A multi-model comparison* (No. w21637). National Bureau of Economic Research.
- González-Eguino, M., & Neumann, M. B. (2016). Significant implications of permafrost thawing for climate change control. *Climatic Change*, 136(2), 381-388.
- González-Eguino, M., Neumann, M. B., Arto, I., Capellán-Perez, I., & Faria, S. H. (2017). Mitigation implications of an ice-free summer in the Arctic Ocean. *Earth's Future*, 5(1), 59-66.
- Honegger, M., & Reiner, D. (2018). The political economy of negative emissions technologies: Consequences for international policy design. *Climate Policy*, 18(3), 306-321.
- Hu, Z., Cao, J., & Hong, L. J. (2012). Robust simulation of global warming policies using the DICE model. *Management science*, 58(12), 2190-2206.
- Kelly, D. L., & Kolstad, C. D. (1999). Integrated assessment models for climate change control. *International yearbook of environmental and resource economics*, 2000, 171-197.
- Kemp, L. (2018). A Systems Critique of the 2015 Paris Agreement on Climate. In *Pathways to a Sustainable Economy* (pp. 25-41). Springer, Cham.
- Klinsky, S., Roberts, T., Huq, S., Okereke, C., Newell, P., Dauvergne, P., O'Brien, K., Schroeder, H., Tschakert, P., Clapp, J., & Keck, M. (2017). Why equity is fundamental in climate change policy research. *Global Environmental Change*, 44, 170-173.
- Kovalevskiy, D., Shchiptsova, A., Rovenskaya, E., & Hasselmann, K. (2016). Narrowing Uncertainty of Projections of the Global Economy-Climate System Dynamics via Mutually Compatible Integration within Multi-Model Ensembles.
- Lacey, J., Howden, M., Cvitanovic, C., & Colvin, R. M. (2017). Understanding and managing trust at the climate science-policy interface. *Nature Climate Change*, 1.
- Mach, K. J., & Field, C. B. (2017). Toward the next generation of assessment. *Annual Review of Environment and Resources*, 42, 569-597.
- Mallampalli, V. R., Mavrommati, G., Thompson, J., Duveneck, M., Meyer, S., Ligmann-Zielinska, A., Druschke, C.G., Hychka, K., Kenney, M.A., Kok, K., & Borsuk, M. E. (2016). Methods for translating narrative scenarios into quantitative assessments of land use change. *Environmental Modelling & Software*, 82, 7-20.
- Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G. K., Edenhofer, O., Stocker, T. F., Field, C. B., ... & Matschoss, P. R. (2011). The IPCC AR5 guidance note on consistent treatment of uncertainties: a common approach across the working groups. *Climatic Change*, 108(4), 675.

- Moallemi, E. A., de Haan, F. J., Webb, J. M., George, B. A., & Aye, L. (2017). Transition dynamics in state-influenced niche empowerments: Experiences from India's electricity sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 116, 129-141.
- Nikas, A., & Doukas, H. (2016). Developing robust climate policies: a fuzzy cognitive map approach. In *Robustness Analysis in Decision Aiding, Optimization, and Analytics* (pp. 239-263). Springer, Cham.
- Nikas, A., Doukas, H., & López, L. M. (2018). A group decision making tool for assessing climate policy risks against multiple criteria. *Heliyon*, 4(3), e00588.
- Nikas, A., Doukas, H., Lieu, J., Alvarez Tinoco, R., Charisopoulos, V., & van der Gaast, W. (2017). Managing stakeholder knowledge for the evaluation of innovation systems in the face of climate change. *Journal of Knowledge Management*, 21(5), 1013-1034.
- Nikas, A., Doukas, H., Papandreou, A. (2018). A Detailed Overview and Consistent Classification of Climate-Economy Models. In *Understanding Risks and Uncertainties in Energy and Climate Policy: Multidisciplinary Methods and Tools towards a Low Carbon Society*. Springer, Berlin, Germany.
- Nordhaus, W. D. (1977a). Economic growth and climate: the carbon dioxide problem. *The American Economic Review*, 67(1), 341-346.
- Nordhaus, W. D. (1977b). Strategies for the control of carbon dioxide (No. 443). Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University.
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K. L., Hallegatte, S., Carter, T. R., Mathur, R., & van Vuuren, D. P. (2014). A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122(3), 387-400.
- Pauliuk, S., Arvesen, A., Stadler, K., & Hertwich, E. G. (2017). Industrial ecology in integrated assessment models. *Nature Climate Change*, 7(1), 13.
- Pehl, M., Arvesen, A., Humpenöder, F., Popp, A., Hertwich, E. G., & Luderer, G. (2017). Understanding future emissions from low-carbon power systems by integration of life-cycle assessment and integrated energy modelling. *Nature Energy*, 2(12), 939.
- Peters, G. P. (2016). The 'best available science' to inform 1.5 C policy choices. *Nature Climate Change*, 6(7), 646.
- Pindyck, R. S. (2013). Climate change policy: what do the models tell us?. *Journal of Economic Literature*, 51(3), 860-72.
- Pindyck, R. S. (2017). The use and misuse of models for climate policy. *Review of Environmental Economics and Policy*, 11(1), 100-114.
- Porter, J. R., Xie, L., Challinor, A. J., Cochrane, K., Howden, S. M., Iqbal, M. M., Lobell, D.B., Travasso, M.I., Field, C.B., Barros, V.R., & Dokken, D. J. (2014). Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Food security and food production systems, 485-533.
- Pugh, G., Clarke, L., Marlay, R., Kyle, P., Wise, M., McJeon, H., & Chan, G. (2011). Energy R&D portfolio analysis based on climate change mitigation. *Energy Economics*, 33(4), 634-643.
- Rogelj, J., Popp, A., Calvin, K. V., Luderer, G., Emmerling, J., Gernaat, D., Fujimori, S., Strefler, J., Hasegawa, T., Marangoni, G., & Krey, V. (2018). Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5° C. *Nature Climate Change*, 8(4), 325.
- Rovenskaya, E., Shchiptsova, A., & Kovalevsky, D. (2016). Reconciling Information From Climate-Economic Model Ensembles. *Geoinformatics Research Papers*, 4, BS4002.
- Schneider, S. H. (1997). Integrated assessment modeling of global climate change: Transparent rational tool for policy making or opaque screen hiding value-laden assumptions?. *Environmental Modeling & Assessment*, 2(4), 229-249.
- Shmelev, S. E., & van den Bergh, J. C. (2016). Optimal diversity of renewable energy alternatives under multiple criteria: An application to the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 679-691.

- Stanton, E. A., Ackerman, F., & Kartha, S. (2009). Inside the integrated assessment models: Four issues in climate economics. *Climate and Development*, 1(2), 166-184.
- Tavoni, M., Kriegler, E., Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Aboumahboub, T., Bowen, A., Calvin, K., Campiglio, E., Kober, T., Jewell, J., & Luderer, G. (2015). Post-2020 climate agreements in the major economies assessed in the light of global models. *Nature Climate Change*, 5(2), 119.
- Toth, F. L. (2005). Coupling climate and economic dynamics: recent achievements and unresolved problems. In *The Coupling of Climate and Economic Dynamics* (pp. 35-68). Springer, Dordrecht.
- Turnheim, B., Berkhout, F., Geels, F., Hof, A., McMeekin, A., Nykvist, B., & van Vuuren, D. (2015). Evaluating sustainability transitions pathways: Bridging analytical approaches to address governance challenges. *Global Environmental Change*, 35, 239-253.
- Vaillancourt, K., & Waaub, J. P. (2004). Equity in international greenhouse gases abatement scenarios: A multicriteria approach. *European Journal of Operational Research*, 153(2), 489-505.
- van Vliet, M., Kok, K., & Veldkamp, T. (2010). Linking stakeholders and modellers in scenario studies: The use of Fuzzy Cognitive Maps as a communication and learning tool. *Futures*, 42(1), 1-14.
- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.F., & Masui, T. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change*, 109(1-2), 5.
- Verdolini, E., Anadón, L. D., Baker, E., Bosetti, V., & Aleluia Reis, L. (2018). Future prospects for energy technologies: insights from expert elicitations. *Review of Environmental Economics and Policy*, 12(1), 133-153.
- Watkiss, P., Downing, T. E., & Dyszynski, J. (2010). Adapt cost project: analysis of the economic costs of climate change adaptation in Africa.

3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΛΙΜΑΤΟΣ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Το κεφάλαιο αυτό αφορά στην επισκόπηση και κατηγοριοποίηση των μοντέλων κλίματος-οικονομίας, εφόσον αυτά αποτελούν τον πυρήνα του προτεινόμενου επιστημονικού υποδείγματος.

Το μεγάλο πλήθος και η ευρεία ποικιλία των μοντέλων που είναι ευρύτερα γνωστά ως Μοντέλα Ολοκληρωμένης Αποτίμησης (ΜΟΑ) αποτελούν τροχοπέδη για τους ενδιαφερόμενους να αντιστοιχίσουν οποιοδήποτε μοντέλο σε κάποιο συγκεκριμένο πλαίσιο, ή να αξιολογήσουν ουσιαστικά τα δυνατά και αδύναμα σημεία κάθε μοντέλου συγκριτικά με τα υπόλοιπα. Η βιβλιογραφία που σχετίζεται με τη μοντελοποίηση κλίματος-οικονομίας είναι ήδη τεράστια: πέρα από έναν μεγάλο αριθμό μοντέλων και έναν ακόμη μεγαλύτερο αριθμό εφαρμογών και μελετών περίπτωσης, υπάρχουν ήδη αρκετές καλές βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις που συγκρίνουν—μεταξύ άλλων—τα μοντέλα, τις μοντελικές υποθέσεις και τα αποτελέσματά τους. Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να παρέχει μία απλή επισκόπηση και μία συνεπή ταξινόμηση των ΜΟΑ, μέσω της λεπτομερούς εξέτασης των χαρακτηριστικών και εφαρμογών περισσότερων από 60 ΜΟΑ, με σκοπό την περιγραφή των τρόπων με τους οποίους ορισμένες κλάσεις ή ομάδες μοντέλων διαφοροποιούνται η μία από την άλλη. Σε αντίθεση με άλλες περισσότερο λεπτομερείς ή εστιασμένες «επισκοπήσεις» και βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις, η παρούσα ανάλυση αποσκοπεί στην διευκόλυνση της κατανόησης των γενικότερων μοντελικών δομών. Παράλληλα με τη συνοπτική παρουσίαση των αρχών και κριτηρίων ταξινόμησης, με σκοπό την ουσιαστική συνεισφορά στη βιβλιογραφία αναφορικά με την οργάνωση αυτού του επιστημονικού πεδίου, επιχειρούνται συγκρίσεις μεταξύ των διαφορετικών μοντελικών κλάσεων μέσω των χαρακτηριστικών των μοντέλων που υπάγονται σε αυτές.

3.1 Εισαγωγή

Πολλά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για να επιτρέψουν την κατανόηση των αιτιών της κλιματικής αλλαγής και για να διευκολύνουν την διαμόρφωση πολιτικής (Flamos, 2016). Με την ανάδειξη της κλιματικής αλλαγής ως σοβαρού ζητήματος τη δεκαετία του 1970, δεν υπήρχαν θεωρητικά εργαλεία που θα μπορούσαν να παρέχουν μία ολοκληρωμένη αντίληψη του φαινομένου ή προβλέψεις για τα αποτελέσματα των πολιτικών. Μοντέλα φυσικών διαστάσεων του κλιματικού συστήματος (κυρίως μοντέλα οικοσυστημάτων) επεκτάθηκαν για να λαμβάνουν υπόψη τις διεργασίες με τις οποίες οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου δημιουργούνται και θα μπορούσαν να περιοριστούν. Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας που είχαν να κάνουν με ατμοσφαιρικά μέρη του κλιματικού συστήματος

διασυνδέονταν με ωκεανικά μοντέλα. Οικονομολόγοι τροποποιούσαν την ανάλυση μεταξύ ενέργειας και οικονομίας για να προβλέπουν εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, ενσωματώνοντας τρόπους μείωσής των καθώς και συγκεντρωτικές φυσικές διαστάσεις του κλιματικού συστήματος. Επιστήμονες από διαφορετικά πεδία διασύνδεαν μοντέλα και αναλύσεις για να παρέχουν μία πιο ολοκληρωμένη αντίληψη των διαφορετικών όψεων ενός ιδιαίτερα σύνθετου φαινομένου αλληλεξαρτώμενων στοιχείων (Weyant, 2009).

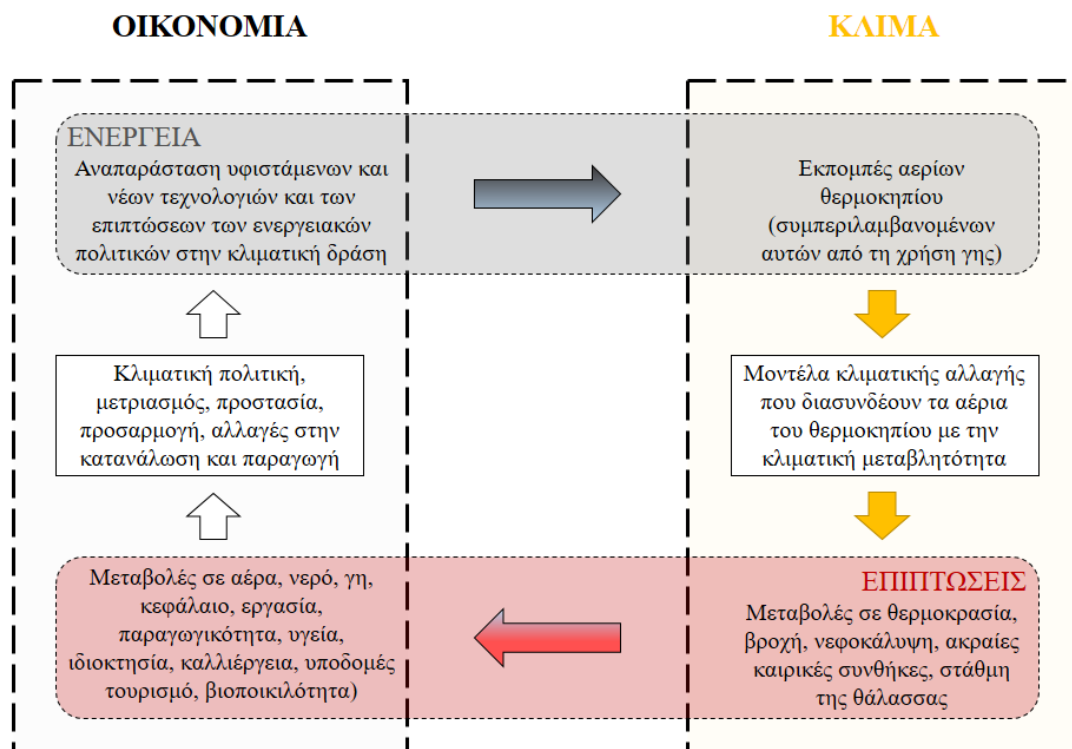
Σε ευρύτερο επίπεδο, μπορούμε να δούμε την ακόλουθη αλυσίδα αλληλεπιδράσεων. Η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή είναι αποτέλεσμα μίας αύξησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και των επιπέδων συγκέντρωσής τους στην ατμόσφαιρα. Η κλιματική επιστήμη μας ενημερώνει για το πώς διαφορετικά επίπεδα συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου μπορούν να επηρεάσουν την ατμόσφαιρα, τη νεφοκάλυψη, τον άνεμο και την αύξηση της θαλάσσιας στάθμης. Αυτές οι μεταβολές, με τη σειρά τους, οδηγούν σε διάφορες φυσικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις, όπως μεταβολές στην απόδοση των καλλιεργειών, την παροχή νερού, την απώλεια ειδών, και τη μετανάστευση. Αυτές οι επιπτώσεις μπορούν να εκφραστούν σε χρηματικούς όρους, ή να υποστούν επεξεργασία μέσω οικονομικών μοντέλων, για να εκφραστούν σε ένα συγκεντρωτικό οικονομικό κόστος της κλιματικής αλλαγής. Καθώς αυτές οι μεταβολές λαμβάνουν χώρα μέσα στον χρόνο, τα μοντέλα επιχειρούν να προβλέπουν εν μέρει ή εξ ολοκλήρου την δυναμική διαδικασία αύξησης εκπομπών, θερμοκρασιακών αλλαγών, φυσικών επιπτώσεων και οικονομικών ζημιών. Η οικονομία δεν επηρεάζεται μόνο από την κλιματική αλλαγή, αλλά αποτελεί και μία εκ των αιτιών αυτής, καθώς η αύξηση παραγωγής και κατανάλωσης οδηγεί σε περισσότερους ρύπους αερίων του θερμοκηπίου. Το πιο σημαντικό μέρος της οικονομίας που καθορίζει τον ρυθμό των εκπομπών είναι το ενεργειακό σύστημα ή οι ενεργειακές μορφές και χρήσεις. Κάθε μέρος της αλληλεπίδρασης μεταξύ κλίματος και οικονομίας χαρακτηρίζεται από αβεβαιότητα (Papadelis et al., 2013) και έναν βαθμό επιστημονικής διαφωνίας.

Οι ποικίλοι τρόποι μοντελοποίησης κλίματος-οικονομίας μπορούν σε μεγάλο βαθμό να γίνουν κατανοητοί μέσα από τους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους μοντελοποιούν τα μέρη αυτής της ιδιαίτερα αλληλεξαρτώμενης διαδικασίας. Η [Εικόνα 3.1](#) παρέχει μία απεικόνιση των δυναμικών κλίματος-οικονομίας, διαχωρίζοντάς τις σε τέσσερις υπομονάδες. Η κλιματική υπομονάδα περιγράφει τον σύνδεσμο μεταξύ εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων και επακόλουθης μεταβολής στη θερμοκρασία και σε άλλες κλιματικές παραμέτρους (π.χ. έντονα καιρικά φαινόμενα). Η υπομονάδα επιπτώσεων (ή η συνάρτηση ζημίας) εκφράζει τα φυσικά ή περιβαλλοντικά αποτελέσματα ως συνάρτηση των κλιματικών μεταβλητών. Για παράδειγμα, ένα μοντέλο μπορεί να έχει μία συνάρτηση γεωργικής ζημίας που συνδέει τη μεταβλητότητα της θερμοκρασίας, της βροχής και της νεφοκάλυψης με την απόδοση των καλλιεργειών. Μία οικονομική υπομονάδα μπορεί να περιγράφει τη δυναμική ή την ανάπτυξη μίας οικονομίας, τους τρόπους με τους οποίους οι εκπομπές μεταβάλλονται με την ανάπτυξη και τις κλιματικές πολιτικές, και τους τρόπους με τους οποίους φυσικές και περιβαλλοντικές μεταβολές λόγω κλίματος μπορούν να επηρεάσουν την οικονομία εν μέρει ή εξ ολοκλήρου. Η οικονομική υπομονάδα συνήθως επαυξάνεται με μία πιο λεπτομερή ενεργειακή υπομονάδα, η οποία περιγράφει τους παράγοντες που προσδιορίζουν τις χρήσεις των διαφορετικών ενεργειακών πόρων και τα κόστη των μειώσεων εκπομπών.

Η μεγάλη ποικιλία μοντέλων κλίματος-οικονομίας αντικατοπτρίζει εν μέρει το εύρος των υποκείμενων επιστημονικών πεδίων που επηρεάζουν την ανάπτυξή τους, τις εναλλακτικές τεχνολογίες και μοντελικές υποθέσεις, καθώς και τα διαφορετικά ερωτήματα που έχουν σχεδιασθεί να απαντήσουν. Ο μεγάλος και ολοένα αυξανόμενος αριθμός τέτοιων μοντέλων και η σχετική πολυπλοκότητά τους

μπορεί να καθιστά δύσκολη τη διαφοροποίησή τους ή την κατανόηση των χαρακτηριστικών τους γνωρισμάτων. Υπάρχουν ήδη πολυάριθμες καλές ανασκοπήσεις των διαφορετικών κατηγοριών των MOA στη βιβλιογραφία: ο Füssel (2009) επιχειρεί μία γενική ανασκόπηση των μοντέλων· ένα ειδικό τεύχος του περιοδικού Energy Journal παρέχει πιο λεπτομερείς και τεχνικές συγκρίσεις των MOA (Weyant, 1999)· οι Tol and Fankhauser (1998) και Yohe (1999) ανασκοπούν τη μοντελοποίηση και αντιπροσώπευση των επιπτώσεων στα MOA· οι Hitz and Smith (2004) ανασκοπούν τον τρόπο με τον οποίο τα διαφορετικά MOA αντιμετωπίζουν τις παγκόσμιες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ως συνάρτηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας· και οι Lecocq and Shalizi (2007) ανασκοπούν τη βιβλιογραφία λαμβάνοντας υπόψιν τη σχέση μεταξύ ανάπτυξης και κλιματικής πολιτικής και αλλαγής. Άλλες εξίσου αναλυτικές ανασκοπήσεις υπάρχουν στη βιβλιογραφία (π.χ. Dowlatabadi, 1995· Parson and Fisher-Vanden, 1997· Kelly and Kolstad, 1999· Rana and Morita, 2000· Schwanitz, 2013· και Wei et al., 2015). Όμως, εξαιτίας των μεγάλων διαφοροποιήσεων μεταξύ των μοντέλων και των κατηγοριών τους, αυτές οι ανασκοπήσεις τείνουν να έχουν διαφορετικές απόψεις και να εστιάζουν σε πολύ συγκεκριμένα θέματα των μοντελικών διεργασιών, καταλήγοντας σε ή αξιοποιώντας τελείως διαφορετικές κατηγοριοποιήσεις.

Ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η διερεύνηση των βασικών χαρακτηριστικών των διαθέσιμων MOA, δίνοντας έμφαση επίσης στη δομή και τους τρόπους με τους οποίους διαχειρίζονται την αβεβαιότητα και την τεχνολογική πρόοδο, με σκοπό την ανάπτυξη μίας εύρωστης κατηγοριοποίησης που θα συνεισφέρει στη βιβλιογραφία καθώς και τη διαμόρφωση μίας απλής πλην χρήσιμης επισκόπησης του αχανούς τοπίου της μοντελοποίησης κλίματος-οικονομίας. Η παρούσα ανάλυση διαφέρει σημαντικά από άλλες πιο λεπτομερείς ή εστιασμένες ανασκοπήσεις, στο ότι θεωρεί λιγότερα ως δεδομένα και αποσκοπεί στην διαμόρφωση μίας σφαιρικής και κατανοητής εικόνας των γενικών μοντελικών δομών. Επομένως, οι στόχοι της ανάλυσης διαφέρουν από αυτούς των Ortiz and Markandya (2009), οι οποίοι περιγράφουν σύντομα και περιεκτικά τα μοντέλα και τις εξισώσεις τους, των Stanton et al. (2009) που εστιάζουν στις βασικές υποκείμενες υποθέσεις που επηρεάζουν τα μοντελικά αποτελέσματα, ή του Füssel (2010) που εστιάζει στους τρόπους με τους οποίους η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή (και όχι ο μετριασμός της) ενσωματώνεται στα MOA. Σε αυτήν την κατεύθυνση, αυτή η συνοπτική επισκόπηση μπορεί να θεωρηθεί ως συμπληρωματική αυτών των μελετών. Η Ενότητα 3.2 παρουσιάζει μία επισκόπηση των έξι κλάσεων, στις οποίες η παρούσα ανάλυση ταξινομεί τα υφιστάμενα μοντέλα κλίματος-οικονομίας. Αντίστοιχα, οι Ενότητες 3.3 – 3.8 παρουσιάζουν τα μοναδικά χαρακτηριστικά κάθε κατηγορίας μοντέλων, καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά ενός συνόλου αντιπροσωπευτικών MOA της εκάστοτε κατηγορίας. Τέλος, η Ενότητα 3.9 περιγράφει τα σημαντικότερα ευρήματα της ανάλυσης και εξάγει συμπεράσματα.



Εικόνα 3.1 Δυναμική κλίματος-οικονομίας μέσω 4 υπομονάδων: οικονομία, κλίμα, ενέργεια, επιπτώσεις.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, στη βιβλιογραφία, υπάρχουν διαφορετικά κριτήρια θεώρησης ενός μοντέλου ως ΜΟΑ. Σύμφωνα με τις περισσότερες ανασκοπήσεις και από μία πιο συντηρητική άποψη, μόνο τα μοντέλα με κλειστό κύκλο μεταξύ οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων μπορούν να ταξινομηθούν ως ΜΟΑ· έτσι, τα περισσότερα μοντέλα μερικής ισορροπίας δεν πρέπει από μόνα τους να θεωρούνται ΜΟΑ, αλλά μπορούν να αποτελούν μέρος μίας σύνθεσης ΜΟΑ. Στην παρούσα ανάλυση, όλα τα μοντέλα που περιλαμβάνουν ξεχωριστές υπομονάδες για το κλίμα, την οικονομία και την ενέργεια θεωρούνται ΜΟΑ. Εξαιρέσεις σε αυτόν τον κανόνα αφορούν ορισμένα μοντέλα ενεργειακών συστημάτων, τα οποία δεν μπορούν ρητά να περιλαμβάνουν κλιματικές υπομονάδες αλλά μόνο να τις υποκαθιστούν, συμπεριλαμβάνοντας εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (χωρίς κλιματική αλλαγή ή συναρτήσεις ζημίας), όπως ακριβώς συμβαίνει και σε άλλες ανασκοπήσεις (π.χ. [Stanton et al., 2009](#)).

3.2 Ταξινόμηση των μοντέλων κλίματος-οικονομίας

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός διάφορων ταξινομήσεων στη βιβλιογραφία, οι οποίες δεν είναι πλήρως ευθυγραμμισμένες ούτε συμφωνούν με την ταξινόμηση που προτείνεται και παρουσιάζεται σε αυτό το κεφάλαιο (π.χ. [Füssel, 2010](#)· [Stanton et al., 2009](#)· [Ortiz and Markandya, 2009](#)· και [Söderholm, 2007](#)). Συγκεκριμένα, ο [Füssel \(2010\)](#) ακολούθησε την παραδοσιακή οδό και χώρισε τα ΜΟΑ με κριτήριο τον τύπο των πλαισίων ανάλυσης απόφασης στα οποία τα μοντέλα εφαρμόζονται, οι [Stanton et al. \(2009\)](#) τα ταξινόμησαν βάσει των μοντελικών δομών τους, ενώ οι [Ortiz and Markandya \(2009\)](#) τα κατηγοριοποίησαν με κριτήριο τη διασύνδεση των τεσσάρων υπομονάδων (κλίμα, επιπτώσεις, οικονομία, ενέργεια).

Με αφετηρία αυτές τις υφιστάμενες ταξινομήσεις και μία λεπτομερή βιβλιογραφική ανασκόπηση των εφαρμογών των μοντέλων κλίματος-οικονομίας, παρουσιάζονται έξι γενικές μοντελικές δομές (ή προσεγγίσεις). Αυτές διαχωρίζονται με κριτήριο κυρίως τον τρόπο με τον οποίο μοντελοποιείται η οικονομία και τον τρόπο με τον οποίο οι υπόλοιπες υπομονάδες (κλίμα, επιπτώσεις, ενέργεια) ενσωματώνονται. Φυσικά, η φύση αυτών των μοντέλων ελαφρώς δυσχεραίνει την συνεπή κατηγοριοποίησή τους, δεδομένου ότι ορισμένα ΜΟΑ μπορούν αναπόφευκτα να ταξινομηθούν σε περισσότερες από μία κλάσεις. Οι έξι κατηγορίες παρουσιάζονται στις ακόλουθες ενότητες και συνοψίζονται ως εξής:

1. Τα **μοντέλα βέλτιστης ανάπτυξης (ή μεγιστοποίησης ευημερίας)** παρουσιάζουν την οικονομία ως έναν μονοδιάστατο οικονομικό τομέα. Έχουν σχεδιαστεί για να προσδιορίζουν την κλιματική πολιτική και τα επίπεδα επενδύσεων που μεγιστοποιούν την ευημερία (μελλοντική έναντι παρούσας κατανάλωσης) στον χρόνο, αναγνωρίζοντας σε κάθε βήμα τα επίπεδα μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Τείνουν να είναι σχετικά απλά, διαφανή και συναθροιστικά μοντέλα που καταγράφουν την τροχιά μίας οικονομίας και των αλληλεπιδράσεών της με το κλίμα σε μία πλήρως ολοκληρωμένη σύνθεση: όλες οι υπομονάδες εκπροσωπούνται και προσδιορίζονται ενδογενώς.
2. Τα **μοντέλα γενικής ισορροπίας** παρέχουν μία πιο ολοκληρωμένη εκπροσώπηση της οικονομίας με πολλαπλούς οικονομικούς τομείς, και συνήθως περιλαμβάνουν ενεργειακές τεχνολογίες υψηλότερης ευκρίνειας και γεωγραφική λεπτομέρεια. Αντί να αναζητούν βέλτιστες πολιτικές, εκτιμούν τις επιπτώσεις συγκεκριμένων προκαθορισμένων πολιτικών σε οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους. Η πλουσιότερη εκπροσώπηση της οικονομίας στοιχίζει σε όρους δυσκολίας μοντελοποίησης της οικονομικής ανάπτυξης και σε όρους περιπλοκής της δομής τους.
3. Τα **μοντέλα μερικής ισορροπίας** παρέχουν μία λεπτομερή ανάλυση της διάδρασης μεταξύ περιβαλλοντικών επιπτώσεων και ενός συγκεκριμένου οικονομικού τομέα. Αυτές συνήθως χρησιμοποιούνται για να εκτιμήσουν τις λόγω κλίματος πιθανές ζημιές σε έναν συγκεκριμένο οικονομικό τομέα, και συχνά διασυνδέονται με μοντέλα γενικής ισορροπίας.
4. Τα **μοντέλα ενεργειακών συστημάτων** μπορούν να θεωρηθούν ως υποκατηγορία των μοντέλων μερικής ισορροπίας, τα οποία παρέχουν μία λεπτομερή ανάλυση του ενεργειακού τομέα, δηλαδή των ενεργειακών τεχνολογιών και των σχετικών τους κοστών. Χρησιμοποιούνται, μεταξύ άλλων, για τον προσδιορισμό των οικονομικότερων τρόπων επίτευξης μειώσεων στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ή για τον υπολογισμό των κοστών εναλλακτικών κλιματικών πολιτικών. Συχνά συνδέονται με μοντέλα γενικής ισορροπίας ή μακροοικονομικά μοντέλα, με σκοπό την προσθήκη του απαιτούμενου επιπέδου πληροφoρίας σε προσεγγίσεις «από πάνω προς τα κάτω».
5. Τα **μακροοικονομικά μοντέλα**, ακριβώς όπως τα μοντέλα γενικής ισορροπίας, τείνουν να είναι πολύ λεπτομερή ως προς τη μοντελοποίηση ενεργειακών τεχνολογιών και το γεωγραφικό πεδίο εφαρμογής και να χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση εναλλακτικών κλιματικών πολιτικών, όμως διαφέρουν από αυτά ως προς τη μη υπόθεση ότι οι καταναλωτές και οι παραγωγοί παρουσιάζουν βέλτιστη συμπεριφορά ή ότι οι αγορές ισορροπούν βραχυπρόθεσμα. Αντίθετα, αξιοποιούν ιστορικά δεδομένα και οικονομικά υπολογισμένες παραμέτρους και σχέσεις για να προσομοιώσουν δυναμικά και πιο ρεαλιστικά την συμπεριφορά της οικονομίας.

6. Τέλος, τα **άλλα ΜΟΑ** αναφέρονται σε μοντέλα που δεν έχουν μεταξύ τους ομοιότητες, εκτός από το γεγονός ότι δεν ταιριάζουν με τις παραπάνω περιγραφές των γνωστών κατηγοριών. Συνήθως, όμως, μοντελοποιούν την οικονομία σε μία ιδιαίτερα ‘μειωμένη μορφή’ ή απλώς χρησιμοποιούν εξωγενή σενάρια ανάπτυξης (δηλαδή δεν μοντελοποιούν αυτά την οικονομία). Παρότι διαφέρουν σημαντικά και μεταξύ τους, όλα όσα στην παρούσα ανάλυση εντάσσονται σε αυτήν την κατηγορία τείνουν να είναι πιο προσανατολισμένα στην πολιτική από μοντέλα των άλλων πέντε κλάσεων.

Ο Πίνακας 3.1 παρέχει μία επισκόπηση των χαρακτηριστικών των διαφορετικών προσεγγίσεων. Η πρώτη στήλη συνοψίζει την κατηγορία, ενώ οι υπόλοιπες στήλες περιγράφουν πώς κάθε προσέγγιση διαφοροποιείται στον τρόπο που οι τέσσερις διαφορετικές υπομονάδες μοντελοποιούνται. Ο πίνακας, ως σημείο αναφοράς και οργάνωσης, είναι ευθυγραμμισμένος με τις έξι προσεγγίσεις που παρουσιάζονται στις επόμενες ενότητες του κεφαλαίου, όπου αναλύονται περαιτέρω οι κατηγορίες.

Πίνακας 3.1 Βασικά χαρακτηριστικά και ταξινόμηση των μοντέλων κλίματος-οικονομίας.

Κατηγορία	Οικονομία	Επιπτώσεις	Ενέργεια	Κλίμα
Βέλτιστης ανάπτυξης	Νεοκλασική ανάπτυξη Υψηλή συνάθροιση Μακροπρόθεσμη τροχιά της οικονομίας (δυναμική) Μονή συνάρτηση παραγωγής Ενιαίος αντιπροσωπευτικός παράγοντας Βελτιστοποίηση πολιτικής Παγκόσμια κλίμακα	Συνάρτηση χρηματικής ζημίας υψηλής συνάθροισης που μεταφράζει τη θερμοκρασιακή αλλαγή σε απώλειες ΑΕΠ Όλες οι ζημίες σε χρηματικούς όρους	Μικρή λεπτομέρεια ενεργειακού τομέα (από πάνω προς τα κάτω)	Εξισώσεις μειωμένης μορφής που συνδέουν τη θερμοκρασία με εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου
Γενικής ισορροπίας	Πολλαπλοί οικονομικοί τομείς (πολλαπλές συναρτήσεις παραγωγής) Ενιαίος αντιπροσωπευτικός παράγοντας Βελτιωτική συμπεριφορά παραγωγών καταναλωτών και Παγκόσμια, περιφερειακή, εθνική, τοπική κλίμακα Δυσκολία ενσωμάτωση των δυναμικών	Απότομες αλλαγές (κλονισμοί) εισάγονται στις συναρτήσεις παραγωγής, μειώσεις αποδόσεις καλλιεργειών εκπροσωπούνται στη συνάρτηση γεωργικής παραγωγής, με αποτέλεσμα τις μετατοπίσεις στην προσφορά Αυτές βασίζονται σε βιοφυσικά ή στατιστικά μοντέλα επιπτώσεων ή σε απόψεις ειδικών	Συχνά λεπτομερής περιγραφή του ενεργειακού συστήματος (πολλαπλοί ενεργειακοί πόροι μοντελοποιούνται ρητώς) Συχνά συνδέονται σε από κάτω προς τα πάνω μοντέλα ενεργειακών συστημάτων	Τα κλιματικά σενάρια είναι εξωγενή και χρησιμοποιούνται για να υπολογισθούν οι κλιματικές μεταβλητές και επιπτώσεις

Κατηγορία	Οικονομία	Επιπτώσεις	Ενέργεια	Κλίμα
Μερικής ισορροπίας	Λεπτομερής μοντελοποίηση ενός μεμονωμένου τομέα, π.χ., της γεωργίας Στατικά ή/και δυναμικά Συχνά συνδέονται ή συνδυάζονται με άλλα μοντέλα από πάνω προς τα κάτω	(a) Λεπτομερές βιοφυσικό μοντέλο επιπτώσεων σε συγκεκριμένο τομέα που σχετίζεται με βασικές κλιματικές μεταβλητές (b) Στατιστική ανάλυση που οδηγεί απευθείας σε χρηματική αξία των επιπτώσεων	Μικρή ή καμία εκπροσώπηση του ενεργειακού τομέα	Εξωγενή κλιματικά σενάρια για τον υπολογισμό των επιπτώσεων
Ενεργειακών συστημάτων	Συχνά μπορεί να θεωρηθούν ως υποκατηγορία των μοντέλων μερικής ισορροπίας (με ορισμένα εξ αυτών να περιλαμβάνουν μακροοικονομική ανάδραση) Συχνά συνδέονται σε μοντέλα από κάτω προς τα πάνω ('υβριδικά')	Αξιοποιούνται για την εκτίμηση των κοστών μείωσης εκπομπών του θερμοκηπίου Δεν χρειάζονται τη μοντελοποίηση των επιπτώσεων	Λεπτομερής εκπροσώπηση εναλλακτικών ενεργειακών τεχνολογιών και ευκαιριών ή πολιτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής	Εστίαση σε εκπομπές αερίων θερμοκηπίου αντί της κλιματικής αλλαγής καθαυτής
Μακροοικονομικά	Οικονομετρικά Εισόδου-Εξόδου (πολλαπλοί τομείς) Υπομονάδες μακροοικονομίας Προσομοίωση: οι παράγοντες υποτίθενται με βελτιωτική συμπεριφορά 'Κεϋνσιανά' Δυναμικά	Αξιοποιούνται κυρίως για την αξιολόγηση πολιτικών μετριασμού και προσαρμογής αντί για αξιολόγηση των ζημιών που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή	Λεπτομερής ανάλυση του ενεργειακού συστήματος	Εξωγενή κλιματικών σεναρίων
Άλλα	Ποικίλες, απλές αναπαραστάσεις της οικονομίας ή εξωγενή σενάρια οικονομικής ανάπτυξης	Ποικιλομορφία λεπτομερών εκπροσωπήσεων των επιπτώσεων και ζημιών, τόσο σε φυσικούς όρους όσο και σε χρηματικούς	Ποικίλες ενεργειακές υπομονάδες	Εξισώσεις μειωμένης μορφής που διασυνδέουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στη θερμοκρασία ή άλλες μεταβλητές

Το σχήμα ταξινόμησης που παρουσιάζεται στον [Πίνακα 3.1](#) δεν είναι εξαντλητικό ή πλήρως περιεκτικό, καθώς ορισμένα μοντέλα ενδέχεται να μην ταιριάζουν με καμία εκ των παραπάνω προσεγγίσεων (οπότε εντάσσονται στην κατηγορία 'Άλλα'), ενώ άλλα ενδεχομένως συνδυάζουν στοιχεία διαφορετικών κατηγοριών. Για παράδειγμα ο [Füssel \(2010\)](#) εισάγει μία ξεχωριστή κατηγορία ('μοντέλα καθοδήγησης πολιτικής') που εκπροσωπούνται από το μοντέλο ICLIPS ([Toth, 2005](#)), το οποίο ενσωματώνει τις τέσσερις πρώτες προσεγγίσεις σε ένα μοντέλο. Επιπρόσθετα, ο συνδυασμός μοντέλων διαφορετικών κατηγοριών στην κατεύθυνση αύξησης του επιθυμητού επιπέδου λεπτομέρειας δεν είναι ασυνήθιστος στη βιβλιογραφία της κλιματικής πολιτικής· για παράδειγμα, τα μοντέλα γενικής ισορροπίας και τα

μακροοικονομικά μοντέλα συχνά συνδυάζονται με μοντέλα ενεργειακών συστημάτων. Η σύνδεση μεταξύ των διαφορετικών κατηγοριών των μοντέλων είναι σημαντική στη σχετική βιβλιογραφία, δεδομένου ότι ορισμένα μοντέλα εστιάζουν σε συγκεκριμένους οικονομικούς τομείς και συχνά αγνοούν τις επιπτώσεις σε άλλους. Ταυτόχρονα, τα MOA που καλύπτουν την ενέργεια, την οικονομία και το κλίμα συχνά δέχονται επικρίσεις για τον συμβιβασμό τους μεταξύ λεπτομέρειας αφενός και απλής και κατανοητής λειτουργίας αφετέρου. Από την οπτική της μοντελοποίησης, αυτή η σύνδεση είναι σύνθετη και ανεπαρκώς μελετημένη στη βιβλιογραφία (π.χ. [Karkatsoulis et al., 2017](#)). Ο Πίνακας 3.2 επιχειρεί να παρέχει μία λεπτομερή ταξινόμηση ορισμένων εκ των πιο αντιπροσωπευτικών μοντέλων στις έξι κατηγορίες, καθώς και μία περιγραφή και ορισμένες ενδεικτικές εφαρμογές κάθε μοντέλου. Συγκεκριμένα, 61 μοντέλα κλίματος-οικονομίας έχουν ανασκοπηθεί και διερευνηθεί εις βάθος για τους σκοπούς του παρόντος κεφαλαίου της διδακτορικής διατριβής.

Πίνακας 3.2 Ταξινόμηση 61 μοντέλων κλίματος-οικονομίας, με σύντομη περιγραφή και ενδεικτικές εφαρμογές.

Κατηγορία	Μοντέλο	Πρώτη εμφάνιση	Σύντομη περιγραφή	Ενδεικτικές εφαρμογές
Βέλτιστης ανάπτυξης	AD-FAIR	(Hof et al., 2009)	Συνδυασμός των FAIR (περιβαλλοντικό κόστος μετριασμού) και AD-RICE (κόστος προσαρμογής).	(Hof et al., 2012)
	AIM/Dynamic Global	(Masui et al., 2006a)	Παγκόσμιο μοντέλο δυναμικής βελτιστοποίησης για την εκτίμηση των μειώσεων εκπομπών CO ₂ και των οικονομικών επιπτώσεων, θεωρώντας επενδύσεις ενεργειακής εξοικονόμησης.	(Xu and Masui, 2009)
	AIM/Enduse	(Kainuma et al., 2011)	Μοντέλο βελτιστοποίησης για την Ιαπωνία, σχεδιασμένο να υπολογίζει τις επενδύσεις ενεργειακής εξοικονόμησης.	(Kainuma et al., 2003)
	CETA-M	(Peck and Teisberg, 1993)	Μοντέλο που εκπροσωπεί την παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη, την ενεργειακή κατανάλωση, την επιλογή τεχνολογίας, καθώς και την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και του κόστους αυτής.	(Peck and Teisberg, 1995) (Peck and Teisberg, 1999)
	DEMETER-1/ DEMETER- iCCS	(Gerlagh, 2006)	Μοντέλο ανάπτυξης με εκμάθηση στην πράξη για ορυκτές και καθαρές πηγές.	(Gerlagh, 2007)
	DICE	(Nordhaus and Yang, 1996)	Τροποποιημένου τύπου Ramsey μοντέλο βέλτιστης οικονομικής ανάπτυξης.	(Nordhaus, 2010)
	DICE-2007	(Nordhaus, 2008)	Επέκταση του μοντέλου DICE.	(Ackerman et al., 2010)
	ENTICE	(Popp, 2004)	Επέκταση του μοντέλου DICE, με ενδογενή τεχνική αλλαγή.	(Popp, 2006a)
	FAIR 2.1	(Den Elzen, 2005)	Από πάνω προς τα κάτω μοντέλο που αποτελείται από μία υπομονάδα κοινωνικοοικονομικών σεναρίων, μία μονοπατιών εκπομπών, μία κλιματική, μία των κοστών μείωσης των εκπομπών, μία ζημίας, και μία μακροοικονομικής ανάπτυξης.	(Hof et al., 2008)
	FEEM-RICE	(Buonanno et al., 2003)	Παγκόσμιο μοντέλο κλίματος-οικονομίας, επέκταση των RICE και DICE που περιλαμβάνει ενδογενή τεχνολογική αλλαγή.	(Buchner and Carraro, 2005)

Κατηγορία	Μοντέλο	Πρώτη εμφάνιση	Σύντομη περιγραφή	Ενδεικτικές εφαρμογές
	GRAPE	(Kurosawa et al., 1999)	Μοντέλο ανάπτυξης αποτελούμενο από πέντε υπομονάδες: ενέργειας, κλίματος, χρήσης γης, μακροοικονομίας, και περιβαλλοντικών επιπτώσεων.	(Kurosawa, 2004) (Kurosawa, 2006)
	MERGE	(Manne and Richels, 2005)	Κλιματικό, προσανατολισμένο στην αγορά μοντέλο πλήρως ολοκληρωμένης αποτίμησης.	(Kypreos, 2007) (Kypreos, 2008)
	MIND	(Edenhofer et al., 2005b)	Μοντέλο ενδογενούς ανάπτυξης που εστιάζει στον ενεργειακό τομέα.	(Edenhofer et al., 2005a)
	RICE	(Nordhaus, 1994)	Επέκταση του DICE με πολλαπλές γεωγραφικές περιοχές.	(Rosendahl, 2004) (Schultz and Kasting, 1997)
	RICE-99	(Nordhaus and Boyer, 2000)	Μοντέλο ενιαίου τομέα οικονομίας, βέλτιστης ανάπτυξης, τύπου Ramsey-Koopmans, κατάλληλα τροποποιημένο ώστε να περιλαμβάνει τις σχέσεις μεταξύ οικονομικών δραστηριοτήτων και κλίματος.	(Bosetti et al., 2005)
	WITCH	(Bosetti et al., 2007)	Από πάνω προς τα κάτω μοντέλο νεοκλασικής ανάπτυξης τύπου Ramsey, με λεπτομέρεια ενεργειακής εισόδου ως υπομονάδας από κάτω προς τα πάνω.	(Bosetti et al., 2009)
Γενικής ισορροπίας	AIM	(Kainuma et al., 1999)	Παγκόσμιο μοντέλο γενικής ισορροπίας με αναδρομική δυναμική που υπολογίζει την απορρόφηση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην περιοχή Ασίας-Ειρηνικού, και των επιπτώσεών της σε περιβάλλον, κοινωνία και οικονομία.	(Dai et al., 2011) (Fujino et al., 2006)
	AIM/Material	(Masui et al., 2003)	Εθνικό μοντέλο γενικής ισορροπίας με αναδρομική δυναμική.	(Masui, 2005)
	Dynamic GTAP	(Walmsley et al., 2006a)	Δυναμικό μοντέλο γενικής ισορροπίας	(Golub et al., 2009)
	G-CUBED	(McKibbin and Wilcoxon, 1999)	Πολυεθνικό, πολυτομεακό, διαχρονικό μοντέλο για τη μελέτη κλιματικής πολιτικής, εμπορικής απελευθέρωσης, καθώς και φορολογικής και μικροοικονομικής πολιτικής.	(McKibbin et al., 2004)
	GEM-E3	(Van Regemorter, 2005)	Στατικό μοντέλο γενικής ισορροπίας που αξιολογεί ενεργειακές, κλιματικές και περιβαλλοντικές πολιτικές.	(Nilsson, 1999)
	GREEN	(Burniaux et al., 1992)	Δυναμικό μοντέλο γενικής ισορροπίας που μελετάει τις οικονομικές επιπτώσεις των κλιματικών πολιτικών στην Ευρώπη.	(Nicoletti and Oliveira-Martins, 1993)
	GTAP-E	(Burniaux and Truong, 2002)	Στατικό μοντέλο γενικής ισορροπίας.	(Kremers et al., 2000)
	GTEM	(Pant, 2007)	Δυναμικό μοντέλο της παγκόσμιας οικονομίας, σχεδιασμένο για να αντιμετωπίζει ζητήματα παγκόσμιων μεταβολών, συμπεριλαμβανομένης της κλιματικής πολιτικής.	(Jakeman and Fisher, 2006)

Κατηγορία	Μοντέλο	Πρώτη εμφάνιση	Σύντομη περιγραφή	Ενδεικτικές εφαρμογές
	ICES	(Bosello et al., 2009)	Αναδρομικό, δυναμικό, πολλαπλών περιοχών μοντέλο γενικής ισορροπίας για την παγκόσμια οικονομία, επέκταση του μοντέλου GTAP-E.	(Bosello et al., 2010) (Parrado and De Dian, 2014)
	IGEM	(Goettle et al., 2007)	Δυναμικό μοντέλο της αμερικανικής οικονομίας που περιγράφει την ανάπτυξη λόγω συγκέντρωσης κεφαλαίου, τεχνολογικής αλλαγής και πληθυσμιακών μεταβολών.	(Goettle and Fawcett, 2009)
	IMACLIM-R	(Crassous et al., 2006)	Πολυτομεακό, πολλαπλών περιοχών αναδρομικό μοντέλο γενικής ισορροπίας που προβλέπει την παγκόσμια οικονομία σε ετήσια βάση.	(Crassous et al., 2006)
	LINKAGE	(Van der Mensbrugge, 2005)	Παγκόσμιο/πολλαπλών περιοχών, πολυτομεακό, δυναμικό μοντέλο εφαρμοσμένης γενικής ισορροπίας.	(Laborde et al., 2016)
	MEMO	(Bukowski and Kowal, 2010)	Μεγάλης κλίμακας, πολυτομεακό δυναμικό στοχαστικό μοντέλο γενικής ισορροπίας για την Πολωνία.	(Antosiewicz et al., 2019) (Nikas et al., 2019)
	MIRAGE	(Bchir et al., 2002)	Πολλαπλών περιοχών, πολυτομεακό μοντέλο γενικής ισορροπίας, σχεδιασμένο για την ανάλυση πολιτικής εμπορίας.	(Zaki, 2011)
	MIT EPPA	(Paltsev et al., 2005)	Αναδρομικό-δυναμικό, πολλαπλών περιοχών μοντέλων γενικής ισορροπίας της παγκόσμιας οικονομίας, σχεδιασμένο επί της βάσης δεδομένων GTAP και επιπλέον δεδομένα για αστικούς ρύπους.	(Viguiet et al., 2003)
	MS-MRT	(Bernstein et al., 1999b)	Πολυτομεακό, πολλαπλών περιοχών μοντέλο γενικής ισορροπίας για την ανάλυση των παγκόσμιων επιπτώσεων του Πρωτοκόλλου του Κιότο με έμφαση στη διεθνή εμπορία της κλιματικής πολιτικής.	(Bernstein et al., 1999a)
	SGM 2004	(Edmonds et al., 2004)	Μοντέλο γενικής ισορροπίας για την ανάλυση ζητημάτων σχετικών με την ενέργεια, την οικονομία και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.	(Schumacher and Sands, 2006)
	WIAGEM	(Kemfert, 2001)	Οικονομική προσέγγιση που εστιάζει στη διεθνή ενεργειακή αγορά και ενσωματώνει τις κλιματικές διαδράσεις μέσω θερμοκρασιακών αλλαγών και μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης.	(Kemfert, 2005) (Kemfert and Truong, 2006) (Kemfert and Truong, 2007)
	WORLDSCAN	(Lejour et al., 2006)	Αναδρομικό δυναμικό μοντέλο γενικής ισορροπίας για μακροπρόθεσμα, διεθνή οικονομικά ζητήματα.	(Bollen and Gielen, 1999) (Bollen, 2015)
Μερικής ισορροπίας	GIM	(Mendelsohn et al., 2000)	Μοντέλο προσαρμογής μερικής ισορροπίας που προβλέπει τις επιπτώσεις αγορών σε διάφορα κλιματικά σενάρια.	(Mendelsohn and Williams, 2004)
	MiniCAM/GC AM	(Edmonds and Reiley, 1985)	Μοντέλο ολοκληρωμένης αποτίμησης σχετικής πολυπλοκότητας, το οποίο εστιάζει στους τομείς ενέργειας και γεωργίας.	(Scott et al., 1999) (Forouli et al., 2019)

Κατηγορία	Μοντέλο	Πρώτη εμφάνιση	Σύντομη περιγραφή	Ενδεικτικές εφαρμογές
	TIAM-ECN	(Keppo and van der Zwaan, 2012)	Έκδοση του μοντέλου TIAM που χρησιμοποιείται ευρέως για τη μελέτη σεναρίων ενεργειακής τεχνολογίας και κλιματικής πολιτικής, αποτελούμενο από ένα παγκόσμιο από κάτω προς τα πάνω μοντέλο ενεργειακού συστήματος.	(van der Zwaan et al., 2013)
Ενεργειακών συστημάτων	DNE21+	(Sano et al., 2005)	Λεπτομερές μοντέλο ενεργειακών συστήματος, πλούσιο σε όρους ενεργειακών πόρων και τεχνολογιών.	(Rout et al., 2008) (Oda et al., 2009) (Wada et al., 2012)
	Calliope	(Pfenninger, 2015)	Πολλαπλών κλιμάκων πλαίσιο μοντελοποίησης ενεργειακών συστημάτων (της σειράς MUSE), για την ανάπτυξη ενεργειακών μοντέλων.	(Redondo and van Vliet, 2015)
	EFOM	(Finon, 1976)	Μοντέλο του Γαλλικού ενεργειακού συστήματος.	(Van der Voort, 1982)
	ERIS	(Turton and Barreto, 2004a)	Μοντέλο ενεργειακού συστήματος που καλύπτει επίσης μη ηλεκτρικούς τομείς (ανάγκες μεταφορών και θέρμανσης, και σχετικές τεχνολογίες).	(Barreto and Kyreos, 2004) (Turton and Barreto, 2004b)
	GENIE	(Mattsson and Wene, 1997)	Ενεργειακό μοντέλο που εστιάζει στην εφαρμογή νέων τεχνολογιών (κυρίως φωτοβολταϊκών και κυψελών καυσίμων) σε παγκόσμιο επίπεδο.	(Mattson, 2002)
	GET-LFL	(Hedenus et al., 2006)	Μοντέλο ελαχιστοποίησης κόστους σχεδιασμένο να συγκρίνει τις επιπτώσεις εισαγωγής εξωγενούς τεχνολογικής αλλαγής σε ένα ενεργειακό σύστημα.	(Edenhofer et al., 2006)
	MARKAL/TIMES	(Fishbone and Abiock, 1981)	Πλαίσιο ενεργειακής μοντελοποίησης εκτενούς κάλυψης τεχνολογιών ενεργειακής παραγωγής και κατανάλωσης, καθώς και συνδέσεων με άλλους οικονομικούς τομείς (μέσω εξωγενούς πληροφορίας χρήσιμης ενεργειακής ζήτησης).	(Rafaj and Kyreos, 2007) (Seebregts et al., 2000) (Doukas and Nikas, 2019)
	MEDEE 2	(Lapillonne, 1978)	Από κάτω προς τα πάνω μοντέλο πρόβλεψης ζήτησης που επιτρέπει την εκτίμηση των επιπτώσεων πολιτικών ενεργειακής αποδοτικότητας σε εθνικό επίπεδο.	(Lapillonne, 1980)
	MESSAGE	(Messner, 1997)	Δυναμικό, γραμμικό μοντέλο ελαχιστοποίησης κόστους του συνολικού ενεργειακού συστήματος.	(Hainoun et al., 2010) (Sullivan et al., 2013)
	NEMS	(Gabriel et al., 2001)	Μεγάλης κλίμακας μοντέλο ενέργειας-οικονομίας που υπολογίζει τιμές καυσίμων και ποσοτήτων στον αμερικανικό ενεργειακό τομέα.	(Yu, 2008)
	POLES	(Criqui et al., 1998)	Παγκόσμιο ενεργειακό-οικονομικό μοντέλο μερικής ισορροπίας του ενεργειακού τομέα που καλύπτει όλα τα στάδια ενεργειακής παραγωγής και κατανάλωσης, και τις σχετικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.	(Criqui et al., 1999) (Kouvaritakis et al., 2000a) (Kouvaritakis et al., 2000b) (Kitous et al., 2010)

Κατηγορία	Μοντέλο	Πρώτη εμφάνιση	Σύντομη περιγραφή	Ενδεικτικές εφαρμογές
	PRIMES	(Capros et al., 1998)	Ενεργειακό μοντέλο που εστιάζει στους μηχανισμούς αγοράς σχεδιασμένο ρητώς για την πρόβλεψη τιμών που επηρεάζουν την εξέλιξη της ενεργειακής ζήτησης και προσφοράς καθώς και την τεχνολογική πρόοδο.	(Capros et al., 2007) (Capros et al., 2016)
	WEM	(InterΕθνική Energy Agency, 2010)	Μεγάλης κλίμακας μαθηματικό μοντέλο σχεδιασμένο από την Διεθνή Οργάνωση Ενέργειας (IEA) για την προσομοίωση του τρόπου με τον οποίο οι ενεργειακές αγορές λειτουργούν.	(Kesicki and Yanagisawa, 2015)
Μακροοικονομικά	E3ME	(Barker and Zagame, 1995)	Μοντέλο ενέργειας-περιβάλλοντος-οικονομίας μη γενικής ισορροπίας των παγκόσμιων οικονομικών και ενεργειακών συστημάτων και του περιβάλλοντος.	(Barker, 1998) (Barker, 1999) (Barker and Rosendahl, 2000) (Šćasný et al., 2009)
	E3MG	(Barker et al., 2006)	Μεγάλης κλίμακας μοντέλο μακροοικονομικής προσομοίωσης της παγκόσμιας οικονομίας με λεπτομερή ολοκληρωμένη ανάλυση της ενεργειακής ζήτησης και των επακόλουθων εκπομπών στην ατμόσφαιρα. Διαφοροποιείται από το E3ME, καθώς οι αγορές στο παγκόσμιο επίπεδο επιτρέπουν ανισορροπίες.	(Barker et al., 2008) (Barker and Scricciu, 2010) (Dagoumas and Barker, 2010)
	MDM-E3	(Junankar et al., 2007)	Πολυτομεακό δυναμικό μοντέλο για την ανάλυση ζητημάτων ενέργειας-οικονομίας-περιβάλλοντος και άλλων πολιτικών για το Ηνωμένο Βασίλειο.	(Ekins and Etheridge, 2006)
	Oxford Global Macroeconomic and Energy Model	(Cooper et al., 1999)	Μακροοικονομικό μοντέλο σχεδιασμένο για την ανάλυση των επιπτώσεων των πολιτικών σχετικών με τον έλεγχο των εκπομπών άνθρακα.	(Barker and Ekins, 2001)
Άλλα	CIAS	(Warren et al., 2008)	Πολυθεσμικό αρθρωτό MOA για τη μοντελοποίηση της κλιματικής αλλαγής.	(Warren et al., 2012)
	FUND	(Tol, 1997)	Μοντέλο βελτιστοποίησης πολιτικής μη γενικής ισορροπίας που υποστηρίζει τους φορείς χάραξης πολιτικής να κατανοήσουν πώς είναι μία βέλτιστη πολιτική, αντί της αξιολόγησης των επιπτώσεων μίας προτεινόμενης πολιτικής.	(Link and Tol, 2004) (Ackerman and Munitz, 2012)
	ICAM-3	(Dowlatabadi, 1998)	Μοντέλο προσομοίωσης για την εκτίμηση του κόστους μετριασμού αναφορικά με την τεχνολογική αλλαγή.	(Dowlatabadi, 2000)
	IGSM2	(Sokolov et al., 2005)	Οικονομικό μοντέλο ανάλυσης αερίων του θερμοκηπίου και μέτρων μετριασμού.	(Reilly et al., 2006)
	IMAGE 2.4	(Bouwman et al., 2006)	Μοντέλο αξιολόγησης πολιτικών.	(Stehfest et al., 2009)

Κατηγορία	Μοντέλο	Πρώτη εμφάνιση	Σύντομη περιγραφή	Ενδεικτικές εφαρμογές
	PAGE2002	(Hope, 2006)	Έκδοση του μοντέλου PAGE που ενσωματώνει τους πέντε λόγους ανησυχίας της ΔΕΚΑ ³ .	(Hope, 2008) (Hope, 2009)
	PAGE09	(Hope, 2011)	Ενημερωμένη έκδοση του PAGE2002 που λαμβάνει υπόψιν την 4 ^η Έκθεση Αξιολόγησης της ΔΕΚΑ.	(Hope, 2013)

3.3 Μοντέλα βέλτιστης ανάπτυξης

Τα ΜΟΑ βέλτιστης ανάπτυξης ή μεγιστοποίησης της ευημερίας τείνουν να είναι πιο διαφανή επειδή είναι σχετικά απλά στη σύνθεσή τους, συγκριτικά με μοντέλα άλλων κατηγοριών που έχουν πιο σύνθετες δομές. Έχουν στέρεες μικροοικονομικές βάσεις και εστιάζουν ρητώς στην ανάπτυξη της οικονομίας στον χρόνο. Η κοινωνική ευημερία συχνά ορίζεται ως η αξία ενός αντιπροσωπευτικού παράγοντα και ο καθολικός στόχος έγκειται στη μεγιστοποίηση της συνολικής ευημερίας στον χρόνο. Στα νεοκλασικά μοντέλα οικονομικής ανάπτυξης, οι οικονομίες προβαίνουν σε επενδύσεις κεφαλαίου, εκπαίδευσης και τεχνολογίας. Αυτές ενισχύουν τη μελλοντική κατανάλωση, εις βάρος της παρούσας κατανάλωσης, αποσκοπώντας στον προσδιορισμό της κατάλληλης ισορροπίας μεταξύ παρούσας κατανάλωσης και επένδυσης στη μελλοντική κατανάλωση, ώστε να μεγιστοποιείται η συνολική ευημερία. Τα ΜΟΑ αυτής της κατηγορίας επεκτείνουν τα νεοκλασικά μοντέλα ανάπτυξης, εντάσσοντας το «φυσικό κεφάλαιο» του κλιματικού συστήματος ως ένα επιπλέον είδος κεφαλαίου (Nordhaus, 2014). Οι αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εξαντλούν το φυσικό κεφάλαιο, ενώ οι επενδύσεις μείωσης των εκπομπών το ενισχύουν. Επιπροσθέτως στις κλασικές επενδύσεις, το φυσικό κεφάλαιο που χρησιμοποιείται σήμερα ενισχύει την παρούσα κατανάλωση έναντι της κατανάλωσης πόρων, για την προστασία του κλιματικού συστήματος ή για την αποφυγή ζημίας από την κλιματική αλλαγή, για μελλοντική ευημερία. Σε όρους κλιματικής πολιτικής, αυτά τα μοντέλα συγκρίνουν εναλλακτικά μονοπάτια εκπομπών στον χρόνο (μετριασμού) με σκοπό την εύρεση της πολιτικής που μεγιστοποιεί τη συνολική ευημερία.

Ο Πίνακας 3.3 παρουσιάζει αντιπροσωπευτικά μοντέλα αυτής της κλάσης, καθώς και πληροφορίες σχετικά με την προσέγγιση του εκάστοτε μοντέλου, τις περιοχές που καλύπτει την περίοδο πρόβλεψης, και τη συνάρτηση ζημίας μέσω της οποίας οι επιπτώσεις μεταφράζονται σε χρηματικούς όρους. Η μοντελική προσέγγιση περιγράφει τη συνολική προσέγγιση του πλαισίου μοντελοποίησης: μία προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω κοιτάζει το υπό εξέταση σύστημα συνολικά και χρησιμοποιεί συμπεριφορικές σχέσεις μειωμένης μορφής με οικονομετρική επικύρωση, ενώ από κάτω προς τα πάνω προσεγγίσεις αναπτύσσονται από την μηχανική προσέγγιση και ξεκινούν από τον οικονομικό τομέα ενδιαφέροντος πριν επεκτείνουν την ανάλυση σε ολόκληρο το σύστημα. Άλλες ρυθμίσεις είναι πιο ευέλικτες και περιγράφονται ως υβριδικές, δηλαδή συνδυάζουν διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας για συγκεκριμένους τομείς ή το σύστημα—μία ιδιαίτερη κατηγορία των υβριδικών μοντέλων είναι αυτά που συνδυάζουν οικονομική και μηχανική προσέγγιση, δηλαδή μικροοικονομικά θεμέλια συμπεριφοράς με ρητές λεπτομέρειες τεχνολογίας (π.χ. Ενότητα 3.6).

³ Οι πέντε λόγοι ανησυχίας της ΔΕΚΑ (IPCC) είναι: απειλές σε είδη υπό εξαφάνιση και μοναδικά συστήματα, ζημίες λόγω ακραίων κλιματικών φαινομένων, επιπτώσεις σε αναπτυσσόμενες χώρες και φτωχό πληθυσμό, παγκόσμιες συναθροισμένες επιπτώσεις, και επιπτώσεις υψηλής κλίμακας και επίδρασης

Πίνακας 3.3 Επισκόπηση αντιπροσωπευτικών ΜΟΑ βέλτιστης ανάπτυξης.

Μοντέλο	Προσέγγιση	Κάλυψη (αριθμός περιοχών)	Περίοδος πρόβλεψης	Ζημία	
				Συνάρτηση	Πηγή
AD-FAIR	Από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (17)	2010-2100	$\frac{GD_{r,t}}{Y_{r,t}} = a_{1,r}\Delta T_t + a_{2,r}\Delta T_t^{a_{3,r}}$ <p>where a_1, a_2, a_3 are parameters, t is period, r is region, ΔT is temperature change, Y is GDP</p>	(Hof, 2010)
AIM/Dynamic Global	Από πάνω προς τα κάτω	Παγκόσμια (6)	1995-2100	Τομεακά μοντέλα	
AIM/Enduse	Από κάτω προς τα πάνω	Εθνική (Ιαπωνία)	2005-2050	Χωρίς οικονομική υπομονάδα	
CETA-M	Υβριδική	Παγκόσμια (ΟΟΣΑ, υπόλοιπος κόσμος)	2000-2150	$C_t = aL_t T^\lambda,$ <p>T is temp rise above pre-industrial age, λ is parameter, t is period, C is annual warming cost, a is scaling constant</p>	(Peck and Teisberg, 1993)
DEMETER-1 & DEMETER-1CCS	Από πάνω προς τα κάτω	Παγκόσμια	150 έτη	Χωρίς συνάρτηση ζημίας	(Ortiz and Markandya, 2009)
DICE	Από πάνω προς τα κάτω	Παγκόσμια	1985-2105	$R = \frac{1}{1 + 0,00284.T^2}$ <p>where T is global temperature</p>	(Ackerman and Stanton, 2012)

Μοντέλο	Προσέγγιση	Κάλυψη (αριθμός περιοχών)	Περίοδος πρόβλεψης	Ζημία Συνάρτηση	Πηγή
DICE-2007	Από πάνω προς τα κάτω	Παγκόσμια	Έως 2200	$\frac{D(t)}{Y} = 1 - \frac{1}{1 + \eta T^B}$ <p>where $\frac{D(t)}{Y}$ is fractional reduction of production, $B = 2$,</p> <p>$\eta = \eta_{non-catastrophic} + \eta_{catastrophic} = 28\%$</p> <p>$T$ is global warming relative to pre-industrial</p>	(Kopp and Mignone, 2012)
ENTICE	Από πάνω προς τα κάτω	Παγκόσμια	2000-2300	$\Omega(t) = \frac{1}{1 + a_1 + T_t + a_2 T_t^2}$ <p>where t is period, T is global temperature, a_1, a_2 are parameters</p>	(Popp, 2006b)
FAIR2.1	Από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (7)	2005-2250	$Y_t = A \cdot K_t^a \cdot L_t^{(1-a)}, K_{t+1} = K_t - \eta K_t + I_t$ <p>where Y: GDP, K:capital, L: labor, a: capital elasticity of production,</p> <p>I: investment, η: depreciation, t: period</p>	(Hof et al., 2008)
FEEM-RICE	Από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (10)	Έως 2200	$\Omega(n, t) = \frac{1 - b_{1,n} \mu(n, t)^{b_{2,n}}}{1 + \theta_1 \frac{1}{\exp(SAD(n, t))} \cdot \frac{T(t)^{\theta_2}}{2,5}}$ <p>where T is global temp, $\theta_1, \theta_2, b_1, b_{2,n}$ are Nordhaus coefficients,</p> <p>n is region, t is time, SAD is stock of capital devoted to adaptation,</p> <p>μ is abatement cost</p>	(Bosello, 2010)

Μοντέλο	Προσέγγιση	Κάλυψη (αριθμός περιοχών)	Περίοδος πρόβλεψης	Ζημία Συνάρτηση	Πηγή
GRAPE	Από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (10)	2000-2100	$R = \frac{1}{1 + 0,00284.T^2}$ <p>where T is global temperature</p>	(Koji et al., 2009)
MERGE	Υβριδική	Περιφερειακή (5)	2000-2150	<p>Market Damages:</p> $D_{t,r} = d_{1,r} \cdot \Delta AT_{t,r}^{d_{2,r}} \cdot GDP_{t,r}$ <p>where ΔAT is variation of temperature, t is period, r is region</p> <p>Non-market damages:</p> $WTP_{t,r} = \frac{d_{3,r} \cdot \Delta AT_{t,r}^{d_{4,r}}}{1 + 100 \exp\left(\frac{-0,23GDP_{t,r}}{Pop_{t,r}}\right)}$ <p>where Pop is capital, and d_1, d_2, d_3, d_4 are damage parameters</p>	(Manne et al., 1995)
MIND	Από πάνω προς τα κάτω	Παγκόσμια	1995-2300	Χωρίς συνάρτηση ζημίας	(Ortiz and Markandya, 2009)
RICE-1994	Από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (10)	1990-2200	$\Omega(t) = \frac{1 - b_{1,i} \cdot \mu_i(t)^{b_2}}{1 + \theta_{1,i} T(t)^{\theta_2}}$ <p>where T is temperature, t is period, i is region,</p> <p>μ is rate of emissions reduction,</p> <p>b_1, b_2 are parameters of emissions reduction cost</p> <p>θ_1, θ_2 are parameters of climate damage function</p>	(Nordhaus et al., 1996)

Μοντέλο	Προσέγγιση	Κάλυψη (αριθμός περιοχών)	Περίοδος πρόβλεψης	Ζημία Συνάρτηση	Πηγή
RICE-99	Από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (8)	1995-2105	$\Omega(t) = \frac{1 - b_1 \cdot \mu(t)^2}{1 + D(t)}, \quad D(t) = \theta_1 T(t) + \theta_2 T(t)^2$ <p><i>T</i> is global temp, μ is control rate, θ_1, θ_2 parameters of damage function <i>b</i> is parameter of emissions reduction cost function, $t=1990, 2000, \dots$</p>	(Nordhaus, 2002)
WITCH	Υβριδική	Περιφερειακή (12)	2000-2150	$\Omega_t = \frac{1}{1 + \theta_{1,n} T_t + \theta_{2,n} T_t^2}$ <p>where <i>T</i> is temperature, <i>t</i> is period, <i>n</i> is region, $\theta_{1,n}, \theta_{2,n}$ are damage function parameters</p>	(Bosetti et al., 2007)

Τα περισσότερα εκ των μοντέλων αυτής της κατηγορίας ακολουθούν προσεγγίσεις από πάνω προς τα κάτω, με εξαίρεση το AIM/Enduse, το οποίο μπορεί επίσης να εξαιρεθεί από τα MOA εφόσον δεν περιλαμβάνει οικονομική υπομονάδα. Επιπρόσθετα, τα μοντέλα CETA-M, WITCH και MERGE ακολουθούν υβριδική προσέγγιση, ενώ το DEMETER-1(CCS) είναι ένα κλασικό από πάνω προς τα κάτω μοντέλο που αξιοποιεί χαρακτηριστικά από τη βιβλιογραφία των από κάτω προς τα πάνω μοντέλων, αναφορικά με τις επιδράσεις της εκμάθησης στην πράξη (Ortiz and Markandya, 2009).

Το παγκόσμιο μοντέλο DICE (Dynamic Integrated Climate Economy) των Nordhaus and Yang (1996) επιλέχθηκε σε αυτήν τη μελέτη ως αντιπροσωπευτικό της κατηγορίας του. Στο DICE, οι χώρες συναθροίζονται σε ένα ενιαίο επίπεδο εξόδου, μετοχικού κεφαλαίου, τεχνολογίας και εκπομπών (σε μία ρύθμιση περιφερειακής κάλυψης, το RICE αποτελεί μία πολλαπλών περιοχών έκδοση του DICE). Η συνάρτηση κοινωνικής ευημερίας συνοψίζει ένα καλά καθορισμένο σύνολο των παγκόσμιων προτιμήσεων και αντίστοιχα κατατάσσει τα διαφορετικά μονοπάτια κατανάλωσης. Η ευημερία αυξάνεται στην κατά κεφαλήν κατανάλωση για κάθε γενεά, αλλά με μειούμενη οριακή αξία κατανάλωσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η κατανάλωση (άρα ο πλούτος/ευημερία), τόσο λιγότερη είναι η αξία κάθε πρόσθετης μονάδας κατανάλωσης. Εάν αναμένεται ότι οι μελλοντικές γενεές θα είναι πλουσιότερες, τότε η πρόσθετη κατανάλωση για εκείνες θα είναι μικρότερης αξίας από ό,τι είναι για τις σημερινές. Η ελαστικότητα της οριακής αξίας της κατανάλωσης αποτελεί μέτρο των επιπρόσθετων μονάδων κατανάλωσης που χάνουν την αξία τους. Για δεδομένη ανάπτυξη της κατανάλωσης στον χρόνο, μεγαλύτερη ελαστικότητα σημαίνει ότι κάθε επιπρόσθετη μονάδα κατανάλωσης σήμερα είναι πιο χρήσιμη από ό,τι στο μέλλον.

Ο συνολικός ρυθμός αποταμίευσης για το φυσικό κεφάλαιο και ο ρυθμός ελέγχου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι δύο βασικές μεταβλητές απόφασης για την οικονομία. Ένα απλό αγαθό μπορεί είτε να καταναλώνεται είτε να επενδύεται. Η κατανάλωση σε γενικές γραμμές περιλαμβάνει σίτιση, στέγη, καθώς και περιβαλλοντικά αγαθά και υπηρεσίες. Η παραγωγή προϊόντος εκπροσωπείται από μία συνάρτηση παραγωγής Cobb-Douglas σε κεφάλαιο, εργασία και ενέργεια. Η ενέργεια μπορεί να προέρχεται από τεχνολογική αλλαγή σε ολόκληρη την οικονομία ή μέσω της μείωσης άνθρακα.

Το βασικό χαρακτηριστικό αυτού του μοντέλου νεοκλασικής ανάπτυξης, το οποίο το μετατρέπει σε μοντέλο πλήρως ολοκληρωμένης αποτίμησης, είναι η διασύνδεση ορισμένων γεωφυσικών σχέσεων που επηρεάζουν την κλιματική αλλαγή με την οικονομία: ο κύκλος άνθρακα, μία εξίσωση ενίσχυσης της ακτινοβολίας, εξισώσεις κλιματικής αλλαγής και μία σχέση κλίματος-ζημίας. Στο DICE-2007, οι βιομηχανικές εκπομπές CO₂ αποτελούν το μοναδικό αέριο του θερμοκηπίου που μπορεί να ελεγχθεί και μεταβάλλεται με τη συνολική παραγωγή, μέσω μίας χρονικά μεταβλητής αναλογίας εκπομπών-προϊόντος. Το κόστος σκληρότερων μέτρων κλιματικής πολιτικής μετράται στις μειώσεις της παραγωγής. Μία εξίσωση ενίσχυσης της ακτινοβολίας υπολογίζει την επίδραση της συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου στην ισορροπία ακτινοβολίας του πλανήτη. Οι κλιματικές εξισώσεις που βασίζονται σε μοντέλα γενικής κυκλοφορίας υπολογίζουν τη μέση επιφανειακή θερμοκρασία του πλανήτη και τη μέση θερμοκρασία των ωκεανών. Η σχέση κλίματος-ζημίας μεταφράζει την κλιματική αλλαγή σε οικονομική ζημία, βάσει εκτιμήσεων των οικονομικών επιπτώσεων από άλλες μελέτες.

Όσον αφορά την τεχνολογία, όλα τα μοντέλα βέλτιστης ανάπτυξης που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο υποθέτουν εξωγενώς καθορισμένη τεχνολογική μεταβολή, ενώ τα περισσότερα ενσωματώνουν επίσης παραμέτρους που προσεγγίζονται ενδογενώς. Μόνη εξαίρεση αποτελεί το μοντέλο WITCH, η τεχνολογική εξέλιξη στο οποίο ορίζεται αποκλειστικά ενδογενώς (Πίνακας 3.4). Σε αντίθεση με το μοντέλο DICE, στην πιο πρόσφατη έκδοση DICE-2007 (Nordhaus, 2008) και οι δύο

μορφές τεχνολογικής μεταβολής ορίζονται εξωγενώς, το οποίο θεωρείται ως σημαντικός περιορισμός, ειδικά εφόσον μεταβολές στις τιμές άνθρακα θα όφειλαν να προάγουν τεχνολογίες μείωσης του άνθρακα.

Πίνακας 3.4 Τεχνολογική αλλαγή και διαχείριση αβεβαιότητας στα μοντέλα βέλτιστης ανάπτυξης.

Μοντέλο	Τεχνολογική αλλαγή		Διαχείριση αβεβαιότητας		Παράγοντες αβεβαιότητας
	Ενδογενής	Εξωγενής	Ντετερμινιστική	Στοχαστική	
AD-FAIR		✓	ανάλυση ευαισθησίας		Μελλοντικά κόστη ζημίας, κόστη προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή (Hof et al., 2009· Hof et al., 2012)
AIM/Dynamic Global	✓	✓	ανάλυση σεναρίων· ανάλυση ευαισθησίας		Συντελεστής απόσβεσης κεφαλαίου (Xu and Masui, 2009), βελτιώσεις ενεργειακής αποδοτικότητας (Masui et al., 2006a)
AIM/Enduse		✓	ανάλυση σεναρίων· ανάλυση ευαισθησίας		Δημογραφικές τάσεις, ρυθμός οικονομικής ανάπτυξης, βιομηχανική δομή και αποστολές αγαθών, απαραίτητος χώρος γραφείων, μεταφορές (Kainuma et al., 2000), διαθεσιμότητα, απόδοση και κόστος νέων τεχνολογιών (Akashi et al., 2012)
CETA-M		✓	ανάλυση σεναρίων· ανάλυση ευαισθησίας		Ρυθμός βελτίωσης αυτόνομης ενεργειακής αποδοτικότητας, πόροι ορυκτών καυσίμων, κόστη ηλεκτρικά και μη-ηλεκτρικά εναλλακτικών τεχνολογιών, θέρμανση ανά εκπομπές, κόστη προσαρμογής, εξωγενείς εκπομπές, κύκλος άνθρακα, ρυθμός ανάπτυξης εργασίας, προεξοφλητικό επιτόκιο (Peck and Teisberg, 1993)
DEMETER-1 & DEMETER-1CCS	✓	✓	ανάλυση σεναρίων· ανάλυση ευαισθησίας		Κόστη ΔΑΑ (Gerlagh and van der Zwaan, 2006)
DICE	✓	✓	ανάλυση ευαισθησίας	Monte Carlo	Όλες οι παράμετροι του μοντέλου (π.χ. συντελεστής απόσβεσης κεφαλαίου, ελαστικότητα παραγωγής, ρυθμός μεταφοράς CO ₂ , κλπ.) (Nordhaus and Yang, 1996)· κλιματική ευαισθησία (Ackerman et al., 2010)
DICE-2007		✓		Monte Carlo	Συνολική παραγωγικότητα συντελεστών παραγωγής, αύξηση πληθυσμού, κόστος εναλλακτικών τεχνολογιών, συντελεστής ζημίας-παραγωγής και συνολική διαθεσιμότητα ορυκτών καυσίμων (Nordhaus, 2007)
ENTICE	✓	✓	ανάλυση σεναρίων· ανάλυση ευαισθησίας		Κόστος ευκαιρίας E&A, απόκλιση μεταξύ των ιδιωτικών και κοινωνικών επιτοκίων απόδοσης της E&A, ρυθμός φθοράς της γνώσης, απόδοση της ενεργειακής E&A, ελαστικότητα της E&A, εξωγενής μείωση της έντασης άνθρακα (Popp, 2004)
FAIR2.1		✓	ανάλυση σεναρίων		Κλιματική ευαισθησία, κόστη μείωσης εκπομπών, κόστη ζημίας, προεξοφλητικό επιτόκιο, χρονικός ορίζοντας (Hof et al., 2008)

Μοντέλο	Τεχνολογική αλλαγή		Διαχείριση αβεβαιότητας		Παράγοντες αβεβαιότητας
	Ενδογενής	Εξωγενής	Ντετερμινιστική	Στοχαστική	
FEEM-RICE	✓	✓	ανάλυση ευαισθησίας		Προεξοφλητικό επιτόκιο, ζημία κλιματικής αλλαγής (Bosello, 2010)
GRAPE		✓	ανάλυση σεναρίων		Κόστη δέσμευσης, μεταφοράς και αποθήκευσης άνθρακα (ΔΑΑ) (Kurosawa, 2004)
MERGE		✓	ανάλυση σεναρίων (έκδοση 2005)· ανάλυση ευαισθησίας	Monte Carlo (έκδοση 2008)· ανάλυση ευαισθησίας	Παγκόσμιες τιμές αποδοτικότητας άνθρακα, στρατηγική μετριασμού (Manne and Richels, 2005)· κλιματική ευαισθησία, αξία άνθρακα (Kypreos, 2008)
MIND	✓	✓	ανάλυση ευαισθησίας		Κόστη πόρων, εργασιακή E&A, ενεργειακή E&A, ρυθμός εκμάθησης, ρυθμός εκμάθησης εξόρυξης πόρων (Edenhofer et al., 2005b)
RICE- 1994		✓	ανάλυση ευαισθησίας		Όλες οι παράμετροι του μοντέλου (π.χ. συντελεστής απόσβεσης κεφαλαίου, ελαστικότητα παραγωγής, ρυθμός μεταφοράς CO ₂ , κλπ.) (Nordhaus and Yang, 1996)
RICE-99		✓	ανάλυση σεναρίων		Αύξηση πληθυσμού, συνολική παραγωγικότητα συντελεστών παραγωγής, ενεργειακή αποδοτικότητα, μεταβολές στη χρήση γης, κλιματική ευαισθησία, προεξοφλητικό επιτόκιο (Von Below and Persson, 2008)
WITCH	✓		ανάλυση σεναρίων (έκδοση 2005)	Monte Carlo (έκδοση 2008)	Κόστη μετριασμού (Bosetti et al., 2008)

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 3.4, η αβεβαιότητα στα μοντέλα βέλτιστης ανάπτυξης συνήθως αναλύεται ντετερμινιστικά (μέσω σεναρίων)· μόνο οι εφαρμογές DICE στη βιβλιογραφία έχουν διαχειριστεί την αβεβαιότητα στοχαστικά, μέσω αναλύσεων Monte Carlo (π.χ. Nordhaus, 2007· Ackerman et al., 2010). Επίσης, τα μοντέλα MERGE και WITCH αναβαθμίστηκαν στις 2008 εκδόσεις τους για να επιτρέπουν την αξιοποίηση Monte Carlo αναλύσεων στη διαχείριση αβεβαιότητας.

3.4 Μοντέλα γενικής ισορροπίας

Η παρούσα ενότητα βασίζεται στην περιγραφή της δομής των μοντέλων γενικής ισορροπίας του Wing (2011). Τα μοντέλα γενικής ισορροπίας αποτελούν ένα σύνολο αλγεβρικής αναπαράστασης της πολυσύνθετης λειτουργίας μίας οικονομίας αγοράς και βασίζονται στα στέρεα θεωρητικά θεμέλια της λειτουργίας ενός αποκεντρωμένου συστήματος τιμών. Η ζήτηση και η προσφορά αγαθών προκύπτουν από τη μεγιστοποίηση της αξίας και των κερδών από τους καταναλωτές και τους παραγωγούς αντίστοιχα, με τις τιμές να έρχονται σε ισορροπία στις αγορές. Η προσομοίωση του πραγματικού κόσμου για τις τιμές ισορροπίας και τα επίπεδα ζήτησης και προσφοράς των αγαθών πραγματοποιείται μέσω αριθμητικών παραμέτρων που προέρχονται από την αξιοποίηση οικονομικών δεδομένων. Εθνικοί λογαριασμοί για ένα δεδομένο έτος παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες για τα έξοδα των τομέων παραγωγής και των νοικοκυριών για προϊόντα και υπηρεσίες. Απαιτούνται επίσης δεδομένα για τον

καθορισμό της ελαστικότητας των τιμών ζήτησης και προσφοράς. Τα δεδομένα συνήθως προέρχονται από άλλες εμπειρικές μελέτες που αναλύουν τον τρόπο με τον οποίο η συμπεριφορά των παραγόντων ανταποκρίνεται στις μεταβολές τιμών. Με τη χρήση των εθνικών λογαριασμών και δεδομένων ελαστικότητας, οι παράμετροι των εξισώσεων των μοντέλων γενικής ισορροπίας «βαθμονομούνται» ώστε η λύση ισορροπίας του αριθμητικού μοντέλου να αναπαράγει επακριβώς τα δεδομένα μίας πραγματικής οικονομίας για ένα δεδομένο έτος.

Τα ΜΟΑ γενικής ισορροπίας χρησιμοποιούνται για την ανάλυση πολιτικής καταρχήν μέσω μεταβολών μίας ή περισσότερων εκ των εξωγενών παραμέτρων της οικονομίας και του υπολογισμού της νέας ισορροπίας. Συγκρίσεις της τελευταίας με τις τιμές που αντιστοιχούν στη βαθμονομημένη (αρχική) ισορροπία τιμών και επιπέδων δραστηριότητας καθώς και του επιπέδου αξίας του αντιπροσωπευτικού νοικοκυριού παρέχουν πληροφορίες για τις επιπτώσεις αυτών των κλονισμών στην οικονομία.

Μέσω της μοντελοποίησης των σχέσεων μεταξύ των διαφορετικών τομέων της οικονομίας, τα μοντέλα γενικής ισορροπίας δύνανται όχι μόνο να καταγράψουν τις απευθείας επιδράσεις μίας πολιτικής σε έναν τομέα της οικονομίας αλλά να ακολουθήσουν τον πλήρη (γενικής ισορροπίας) αντίκτυπο στους ανεξάρτητους τομείς μίας οικονομίας και εν τέλει στην κατανάλωση (ή αξία) του αντιπροσωπευτικού παράγοντα, η οποία είναι μέτρο της επίδρασης στην ευημερία. Ένας φόρος στον άνθρακα για παράδειγμα δεν θα αυξήσει μόνο το κόστος ορισμένων πόρων ενέργειας αλλά θα επηρεάσει και τη ζήτηση και προσφορά άλλων αγαθών. Σε αυτό το χαρακτηριστικό έγκειται ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα αυτών των μοντέλων, σε σχέση με τα μοντέλα μερικής ισορροπίας, τα οποία εστιάζουν σε έναν μεμονωμένο τομέα ή άλλα μοντέλα που δεν έχουν λεπτομερή εκπροσώπηση πολλαπλών τομέων της οικονομίας. Για παράδειγμα, τα νεοκλασικά μοντέλα που παρουσιάζουν την οικονομία ως έναν ενιαίο τομέα δεν μπορούν να καταγράψουν τέτοιες επιδράσεις γενικής ισορροπίας, παρότι εστιάζουν στην ευρύτερη κατανόηση της μακροπρόθεσμης δυναμικής. Μία επισκόπηση των αντιπροσωπευτικών μοντέλων γενικής ισορροπίας παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5 Επισκόπηση των αντιπροσωπευτικών μοντέλων γενικής ισορροπίας.

Μοντέλο	Προσέγγιση	Κάλυψη (αριθμός περιοχών)	Περίοδος πρόβλεψης
AIM	από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (21)	1990-2100
AIM/Material	από πάνω προς τα κάτω	Εθνική (Ιαπωνία)	1995-2010
Dynamic GTAP	από πάνω προς τα κάτω	Παγκόσμια	1997-2025
G-CUBED	από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (8)	2000-2100
GEM-E3	από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (Ευρώπη)	1996-2020
GREEN	από πάνω προς τα κάτω	Παγκόσμια	1985-2050
GTAP-E	από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (5)	
GTEM	από πάνω προς τα κάτω	Παγκόσμια	1997-2100
ICES	από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (14)	2001-2050
IGEM	από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (ΗΠΑ)	2000-2060
IMACLIM-R	από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (5)	1997-2100
LINKAGE	από πάνω προς τα κάτω	Παγκόσμια	2004-2080
MEMO	από κάτω προς τα πάνω	Εθνική (Πολωνία, Ελλάδα)	2010-2030
MIRAGE	από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή	2004-2020

Μοντέλο	Προσέγγιση	Κάλυψη (αριθμός περιοχών)	Περίοδος πρόβλεψης
MIT EPPA	από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (16)	2000-2100
MS-MRT	υβριδική	Περιφερειακή (10)	2000-2030
SGM 2004	υβριδική	Παγκόσμια (14)	2000-2050
WIAGEM	από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (25)	2000-2050
WORLDSCAN	από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (16)	2000-2050

Τα μοντέλα γενικής ισορροπίας παραδοσιακά εστίαζαν στην αξιολόγηση των κοστών μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, εναλλακτικών πολιτικών μετριασμού και ζημιών που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή. Αυξανόμενη προσοχή δίδεται επίσης στη θεώρηση των κοστών και πλεονεκτημάτων των στρατηγικών προσαρμογής. Μία συνήθης πρακτική είναι η εξέταση των επιπτώσεων ενός φόρου άνθρακα στο προϊόν και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μίας οικονομίας. Ένα πολλαπλών περιοχών μοντέλο με διεθνή εμπορία μπορεί να εξετάσει τις επιπτώσεις αντίστοιχων πολιτικών φορολογίας άνθρακα που εφαρμόζονται σε διαφορετικές χώρες με διαφορετικό φορολογικό συντελεστή (Elliott et al., 2010). Ένας τυπικός τρόπος καταγραφής των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε μία οικονομία, σε ένα μοντέλο γενικής ισορροπίας, είναι η μοντελοποίηση των κλωνισμών μέσω πολλών πιθανών διαύλων. Η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε πρότυπα καταναλωτικών δαπανών, όπως μία αύξηση στη ζήτηση για κλιματισμό το καλοκαίρι ή μία μείωση στη ζήτηση για θέρμανση τον χειμώνα. Με την εισαγωγή μίας παραμέτρου κλωνισμού στη συνάρτηση δαπάνης του αντιπροσωπευτικού παράγοντα, τέτοιες επιδράσεις μπορούν να καταγραφούν. Στον βαθμό που η κλιματική αλλαγή μειώνει την παραγωγικότητα της ρύθμισης θερμοκρασίας κλειστών χώρων, η παράμετρος κλωνισμού αυξάνεται, έχοντας ως αποτέλεσμα αυξήσεις στις δαπάνες που απαιτούνται για ένα δεδομένο επίπεδο ρύθμισης θερμοκρασίας του χώρου, επομένως επηρεάζοντας αρνητικά την ευημερία του αντιπροσωπευτικού νοικοκυριού. Παρομοίως, άλλες παράμετροι κλωνισμού μπορούν να εισαχθούν ως παράμετροι μεταβολών στην παραγωγικότητα βασικών παραγόντων σε διάφορες βιομηχανίες. Εάν η κλιματική αλλαγή μειώνει (ή αυξάνει) την απόδοση ορισμένων καλλιεργειών, τότε μία παράμετρος κλωνισμού μπορεί να μεταβληθεί ώστε να προβλέπει τη μειωμένη παραγωγικότητα του αγροτικού τομέα. Η σύγκριση μίας βαθμονομημένης ισορροπίας (ισορροπίας αναφοράς) με μία νέα ισορροπία που προκύπτει από τροποποιημένες τιμές παραμέτρων στην αγροτική παραγωγικότητα, επομένως, μπορεί να δώσει μία εκτίμηση της απώλειας ευημερίας (πλούτου) λόγω της κλιματικής αλλαγής. Με την κατάλληλη ενσωμάτωση ενός πλήρους συνόλου πιθανών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής μέσω παραμέτρων κλωνισμού, ένα μοντέλο γενικής ισορροπίας μπορεί να καταγράψει την απώλεια ευημερίας του αντιπροσωπευτικού παράγοντα λόγω των κλωνισμών στην παραγωγικότητα. Αυτή η μέθοδος, όμως, δεν δύναται να καταγράψει επαρκώς τις επιπτώσεις που δεν αποτυπώνονται στις αγορές, όπως οι απώλειες βιοποικιλότητας ή μία αύξηση του κινδύνου νοσηρότητας ή θνησιμότητας.

Η τεχνολογική αλλαγή και η διαχείριση της αβεβαιότητας στα επιλεγμένα μοντέλα γενικής ισορροπίας παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.6. Σε αυτό το πεδίο, τα μοντέλα γενικής ισορροπίας παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά με αυτήν των νεοκλασικών μοντέλων οικονομικής ανάπτυξης, στο ότι κατά βάση επιτρέπουν την εξωγενή ρύθμιση της τεχνολογικής αλλαγής, παρότι τα GEM-E3, IGEM, IMACLIM-R και MIT EPPA διαθέτουν επίσης τεχνολογικές πλευρές που καθορίζονται ενδογενώς, και στο ότι όλα αντιμετωπίζουν την αβεβαιότητα με τη χρήση διακριτών σεναρίων ή ντετερμινιστικές αναλύσεις ευαισθησίας. Μοναδική εξαίρεση στις εφαρμογές τέτοιων μοντέλων στη βιβλιογραφία

αποτελεί το μοντέλο MIT EPPA, στο οποίο οι ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου λήφθηκαν με ανάλυση Monte Carlo (Webster et al., 2002· Webster et al., 2003).

Πίνακας 3.6 Τεχνολογική αλλαγή και διαχείριση αβεβαιότητας στα μοντέλα γενικής ισορροπίας.

Μοντέλο	Τεχνολογική αλλαγή		Διαχείριση αβεβαιότητας		Παράγοντες αβεβαιότητας
	Ενδογενής	Εξωγενής	Ντετερμινιστική	Στοχαστική	
AIM		✓	ανάλυση σεναρίων		Πληθυσμιακή αύξηση, οικονομική ανάπτυξη, κλιματική ευαισθησία (Matsuoka et al., 1995), δομή βιομηχανικής παραγωγής, σύνθεση παραγωγής, θέματα εξωτερικής περιβαλλοντικής πολιτικής (Wen et al., 2014)
AIM/Material		✓	ανάλυση σεναρίων		Παραγωγικότητα εργασίας, βελτίωση ενεργειακής αποδοτικότητας, ενεργειακό μείγμα (Masui et al., 2006b)
Dynamic GTAP		✓	ανάλυση σεναρίων		Μείγμα πολιτικής (Walmsley et al., 2006b), συνολική παραγωγικότητα συντελεστών παραγωγής (Ianchovichina et al., 2001), δημογραφικές τάσεις (Tyers and Shi, 2012)
G-CUBED		✓	ανάλυση σεναρίων		Καθεστώς κατανομής δικαιωμάτων εκπομπών (McKibbin and Wilcoxon, 2009)
GEM-E3	✓		ανάλυση σεναρίων		Μείγμα πολιτικής (Nilsson, 1999)
GREEN		✓	ανάλυση σεναρίων		Δομή αγοράς (Burniaux, 1998)
GTAP-E		✓	ανάλυση σεναρίων		Καθεστώς κατανομής δικαιωμάτων εκπομπών (Nijkamp et al., 2005)
GTEM		✓	ανάλυση σεναρίων		Προσφορά εργασίας, αύξηση γης, φυσικοί πόροι, αύξηση πληθυσμού (Pant et al., 2007), καθεστώς εμπορίας εκπομπών, οικονομική και καταναλωτική ανάπτυξη (Tulpulé et al., 1998)
ICES		✓	ανάλυση σεναρίων		Αύξηση θερμοκρασίας (Bosello et al., 2009)· καθεστώς κατανομής δικαιωμάτων εκπομπών (Bosello et al., 2010)
IGEM	✓	✓	ανάλυση σεναρίων		Δομή μηχανισμού δικαιωμάτων εκπομπών (Fawcett, 2011)
IMACLIM-R	✓		ανάλυση σεναρίων		Οικονομική ανάπτυξη, τεχνολογική αλλαγή, μείγμα πολιτικής (Waisman et al., 2012)
LINKAGE		✓	ανάλυση σεναρίων		Αύξηση αγροτικής παραγωγικότητας (Zhai and Zhuang, 2012)
MEMO		✓	ανάλυση σεναρίων· ανάλυση ευαισθησίας		Μείγμα πολιτικής, τεχνολογικό μείγμα (Bukowski and Kowal, 2010)
MIRAGE		✓	ανάλυση σεναρίων		Δομή της αγοράς (Bchir et al., 2003)
MIT EPPA	✓	✓	ανάλυση σεναρίων	Monte Carlo· στατιστική ανάλυση	Καθεστώς κατανομής βάρους (Viguier et al., 2003)· ανθρωπογενείς εκπομπές για όλα τα αέρια του θερμοκηπίου (Webster et al., 2002· Webster et al., 2003)

Μοντέλο	Τεχνολογική αλλαγή		Διαχείριση αβεβαιότητας		Παράγοντες αβεβαιότητας
	Ενδογενής	Εξωγενής	Ντετερμινιστική	Στοχαστική	
MS-MRT		✓	ανάλυση σεναρίων		Καθεστώς εμπορίας εκπομπών (Bernstein et al., 1999b)
SGM 2004		✓	ανάλυση σεναρίων· ανάλυση ευαισθησίας		Τεχνολογική ετοιμότητα, τιμές άνθρακα, επενδυτικά επιτόκια (Schumacher and Sands, 2006)
WIAGEM		✓	ανάλυση σεναρίων· ανάλυση ευαισθησίας		Επίπεδα σταθεροποίησης εκπομπών (Kemfert and Truong, 2007), περιορισμοί ενίσχυσης ακτινοβολίας, σύνολα αερίων του θερμοκηπίου, ελαστικότητα μείωσης εκπομπών (Kemfert et al., 2006)
WORLDSCAN		✓	ανάλυση σεναρίων		Επίπεδα σταθεροποίησης εκπομπών (Bollen and Gieen, 1999)

Εφόσον η οικονομία στα μοντέλα γενικής ισορροπίας βρίσκεται πάντα σε ισορροπία, οποιοσδήποτε περιορισμός στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εξ ορισμού οδηγεί σε κόστη ή απώλειες παραγωγής (βλ. εφαρμογή στο [Κεφάλαιο 10](#)). Ο DeCanio (2003) επιχειρεί μία λεπτομερή, θεμελιώδη κριτική στην υποκείμενη θεωρητική βάση των μοντέλων γενικής ισορροπίας.

3.5 Μοντέλα μερικής ισορροπίας

Η ανάλυση μερικής ισορροπίας διαφέρει από τη μοντελοποίηση γενικής ισορροπίας πρωτίστως επειδή εστιάζει σε μία συγκεκριμένη αγορά ή οικονομικό τομέα και υποθέτει ότι οι τιμές (ή συνθήκες) στο υπόλοιπο της οικονομίας παραμένουν σταθερές (*ceteris paribus*). Συνήθως δικαιολογείται θεωρητικά όταν οι μεταβολές που λαμβάνονται υπόψιν επηρεάζουν πρωτίστως μία αγορά και αναμένονται να έχουν μικρό αντίκτυπο στην υπόλοιπη οικονομία. Η ανάλυση μερικής ισορροπίας χρησιμοποιείται εκτενώς για να υπολογιστούν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε διαφορετικούς τομείς της οικονομίας. Παρότι δεν δύναται να καταγράψει τις ευρύτερες επιπτώσεις που έχει η κλιματική αλλαγή καθώς τομεακές μεταβολές διαδίδονται σε όλους τους οικονομικούς τομείς, έχει το πλεονέκτημα να παρέχει μία πιο λεπτομερή εικόνα για τον τομέα ενδιαφέροντος, συγκριτικά με την ανάλυση γενικής ισορροπίας, κάτι που μπορεί να αποδειχθεί πολύ χρήσιμο στη διαμόρφωση πολιτικής.

Μία από τις πρώτες εφαρμογές μερικής ισορροπίας στην κλιματική αλλαγή υπήρξε στον αγροτικό τομέα. Δύο τρόποι εκτίμησης των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία έχουν αναδειχθεί: η στατιστική προσέγγιση και η βιοφυσική προσέγγιση. Οι Mendelsohn et al. (1999) χρησιμοποίησαν τη βιοφυσική προσέγγιση για να υπολογίσουν τη ζημία στον αγροτικό τομέα στις ΗΠΑ: μοντέλα προσομοίωσης προέβλεψαν τις αλλαγές στην απόδοση των καλλιεργειών (συνάρτηση ζημίας) και τα αποτελέσματα αυτών αποτέλεσαν την είσοδο για ένα χωρικό μοντέλο μερικής ισορροπίας του αμερικανικού αγροτικού τομέα. Όπως στα γενικής ισορροπίας, αυτή η μεταβολή της παραμέτρου μίας συνάρτησης παραγωγής εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής οδηγεί σε νέα ισορροπία και η διαφορά στην ευημερία αποτελεί μέτρο της οικονομικής ζημίας που προκαλείται.

Τα κόστη των παραγωγών συνοψίζονται σε μία συνάρτηση της παραγωγής των αγαθών που παράγουν, των τιμών των συντελεστών και εξωγενών περιβαλλοντικών εισόδων (π.χ. κλίμα και ποιότητα εδάφους,

αέρα, νερού, κλπ.). Στην στατιστική προσέγγιση, η γη διαχωρίζεται από τις υπόλοιπες εισόδους παραγωγής και θεωρείται ετερογενής με διαφορετικά περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά. Υποτίθεται τέλειος ανταγωνισμός για τη γη, δηλαδή η είσοδος και η έξοδος οδηγούν σε μηδενικά καθαρά κέρδη. Σε αυτήν την περίπτωση, η αξία της γης πρέπει να ισούται με το καθαρό εισόδημα από τη γη, το οποίο συσχετίζεται με την αξία της γης, επιτρέποντας έτσι τη μέτρηση της επίδρασης μίας μεταβολής μίας περιβαλλοντικής παραμέτρου, μέσα από την επίπτωση στην αξία της γης. Μία ζημιογόνος για την παραγωγή μεταβολή σε έναν περιβαλλοντικό παράγοντα θα οδηγήσει σε μείωση της μελλοντικής τιμής ενοικίασης γης και επομένως στην αξία της γης. Εάν οι τιμές για όλες τις αγορές (πλην της γης) θεωρούνται σταθερές, η αξία της περιβαλλοντικής μεταβολής καταγράφεται στη μεταβολή των συνολικών αξιών της γης. Για τον διαχωρισμό των επιδράσεων της κλιματικής μεταβολής (συμπεριλαμβανομένης της μέσης θερμοκρασίας) σε αξίες ιδιοκτησίας, οι Mendelsohn et al (1999) χρησιμοποίησαν δια-τομεακά δεδομένα για τις αθροιστικές αξίες γης σε διαφορετικές χώρες, με 12 κλιματικές μεταβλητές, και προσδιόρισαν τις οριακές επιπτώσεις κάθε κλιματικής μεταβλητής, παρατηρώντας διαφοροποιήσεις στη θερμοκρασία και τα καιρικά πρότυπα στο μέλλον σε διαφορετικές περιοχές.

Τόσο η βιοφυσική όσο και η στατιστική προσέγγιση μερικής ισορροπίας έχουν χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσουν τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής σε πολλαπλούς τομείς μίας οικονομίας. Με σταθερές υποθέσεις στις τομεακές αναλύσεις, αυτές συνήθως αθροίζονται για να αποδώσουν μία αξία στη συνολική επίδραση σε μία οικονομία, η οποία (παρόμοια με τα μοντέλα γενικής ισορροπίας) δεν καταγράφει τις μη αγοραίες επιδράσεις, όπως στην υγεία ή τη βιοποικιλότητα.

Η λογική της αξιοποίησης της βιβλιογραφίας των βιοφυσικών μοντέλων για την εύρεση των φυσικών κλιματικών επιπτώσεων σε διαφορετικούς τομείς, και της μετέπειτα μετάφρασης αυτών σε χρηματικές αξίες με διάφορες μεθόδους και άθροισής τους σε μία συνολική χρηματική αξία της ζημίας της κλιματικής αλλαγής αποτελεί μία από τις ευκολότερες μεθόδους να συλλάβει κανείς εννοιολογικά, δεδομένου ότι η μετατόπιση από την φυσική στη χρηματική αξιολόγηση είναι πιο διαφανής. Εκτιμήσεις των φυσικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε συγκεκριμένους τομείς της οικονομίας ή σε περιβαλλοντικές υπηρεσίες λαμβάνονται από μελέτες φυσικής επιστήμης (κλιματικά μοντέλα, μοντέλα επιπτώσεων και εργαστηριακά πειράματα). Οι μέθοδοι οικονομικής αξιολόγησης στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την απόδοση μίας χρηματικής αξίας στη φυσική επίπτωση. Στη συνέχεια, είτε αυτή χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ζημίας σε έναν συγκεκριμένο τομέα (π.χ. γεωργία), είτε οι αξίες των ζημιών στους διαφορετικούς τομείς (τουρισμός, γεωργία, δασοκομία, βιοποικιλότητα, κλπ.) μπορούν να αθροιστούν σε μία εκτίμηση των συνολικών ζημιών της κλιματικής αλλαγής σε μία περιοχή. Για παράδειγμα, μηχανικές εκτιμήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εύρεση της φυσικής επίδρασης της αύξησης της θαλάσσιας στάθμης στην προστασία των ακτών και την απώλεια της γης, και εν συνεχεία οικονομικές εκτιμήσεις μπορούν να αξιοποιηθούν για τη μετάφραση αυτής της φυσικής επίδρασης σε οικονομικούς όρους. Για τον προσδιορισμό των χρηματικών αξιών των αγαθών που δεν ανταλλάσσονται στις αγορές, όπως οι κλιματικές επιπτώσεις στην υγεία και τη βιοποικιλότητα, απαιτούνται άλλες οικονομικές τεχνικές. Η φυσική απώλεια στην υγεία μπορεί να μεταφραστεί σε χρηματικούς όρους, λαμβάνοντας υπόψιν τα ιατρικά έξοδα, την απώλεια παραγωγικότητας ή την προθυμία των πολιτών να πληρώσουν για να αποφύγουν τον κίνδυνο ζημίας στην υγεία (Tol, 2010).

Η θεωρία δεν προτείνει ότι η άθροιση των ξεχωριστών οικονομικών τομεακών επιδράσεων θα οδηγήσει στο ίδιο αποτέλεσμα με την περίπτωση της αξιολόγησης των συνολικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής με ένα μοντέλο γενικής ισορροπίας ή ένα μακροοικονομικό μοντέλο, τα οποία ενσωματώνουν όλες τις σχέσεις μίας αγοράς. Ένα ιδιαίτερα εύστοχο παράδειγμα κατανόησης της

σημασίας που έχει η καταγραφή των αγοραίων διαδράσεων υπάρχει στο λεγόμενο “tebound effect” (Sorrell, 2009). Η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας μπορεί να επιφέρει σημαντικές μειώσεις ενεργειακής κατανάλωσης και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Μία ανάλυση που διερευνά απλώς τις άμεσες συνέπειες της ενεργειακής εξοικονόμησης και σχετικών πολιτικών συνηγορεί στο ίδιο συμπέρασμα. Όμως, τόσο η εμπειρική όσο και η θεωρητική βιβλιογραφία δείχνει ότι μπορεί να υφίσταται ένα αντίστοιχο φαινόμενο, έτσι ώστε οποιοδήποτε κέρδος προκύπτει από την ενεργειακή αποδοτικότητα να αντισταθμίζεται από τις αυξήσεις στην ενεργειακή κατανάλωση. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στις μειώσεις των ενεργειακών τιμών που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση ενεργειακής χρήσης.

Λεπτομερείς αναλύσεις και ποσοτικοποιήσεις των συναρτήσεων ζημίας που αποτελούν μέρος των μελετών μερικής ισορροπίας έχουν χρησιμοποιηθεί ως είσοδοι σε μοντέλα γενικής ισορροπίας. Για παράδειγμα, οι Jorgenson et al. (2004) χρησιμοποιούν τομεακές συναρτήσεις ζημίας ως εισόδους στο μοντέλο IGEM, διαφοροποιώντας έτσι την ανάλυσή τους από μοντελοποιήσεις γενικής ισορροπίας που δεν άντλησαν τις συναρτήσεις ζημίας τους από πιο λεπτομερείς εμπειρικές τομεακές αναλύσεις. Μία συνάρτηση ζημίας χρησιμοποιείται για να περιγράψει πώς τα μοναδιαία κόστη παραγωγής (ή οι συντελεστές που απαιτούνται για την παραγωγή μίας μονάδας προϊόντος) μεταβάλλονται συναρτήσει της κλιματικής μεταβολής. Για παράδειγμα, για τους τομείς της γεωργίας, δασοκομίας, ενέργειας και ύδρευσης, μία συνάρτηση ζημίας χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση της ποσοστιαίας μεταβολής των κοστών κάθε μονάδας παραγωγής με μεταβολές στη θερμοκρασία. Η διαφορά μεταξύ της μοναδιαίας τιμής παραγωγής μίας δεδομένης ποσότητας πριν και μετά την επίδραση της κλιματικής αλλαγής χρησιμοποιείται στο μοντέλο ως δείκτης της μεταβολής στην παραγωγικότητα ή των συντελεστών που απαιτούνται για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ενός αγαθού. Αυτή η μεταβολή στην παραγωγικότητα ενσωματώνεται στον σχετικό τομέα του μοντέλου γενικής ισορροπίας για την ουσιαστική μοντελοποίηση των πλήρων οικονομικών επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής.

Τα τρία μοντέλα μερικής ισορροπίας που εξετάζονται στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.7. Είναι εμφανές ότι η τεχνολογική αλλαγή διαφέρει σημαντικά μεταξύ των τριών μοντέλων, όλα εκ των οποίων παρέχουν όμως παγκόσμια γεωγραφική κάλυψη. Μόνο το μοντέλο GCAM (πρότερα γνωστό ως MiniCAM) επιτρέπει τη διαχείριση της τεχνολογικής αλλαγής τόσο ενδογενώς όσο και εξωγενώς, καθώς και χαρακτηριστικά προσεγγίσεων από πάνω προς τα κάτω και από κάτω προς τα πάνω (Urban et al., 2007), ενώ, αντίθετα από τα μοντέλα GIM και TIAM-ECN, έχουν υπάρξει εφαρμογές του στις οποίες ορισμένες αβέβαιες παράμετροι έχουν αντιμετωπιστεί στοχαστικά, μέσω αναλύσεων Monte Carlo (Scott et al., 1999). Για αυτούς τους λόγους, καθώς και για άλλους που περιγράφονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4, το μοντέλο GCAM έχει αποτελέσει μία εκ των μοντελικών βάσεων του προτεινόμενου επιστημονικού παραδείγματος σε εφαρμογές στην Ευρώπη (Forouli et al., 2019) και την Ανατολική Αφρική, όπως θα αναλυθεί στο Κεφάλαιο 9.

Πίνακας 3.7 Λεπτομερής επισκόπηση χαρακτηριστικών των αντιπροσωπευτικών ΜΟΑ μερικής ισορροπίας.

Μοντέλο	GIM	MiniCAM/GCAM	TIAM-ECN
Προσέγγιση	Από πάνω προς τα κάτω	Υβριδική	Από κάτω προς τα πάνω
Κάλυψη (περιοχές)	Παγκόσμια (178)	Παγκόσμια (14)	Παγκόσμια (36)
Περίοδος πρόβλεψης	1990-2100	1990-2100	2010-2100
Τεχνολογική αλλαγή	Ενδογενής	Ενδογενής, εξωγενής	Εξωγενής

Μοντέλο	GIM	MiniCAM/GCAM	TIAM-ECN
Διαχείριση αβεβαιότητας	Ντετερμινιστική (ανάλυση σεναρίων)	Ντετερμινιστική (ανάλυση σεναρίων), στοχαστική (Monte Carlo)	Ντετερμινιστική (ανάλυση σεναρίων)
Παράγοντες αβεβαιότητας	Μοντέλα κλιματικών προβλέψεων (Mendelsohn and Williams, 2004)	Μείγμα πολιτικής, εκπομπές, ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις, ενίσχυση ακτινοβολίας, παγκόσμια μέση θερμοκρασία και κλιματική ευαισθησία, ζημία αδράνειας, κόστος σταθεροποίησης εκπομπών, ατμόσφαιρας, κλίματος (Scott et al., 1999)	Επίπεδα ενίσχυσης ακτινοβολίας (van der Zwaan et al., 2013)

Ένα από τα πλεονεκτήματα της τομεακής προσέγγισης των μοντέλων μερικής ισορροπίας είναι ότι επιτρέπει μία πιο λεπτομερή κατανόηση των διάφορων κλιματικών επιπτώσεων και μία πιο εστιασμένη εκτίμηση συγκεκριμένων επιπτώσεων σε μέρη της οικονομίας. Μία πρόσφατη μελέτη γνωστή ως PESETA (Ciscar et al., 2009) συνδύασε μοντέλα μερικής και γενικής ισορροπίας για τη διεκπεραίωση μίας ευρείας ευρωπαϊκής ανάλυσης των κλιματικών επιπτώσεων στη γεωργία, τον τουρισμό, τις πλημμύρες ποταμών, τα παράκτια συστήματα και την υγεία. Η έρευνα κατέδειξε τα μειονεκτήματα άλλων περιφερειακών μελετών ολοκληρωμένης αποτίμησης που βασίζονται σε μειωμένης μορφής συναρτήσεις ζημίας που συσχετίζουν την παγκόσμια θερμοκρασία με το ΑΕΠ (όπως τα περισσότερα MOA μεγιστοποίησης ευημερίας), οι οποίες συναρτήσεις ζημίας μπορεί να βασίζονται στη βιβλιογραφία που συχνά χρησιμοποιεί διαφορετικά και πιθανώς ασύμβατα κλιματικά σενάρια. Ένα άλλο πρόσφατο παράδειγμα εθνικής αποτίμησης της κλιματικής αλλαγής βασισμένης στον συνδυασμό μοντέλου μερικής ισορροπίας με από πάνω προς τα κάτω μοντέλο γενικής ισορροπίας στην έκθεση για την κλιματική αλλαγή του Garnaut (2008).

3.6 Μοντέλα ενεργειακών συστημάτων

Καθώς τα μοντέλα μερικής ισορροπίας εστιάζουν στην ζημία της κλιματικής αλλαγής σε έναν συγκεκριμένο οικονομικό τομέα, τα μοντέλα ενεργειακών συστημάτων εστιάζουν στον βασικό οικονομικό τομέα που καθορίζει την πλειοψηφία των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και των κοστών που συνεπάγονται οι πολιτικές μείωσης των εκπομπών. Πολλά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια για να παρέχουν υποστήριξη στους φορείς χάραξης ενεργειακής πολιτικής, τα οποία έχουν εξελιχθεί σε MOA ή σε υπομονάδες των MOA. Η ανάλυση της ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής συχνά απαιτεί ένα επίπεδο τεχνολογικής σαφήνειας και λεπτομέρειας που δεν υπάρχει στα μακροοικονομικά μοντέλα, τα οποία δεν διαφοροποιούν τα τεχνολογικά αποθέματα. Μία κλάση προσανατολισμένων στην ενέργεια μοντέλων, γνωστά και ως «από κάτω προς τα πάνω» μοντέλα, αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1970 (έπειτα από την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1973) και ανανεώνεται ακόμα, για την αντιμετώπιση της ανάγκης αυτής της λεπτομέρειας. Παρότι αυτά τα μοντέλα αναπτύχθηκαν για τον σχεδιασμό ενεργειακών πόρων και ξεκίνησαν με απλά, μονοτομεακά λογιστικά εργαλεία, σύντομα εξελίχθηκαν σε πλαίσια σύνθετης και δυναμικής βελτιστοποίησης και προσομοίωσης για την αξιολόγηση ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής σε τοπικό, εθνικό ή υπερεθνικό επίπεδο (Greening and Bataille, 2009). Όπως σημειώνουν οι Mundaca et al. (2010), αυτά τα μοντέλα αποτελούν αποσυντεθειμένες αναπαραστάσεις του συστήματος ενέργειας-οικονομίας,

περιέχοντας λεπτομερείς χαρακτηρισμούς των υφιστάμενων και νέων/αναδυόμενων τεχνολογιών, με τη δυνατότητα προσομοίωσης εναλλακτικών τεχνολογικών μονοπατιών. Πέραν της θεώρησης των οικονομικότερων τρόπων επίτευξης στόχων εκπομπών, αυτά τα μοντέλα αξιοποιούνται για την αναγνώριση ενός αριθμού ζητημάτων κλίματος-ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των ευκαιριών βέλτιστης τεχνολογίας, των κοστών εναλλακτικών πολιτικών μετριασμού και του δυναμικού για βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας.

Τα μοντέλα ενεργειακών συστημάτων μπορούν ευρέως να ταξινομηθούν ως μοντέλα βελτιστοποίησης ή μοντέλα προσομοίωσης. Τα μοντέλα βελτιστοποίησης παρέχουν πληροφορίες για τα κόστη και τους περιορισμούς των τεχνολογικών χαρακτηριστικών για να αναγνωρίσουν την ‘καλύτερη’, τη ‘φθηνότερη’, ή τη ‘βέλτιστη’ τεχνολογία. Ο καταναλωτής υποτίθεται λογικός, και τα ενεργειακά αποθέματα διαμοιράζονται στην ενεργειακή ζήτηση με βάση τα ελάχιστα κόστη κύκλου ζωής κάθε τεχνολογίας. Ενσωματώνοντας έναν περιορισμό στις εκπομπές, ένα μοντέλο βελτιστοποίησης μπορεί να υπολογίσει τα ελάχιστα κόστη επίτευξης ενός στόχου. Τα μοντέλα προσομοίωσης, από την άλλη, είναι σχεδιασμένα να καταγράφουν την τεχνολογική και οικονομική δυναμική όσο πιο ρεαλιστικά γίνεται. Αντί να αναζητούν την φθηνότερη λύση, μοντελοποιούν τις πιο πιθανές αντιδράσεις του συστήματος σε πολιτικές που εισάγονται σε αυτό ως κλονισμοί. Οι παραγωγοί και οι καταναλωτές μπορούν να πραγματοποιήσουν δραστηριότητες παραγωγής και κατανάλωσης με διαφορετικούς στόχους, σε αντίθεση με τα μοντέλα βελτιστοποίησης που συνήθως λειτουργούν από την οπτική ενός αντιπροσωπευτικού, βελτιωτικού αποφασίζοντος. Υπάρχουν πολλά μοντέλα προσομοίωσης διαφορετικού βαθμού επιτήδευσης. Μία σειριακή επαναληπτική διεργασία προσομοίωσης χρησιμοποιείται για την εύρεση ενός συνόλου τιμών και ζήτησης ισορροπίας. Η εφαρμογή μίας πολιτικής επηρεάζει τις τιμές και οι επαναλήψεις συνεχίζονται μέχρι να βρεθεί νέα ισορροπία. Τα αποτελέσματα είναι πολύ ευαίσθητα στη δυναμική και τις τεχνολογίες που υποτίθενται. Μία προσομοίωση, για παράδειγμα, μίας κλιματικής πολιτικής θα οδηγήσει σε πολύ διαφορετικά αποτελέσματα εάν η τεχνολογία ΔΑΑ ή άλλες εναλλακτικές τεχνολογίες εντάσσονται στο σύστημα. Ο Πίνακας 3.8 παρουσιάζει μία επισκόπηση των επιλεγμένων αντιπροσωπευτικών μοντέλων ενεργειακών συστημάτων, μαζί με την συστημική, γεωγραφική και χρονική κάλυψή τους, τη μαθηματική τους δομή και τη μοντελική τους προσέγγιση.

Πίνακας 3.8 Επισκόπηση αντιπροσωπευτικών μοντέλων ενεργειακών συστημάτων.

Μοντέλο	Συστημική κάλυψη	Μαθηματική δομή	Προσέγγιση	Κάλυψη (αριθμός περιοχών)	Περίοδος πρόβλεψης
Calliope	Μερικής ισορροπίας	Βελτιστοποίηση	Από κάτω προς τα πάνω	Εθνική	
DNE21+	Περιορισμένη μακροοικονομική ανάδραση	Βελτιστοποίηση	Οικονομική-μηχανική	Περιφερειακή (77)	2000-2100
EFOM	Μερικής ισορροπίας	Βελτιστοποίηση	Από κάτω προς τα πάνω	Εθνική (Γαλλία)	1974-2020
ERIS	Μερικής ισορροπίας	Βελτιστοποίηση	Από κάτω προς τα πάνω	Περιφερειακή (12)	1990-2050
GENIE	Περιορισμένη μακροοικονομική ανάδραση	Βελτιστοποίηση	Από κάτω προς τα πάνω	Περιφερειακή (4)	1995-2050
GET-LFL	Μερικής ισορροπίας	Βελτιστοποίηση	Από κάτω προς τα πάνω	Παγκόσμια	2000-2050
MARKAL/TIMES	Μερικής ισορροπίας	Βελτιστοποίηση	Από κάτω προς τα πάνω	Περιφερειακή (5)	1990-2050
MEDEE 2	Μερικής ισορροπίας	Προσομοίωση	Από κάτω προς τα πάνω	Εθνική	1990-2040

Μοντέλο	Συστημική κάλυψη	Μαθηματική δομή	Προσέγγιση	Κάλυψη (αριθμός περιοχών)	Περίοδος πρόβλεψης
MESSAGE	Μερικής ισορροπίας	Βελτιστοποίηση	Υβριδική	Περιφερειακή (11)	2005-2100
NEMS	Περιορισμένη μακροοικονομική ανάδραση	Ισορροπία αγοράς	Οικονομική-μηχανική	Εθνική (ΗΠΑ)	2000-2030
POLES	Μερικής ισορροπίας	Ισορροπία αγοράς	Οικονομική-μηχανική	Περιφερειακή (18)	1980-2100
PRIMES	Μερικής ισορροπίας	Ισορροπία αγοράς	Economic-Engineering	Περιφερειακή (Ευρώπη)	2005-2050
WEM	Περιορισμένη μακροοικονομική ανάδραση	Βελτιστοποίηση	Hybrid	Περιφερειακή (25)	2015-2040

Η τεχνολογική σαφήνεια και λεπτομέρεια των μοντέλων αυτών τούς επιτρέπει να εξετάζουν ζητήματα όπως τον τρόπο με τον οποίο μπορούν οι πολιτικές να προάγουν την εμποροποίηση και διάχυση τεχνολογιών, αλλά έχουν επικριθεί για την έλλειψη μικροοικονομικού (ή συμπεριφορικού) ρεαλισμού και μακροοικονομικής πληρότητας (ή αναδράσεων). Σε όρους συμπεριφορικού ρεαλισμού, έχουν επικριθεί ως ιδιαίτερα αισιόδοξα ως προς την κερδοφορία της επίτευξης ενεργειακής αποδοτικότητας από τη διάχυση χαμηλών εκπομπών ή φθηνών τεχνολογιών. Μέρος του προβλήματος οφείλεται στο ότι τα από κάτω προς τα πάνω μοντέλα εστιάζουν περισσότερο στα οικονομικά κόστη, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη βασικούς άλλους παράγοντες όπως υψηλότερα ρίσκα, αόριστα κόστη και μεγαλύτερες περιόδους αποπληρωμής που σχετίζονται με επενδύσεις στην ενεργειακή αποδοτικότητα. Για παράδειγμα, δύο λάμπες που φαινομενικά παρέχουν την ίδια υπηρεσία σε όρους φωτισμού ενδεχομένως διαφέρουν μεταξύ τους σε όρους κινδύνου ή πρόωρης βλάβης, περιόδου αποπληρωμής, σχήματος, απόχρωσης φωτός, ή χρόνου επίτευξης πλήρους έντασης. Αντίστοιχα, ένα λεωφορείο μπορεί να παρέχει την ίδια υπηρεσία μεταφοράς με ένα αυτοκίνητο, όμως ορισμένοι καταναλωτές αντιλαμβάνονται τα μέσα μαζικής μεταφοράς ως λιγότερο άνετα. Με την ενσωμάτωση τέτοιων παραμέτρων εκπροσώπησης της καταναλωτικής συμπεριφοράς, όπως προτιμήσεων χρόνου ή αντιλήψεων κινδύνου, τα μοντέλα θα μπορούν καλύτερα να εξηγήσουν και να προβλέψουν την πιθανή αξιοποίηση και διάχυση νέων τεχνολογιών. Οι Mundaca et al. (2010) ανασκοπούν τα μοντέλα που επιχειρούν να καταγράψουν καλύτερα έναν τέτοιο συμπεριφορικό ρεαλισμό για την ανάλυση πολιτικών ενεργειακής αποδοτικότητας.

Ως επί της ουσίας μοντέλα μερικής ισορροπίας που εστιάζουν στην ενεργειακή κατανάλωση, τα μοντέλα ενεργειακών συστημάτων τείνουν να βρίσκουν σχετικά χαμηλά κόστη μετριασμού γιατί λαμβάνουν υπόψη μόνο τις επιπτώσεις των στρατηγικών μείωσης εκπομπών στα κόστη του ενεργειακού συστήματος, αγνοώντας συνήθως τους βρόχους ανάδρασης και τις διαδράσεις με άλλους τομείς της οικονομίας. Ωστόσο, υπάρχουν και εξαιρέσεις τέτοιων μοντέλων που περιλαμβάνουν βρόχους ανάδρασης (π.χ. Karkatsoulis et al., 2017). Για παράδειγμα, τέτοια μοντέλα υποθέτουν ότι οι επενδύσεις μέσα στον ενεργειακό τομέα μπορούν να χρηματοδοτηθούν με σταθερό επιτόκιο. Μία φιλόδοξη κλιματική πολιτική, όμως, θα οδηγούσε σε απόσβεση των αρχικών κεφαλαίων σε συγκεκριμένους τομείς και ως εκ τούτου σε αλλαγές στην απόδοση των επενδύσεων στον ενεργειακό τομέα καθώς και σε συνακόλουθη ανακατανομή των επενδύσεων σε άλλους τομείς. Τέτοιες δυναμικές επενδύσεων αποτελούν έναν κρίσιμο καθοριστικό παράγοντα των μακροοικονομικών κοστών που ξεφεύγουν από τις αναλύσεις μερικής ισορροπίας. Για τον ίδιο λόγο, τα περισσότερα μοντέλα ενεργειακών συστημάτων τείνουν να παραμελούν τις πιθανές επιπτώσεις αναπήδησης (rebound effects) και τον παραγκωνισμό των επιδράσεων των επενδύσεων (Edenhofer et al., 2006).

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.8, όλα τα ενεργειακά μοντέλα είναι από κάτω προς τα πάνω· εξαιρέσεις περιλαμβάνουν τα υβριδικά μοντέλα (Greening and Bataille, 2009) που επίσης διαθέτουν χαρακτηριστικά προσεγγίσεων από πάνω προς τα κάτω, όπως τα μοντέλα MESSAGE και WEM (Urban et al., 2007), και τα οικονομικά-μηχανικά μοντέλα συγκεκριμένα, τα οποία συνδυάζουν μικροοικονομικά θεμέλια συμπεριφοράς με τεχνολογικές λεπτομέρειες, όπως τα DNE21+, NEMS, POLES και PRIMES. Από μία ευρύτερη άποψη, έχουν υπάρξει πολλοί τρόποι με τους οποίους τα από κάτω προς τα πάνω μοντέλα έχουν εισάγει μακροοικονομικές υπομονάδες, είτε από μοντέλα βέλτιστης ανάπτυξης, είτε από μοντέλα μακροοικονομικά ή γενικής ισορροπίας. Εξαιτίας της τεχνολογικής σαφήνειας των μοντέλων αυτών, οι από πάνω προς τα κάτω αναδράσεις έχουν εστιάσει στην απευθείας ρύθμιση των επιδράσεων στη ζήτηση για προϊόντα και υπηρεσίες που καταναλώνουν ενέργεια, σε ανταπόκριση σε μεταβολές των κοστών αποστολής, αλλά δεν καταγράφουν τις δευτερεύουσες μακροοικονομικές επιπτώσεις, όπως οι μεταβολές στους μισθούς, το κόστος κεφαλαίου, τις συναλλαγματικές ισοτιμίες και τους κυβερνητικούς προϋπολογισμούς, ως αποτέλεσμα των μεταβολών στις τιμές ενέργειας. Όταν οι κυβερνητικές ενεργειακές πολιτικές είναι μετριοπαθείς, δεν είναι πιθανό να έχουν σημαντικές μακροοικονομικές επιπλοκές, όμως καθώς οι πολιτικές γίνονται πιο φιλόδοξες (όπως απαιτούν οι δραστικές μειώσεις εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου ή οι ενεργειακές μεταβάσεις βασισμένες σε ΑΠΕ), οι μακροοικονομικές επιπτώσεις αποτελούν σημαντικό παράγοντα αξιολόγησης των εκβάσεων των πολιτικών (Greening and Bataille, 2009).

Αντίστοιχες προσπάθειες συνδυασμού των διαφορετικών προσεγγίσεων έχουν επιχειρηθεί από ερευνητές που συμμετέχουν στη χρήση από πάνω προς τα κάτω μοντέλων, για τη βελτίωση της τεχνολογικής σαφήνειας των μοντελικών διεργασιών τους. Αυτό πρωτίστως συμβαίνει γιατί τα από πάνω προς τα κάτω μοντέλα παρουσιάζουν την τεχνολογική αλλαγή ως ένα αφηρημένο, αθροιστικό φαινόμενο που μπορεί να είναι επαρκές για την εκτίμηση μέτρων πολιτικής που αφορούν ολόκληρη την οικονομία, όπως οι φόροι και τα δικαιώματα εμπορίας, αλλά δεν δύνανται να μελετήσουν επαρκώς πολιτικές που εστιάζουν στην τεχνολογία. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι ενσωμάτωσης στοιχείων από κάτω προς τα πάνω μοντέλων σε από πάνω προς τα κάτω μοντέλα, αλλά υπάρχουν και περιορισμοί ως προς το πόση τεχνολογική λεπτομέρεια μπορεί να ενσωματωθεί χωρίς να προκύψουν άλλες υπολογιστικές δυσκολίες.

Η διαχείριση της τεχνολογικής αλλαγής και της αβεβαιότητας στα υπό μελέτη μοντέλα ενεργειακών συστημάτων παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.9. Είναι εμφανές ότι υπάρχει ισορροπία μεταξύ των μοντέλων που υπολογίζουν ενδογενώς την τεχνολογική αλλαγή και εκείνων που επιτρέπουν την εξωγενή ρύθμισή της. Από την άλλη, η αβεβαιότητας συνήθως αντιμετωπίζεται κυρίως μέσω ντετερμινιστικών προσεγγίσεων, δηλαδή ανάλυσης σεναρίων και ευαισθησίας, με εξαίρεση το μοντέλο MARKAL/TIMES, το οποίο επίσης αξιοποιεί ανάλυση Monte Carlo (Seebregts et al., 2002). Ομοίως με το μοντέλο GCAM, αυτός είναι και ο βασικός λόγος που το μοντέλο TIMES επιλέχθηκε ανάμεσα στα ενεργειακά μοντέλα ως βάση εφαρμογής του επιστημονικού παραδείγματος σε μία εκ των εφαρμογών (Κεφάλαιο 12) που παρουσιάζονται.

Πίνακας 3.9 Διαχείριση τεχνολογικής αλλαγής και αβεβαιότητας στα επιλεγμένα ενεργειακά μοντέλα.

Μοντέλο	Τεχνολογική αλλαγή		Διαχείριση αβεβαιότητας		Παράγοντες αβεβαιότητας
	Ενδογενής	Εξωγενής	Ντετερμινιστική	Στοχαστική	
DNE21+	✓	✓	ανάλυση σεναρίων		κόστη δυνατών μειώσεων εκπομπών (Akimoto et al., 2010), πολιτική σε ισχύ, φόρος άνθρακα, επίπεδα σταθεροποίησης (Akinoto et al., 2004), ενεργειακή ζήτηση (Yamaji et al., 2000)
EFOM		✓	ανάλυση σεναρίων		στρατηγικές ελαχιστοποίησης κόστους (van der Voort, 1982), ανάπτυξη ενεργειακής ζήτησης (Plinke et al., 1990)
ERIS	✓		ανάλυση σεναρίων· ανάλυση ευαισθησίας	υποκειμενικές πιθανότητες	τεχνολογική εκμάθηση (Kypreos et al., 2000)· συντελεστής απόσβεσης (Barreto and Kyraios, 2004)
GENIE	✓		ανάλυση σεναρίων		προφίλ τεχνολογικών επενδύσεων, πολιτική μετριασμού σε ισχύ (Mattsson and Wene, 1997)
GET-LFL	✓		ανάλυση σεναρίων		επίπεδα σταθεροποίησης εκπομπών, τεχνολογική αλλαγή (Hedenus et al., 2006)
MARKAL/ TIMES	✓	✓	ανάλυση σεναρίων· ανάλυση ευαισθησίας	στοχαστικός προγραμματισμός· Monte Carlo (Seebregts et al., 2002)	προεξοφλητικό επιτόκιο, τιμές ορυκτών καυσίμων, περιορισμοί εκπομπών (Seebregts et al., 2000)· εξωτερικά κόσθη (Rafaj and Kypreos, 2007)
MEDEE 2		✓	ανάλυση σεναρίων		μείγμα πολιτικής (Lapillonne, 1980)
MESSAGE		✓	ανάλυση σεναρίων· ανάλυση ευαισθησίας		προεξοφλητικό επιτόκιο, λειτουργικός χρόνος ανεμογεννητριών, ημερήσιο κόστος μονάδων πυρηνικής ενέργειας (Hainoun et al., 2010)· ζήτηση ηλεκτρισμού, περιορισμοί αερίων θερμοκηπίου (Sullivan et al., 2013)
NEMS		✓	ανάλυση σεναρίων		προφίλ ηλεκτρικού φορτίου (Yu, 2008)
POLES	✓		ανάλυση σεναρίων		κλιματική αλλαγή (Mima and Criqui, 2009), σταθεροποίηση εκπομπών (Kitous et al., 2010)
PRIMES		✓	ανάλυση σεναρίων		μείωση εκπομπών CO ₂ (Capros et al., 1999), κλίμακα κλιματικής δράσης, καθυστέρηση κλιματικής δράσης, καθυστέρηση τεχνολογικής διάχυσης (Capros et al., 2012)
WEM		✓	ανάλυση σεναρίων		μείγμα πολιτικής (Kesicki and Yanagisawa, 2015)

Υπάρχει μεγάλος αριθμός γενικών ανασκοπήσεων των υφιστάμενων ενεργειακών μοντέλων (π.χ. Worrell et al., 2004· και Jebaraj and Iniyar, 2006), ενώ οι Mundaca et al. (2010) πραγματοποιούν μία ανασκόπηση των μοντέλων με ειδικότερη έμφαση στην ενεργειακή αποδοτικότητα, ορίζοντας επίσης μία ξεχωριστή κατηγορία μοντέλων, τα 'λογιστικά μοντέλα'.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα ενεργειακά μοντέλα μπορούν να θεωρηθούν ως μία διατομεακή κατηγορία μοντέλων με βάση το έως τώρα σχήμα ταξινόμησης, από μοντέλα μερικής ισορροπίας έως νεοκλασικά μοντέλα. Επί της ουσίας, πρόκειται για μοντέλα μερικής ισορροπίας που υποθέτουν ισορροπία σε έναν συγκεκριμένο τομέα, τον ενεργειακό. Η κατηγορία αυτή, όμως, περιλαμβάνει και μοντέλα με χαρακτηριστικά άλλων προσεγγίσεων και δομών, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.8. Για παράδειγμα, το GET-LFL είναι ένα ενεργειακό μοντέλο που μπορεί να ταξινομηθεί ως MOA ελαχιστοποίησης κόστους (Wei et al., 2015). Το ίδιο ισχύει και για τα DNE21+, MIND και MESSAGE (Stanton et al., 2009). Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι τα ενεργειακά μοντέλα δεν εστιάζουν αμιγώς στον ενεργειακό τομέα αλλά σε όλους τους οικονομικούς τομείς που καταναλώνουν ενέργεια. Για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται επίσης σε μελέτες που προσανατολίζονται στον τομέα μεταφορών (π.χ. Siskos et al., 2015), ο οποίος είναι υπεύθυνος για περίπου το 25% των σχετικών με την ενέργεια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σήμερα και θεωρείται ως ο λιγότερο ευέλικτος τομέας του ενεργειακού συστήματος, αναφορικά με τις βαθιές μειώσεις εκπομπών που απαιτούνται στο μέλλον (π.χ. Hickman et al., 2010).

3.7 Μακροοικονομετρικά μοντέλα

Τα θέματα περιβαλλοντικής πολιτικής των δεκαετιών του 1980 και 1990 ώθησαν την ανάπτυξη μοντέλων γενικής ισορροπίας, όπως το GREEN του ΟΟΣΑ, ενώ στην Ευρώπη σημειώθηκε παράλληλη ανάπτυξη του μοντέλου γενικής ισορροπίας GEM-E3, καθώς και του οικονομετρικού Εισόδου-Εξόδου (ή μακροοικονομετρικού) μοντέλου E3ME, το οποίο ενσωμάτωσε την ενέργεια και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στο οικονομικό μοντέλο. Το μοντέλο αυτό, ως πολυτομεακό μοντέλο ενέργειας-περιβάλλοντος-οικονομίας σε ευρωπαϊκό επίπεδο, μαζί με τις παραλλαγές του, παραμένει ένα από τα πιο προεξέχοντα μακροοικονομετρικά μοντέλα για την ανάλυση κλιματικής πολιτικής και των διαδράσεων κλίματος-οικονομίας. Το E3MG είναι ένα παρόμοιο μοντέλο που εστιάζει στο παγκόσμιο επίπεδο, όπως και το Oxford Global Macroeconomic and Energy Model, ενώ το MDM-E3 εστιάζει στη βρετανική οικονομία (Πίνακας 3.10).

Πίνακας 3.10 Λεπτομερής επισκόπηση χαρακτηριστικών των κυριότερων μακροοικονομετρικών MOA.

Μοντέλο	E3ME	E3MG	MDM-E3	Oxford Macroeconomic and Energy Model	Global and Energy Model
Προσέγγιση	υβριδική (Cambridge Econometrics, 2014): από πάνω προς τα κάτω (ενέργεια)· από κάτω προς τα πάνω (παροχή ηλεκτρισμού)	υβριδική (Barker and Scricciu, 2010): από πάνω προς τα κάτω (διαδράσεις, αναδράσεις και επιπτώσεις μεταξύ απαιτούμενων επενδύσεων και των επιπτώσεων στην υπόλοιπη οικονομία)· από κάτω προς τα πάνω (μοντέλο ενεργειακής τεχνολογίας)	υβριδική (Barker et al., 2007): από πάνω προς τα κάτω· από κάτω προς τα πάνω (λιγότερο λεπτομερές μοντέλο ηλεκτρισμού, μοντέλο ενεργειακής τεχνολογίας)	από πάνω προς τα κάτω	
Κάλυψη (αριθμός περιοχών)	Παγκόσμια (59)	Παγκόσμια (20)	Εθνική	Παγκόσμια (22)	

Μοντέλο	E3ME	E3MG	MDM-E3	Oxford Macroeconomic and Energy Model	Global
Περίοδος πρόβλεψης	1990-2100	1971-2100	έως 2030	2005-2020	
Τεχνολογική αλλαγή	Ενδογενής	Ενδογενής	Εξωγενής	Εξωγενής	
Διαχείριση αβεβαιότητας	Ντετερμινιστική (ανάλυση σεναρίων)· στοχαστική (πιθανοτική ανάλυση)	Ντετερμινιστική (ανάλυση σεναρίων)· στοχαστική (πιθανοτική ανάλυση)	Ντετερμινιστική (ανάλυση σεναρίων)	Ντετερμινιστική (ανάλυση σεναρίων)	
Παράγοντες αβεβαιότητας	Όλες οι παράμετροι (Mercure et al., 2017)· επίπεδο συντονισμού δημοσιονομικών πολιτικών (Barker, 1998· Barker, 1999)	Μείγμα πολιτικής, πολιτικές άνθρακα, νέες επενδύσεις, δομή συστήματος εμπορίας εκπομπών (Barker et al., 2012)· επίπεδα τεχνολογικής διείσδυσης (Dagoumas and Barker, 2010)	Μείγμα πολιτικής (Barker et al., 2007· Ekins and Etheridge, 2006)	Μείγμα πολιτικής, δομή συστήματος εμπορίας εκπομπών (Cooper et al., 1999)	

Τα μακροοικονομετρικά μοντέλα είναι «ολοκληρωμένα» ή υβριδικά, ως προς το ότι συνδυάζουν από πάνω προς τα κάτω μακροοικονομικά μοντέλα με μοντέλα ενεργειακών συστημάτων. Ο σκοπός της ολοκλήρωσης των δύο μοντελικών τύπων είναι η παροχή μίας δυναμικής, μη γραμμικής εικόνας της οικονομικής αλλαγής σε ένα λεπτομερές δια-βιομηχανικό πλαίσιο (West, 2002). Ενώ τα στατικά μοντέλα μπορούν να υπολογίσουν μακροπρόθεσμες συγκρίσιμες λύσεις ισορροπίας, τα μακροοικονομετρικά μοντέλα μπορούν να καταγράψουν το χρονικό μονοπάτι της οικονομίας μέσω βραχυπρόθεσμων ρυθμίσεων ανισορροπίας. Τα μοντέλα αυτά ενσωματώνουν εξισώσεις που καταγράφουν την τροχιά των εθνικών οικονομικών πληροφοριών καθώς και άλλων σχετικών υπομονάδων οικονομικής δραστηριότητας όπως η εργασία, οι αποταμιεύσεις και η κατανάλωση. Αυτές οι εξισώσεις υπολογίζονται οικονομικά. Το αθροιστικό δυναμικό παραγωγής συνήθως προσομοιώνεται ως συνάρτηση των αθροιστικών εισόδων κεφαλαίου και εργασίας, και ορισμένες φορές ενέργειας και υλικών. Οι συναλλαγές μεταξύ οικονομικών τομέων περιγράφονται με μοντέλα εισόδου-εξόδου, ενώ οι συναρτήσεις αθροιστικής τομεακής ζήτησης υπολογίζονται με βάση ιστορικά δεδομένα, π.χ. για ενεργειακές υπηρεσίες και σίτιση, επιτρέποντας προβλέψεις μελλοντικών τάσεων σε απόκριση σε έναν φόρο άνθρακα ή άλλες κλιματικές πολιτικές. Η ακρίβεια αυτών των προβλέψεων εξαρτάται από τον βαθμό στον οποίο οι ιστορικές αλλαγές, π.χ. οι τεχνολογικές αλλαγές που εισάγονται από παλαιότερες μεταβολές τιμών, μπορούν να θεωρηθούν καλή ένδειξη των μελλοντικών αλλαγών.

Αντίθετα από τα μοντέλα γενικής ισορροπίας και βέλτιστης ανάπτυξης, τα μακροοικονομετρικά μοντέλα δεν υποθέτουν ότι οι αγορές ισορροπούν βραχυπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα, ούτε ότι η ζήτηση και η προσφορά προέρχονται από τη βελτιωτική συμπεριφορά των καταναλωτών και των παραγωγών. Είναι μοντέλα ανισορροπίας με τη ζήτηση και την προσφορά να προσεγγίζουν την ισορροπία μακροπρόθεσμα. Επειδή δεν αποτελούνται από παράγοντες με βελτιωτική συμπεριφορά ή έναν 'κεντρικό σχεδιαστή', χαρακτηρίζονται ως μοντέλα προσομοίωσης που προσεγγίζουν τις δυναμικές του πραγματικού κόσμου. Οι υπομονάδες της οικονομίας και της ενέργειας περιγράφονται από ένα σύνολο κανόνων που δεν χρειάζεται να οδηγηθούν σε πλήρη ισορροπία. Ορισμένα μακροοικονομετρικά μοντέλα επίσης ενσωματώνουν διαρθρωτική ανεργία ως αποτέλεσμα της ανεπαρκούς ζήτησης για εργασία μακροπρόθεσμα (Hourcade et al., 1996). Τα μοντέλα γενικής

ισορροπίας συνήθως υποθέτουν ότι δεν υπάρχει ανεργία ή ότι η αγορά εργασίας βρίσκεται σε ισορροπία. Το μετακεϋνσιανό μακροοικονομικό μοντέλο Ε3ΜΕ υπολογίζει την εργασία με διάφορες εξισώσεις, π.χ. οι ώρες εργασίας υπολογίζονται για άνδρες και γυναίκες, διαφορετικών ηλικιών και τομέων, επιτρέποντας στο μοντέλο να προβλέψει εργαζόμενους πλήρους και ημι-απασχόλησης. Επομένως, η ανισορροπία στην αγορά εργασίας και την ανεργία είναι χαρακτηριστικό του μοντέλου αυτού. Για τον λόγο αυτό, συχνά θεωρείται ότι τα μοντέλα γενικής ισορροπίας είναι καταλληλότερα για την περιγραφή μακροπρόθεσμης, σταθερής κατάστασης συμπεριφοράς ενώ τα μακροοικονομικά μοντέλα είναι καταλληλότερα για την πρόβλεψη βραχυπρόθεσμων αποτελεσμάτων. Η παράλληλη ανάπτυξη αυτών των πολύ διαφορετικών μοντέλων έχει καλλιεργήσει ένα πλαίσιο έντονων διαφωνιών μεταξύ των μοντελικών κοινοτήτων των δύο προσεγγίσεων (π.χ. [Grassini, 2009](#)). Ο [Robinson \(2006\)](#) καταγράφει το ιστορικό της τριβής μεταξύ των μακροοικονομικών μοντέλων και των μοντέλων γενικής ισορροπίας καθώς και τις θεωρητικές δυσκολίες συμβιβασμού των δύο προσεγγίσεων. Οι [Kratena and Streicher \(2009\)](#), από την άλλη, επιχειρούν να αναγνωρίσουν τα βασικά χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τις δύο προσεγγίσεις και ισχυρίζονται ότι η απόσταση μεταξύ τους είναι πολύ μικρότερη από αυτήν που συχνά υποτίθεται.

Ένα από τα μοντελικά χαρακτηριστικά που συχνά ξεχώριζε το Ε3ΜΕ από τα υπόλοιπα από πάνω προς τα κάτω μοντέλα είναι ότι δύναται να καταλήξει σε αρνητικά κόστη, δηλαδή στο ότι η εφαρμογή κλιματικών πολιτικών μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση στην απασχόληση και την παραγωγή. Εφόσον η διαρθρωτική ανεργία είναι επίσης πιθανή σε αυτό το μοντέλο, μία μετάβαση σε μία οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα μπορεί δυνητικά να ενισχύσει την ζήτηση για εργασία, μειώνοντας τις απώλειες παραγωγής. Στο μοντέλο Ε3ΜG, όπου η αγορά εργασίας και άλλες αγορές ενδέχεται να μην έρχονται σε ισορροπία, μία από τις επιπτώσεις της εξωγενούς τεχνολογικής αλλαγής λόγω κλιματικών πολιτικών είναι η ανάπτυξη μέσω της αυξημένης μετάβασης της εργασίας από παραδοσιακούς σε σύγχρονους οικονομικούς τομείς ([Edenhofer et al., 2006](#)).

Καθώς αρκετά μοντέλα γενικής ισορροπίας υποθέτουν ότι η οικονομία βρίσκεται πάντα σε βέλτιστο σημείο, συμπεριλαμβανομένης της πλήρους απασχόλησης, οποιοδήποτε περιορισμοί λόγω κλιματικών πολιτικών μπορούν μόνο να καταλήξουν σε επιπλέον κόστη για την οικονομία. Με τον τρόπο αυτό, δεν παρέχουν τη δυνατότητα στις κλιματικές πολιτικές να μειώσουν τις ατέλειες της αγοράς ως παράπλευρο όφελος.

3.8 Άλλα μοντέλα ολοκληρωμένης αποτίμησης

Τα μοντέλα βέλτιστης ανάπτυξης και γενικής ισορροπίας βασίζονται σε μία συγκεκριμένη καθιερωμένη θεωρία, με αποτέλεσμα τα περισσότερα μοντέλα να θεωρούνται παραλλαγές (αν και συχνά με πολύ μεγάλες διαφοροποιήσεις) ενός θέματος και οι συγκρίσεις να θεωρούνται πιο εφικτές. Η ενότητα αυτή παρουσιάζει μοντέλα που δύσκολα κατατάσσονται σε μία εκ των άλλων κατηγοριών και αναλύει ένα γνωστό μη γενικής ισορροπίας μοντέλο, το PAGE2002, ως αντιπροσωπευτικό του είδους των πιθανών διαφοροποιήσεων από την καθιερωμένη νεοκλασική, μακροοικονομική ή γενικής ισορροπίας οδό ([Πίνακας 3.11](#)).

Πίνακας 3.11 Επισκόπηση των αντιπροσωπευτικών ΜΟΑ που δεν εντάσσονται στις υπόλοιπες κατηγορίες.

Μοντέλο	Προσέγγιση	Κάλυψη (αριθμός περιοχών)	Περίοδος πρόβλεψης	Ζημία Συνάρτηση ζημίας	Πηγή
CIAS	από πάνω προς τα κάτω	Παγκόσμια(20)	2000-2100	Καμία συνάρτηση ζημίας: ολιστική αποτίμηση των ζημιών λόγω κλιματικής αλλαγής.	(Schellnhuber et al., 2003)
FUND	από κάτω προς τα πάνω ή από πάνω προς τα κάτω	Παγκόσμια (16)	1950-2300	Η ζημία στο FUND διαχωρίζεται σε επιπτώσεις αγοράς και μη: τα πρώτα αφορούν την επένδυση (οικονομική ανάπτυξη) and την κατανάλωση (ευημερία). Η υποεπένδυση κόστους ζημίας ανά τομέα παρουσιάζεται λεπτομερώς από τους Ortiz and Markandya (2009), ενώ υπάρχουν στη βιβλιογραφία και διαφορετικές συναρτήσεις ζημίας (Anthoff et al., 2009· Narita et al., 2009· Tol, 2002).	(Ortiz and Markandya, 2009) (Anthoff et al., 2009) (Narita et al., 2009) (Tol, 2002)
ICAM-3	από κάτω προς τα πάνω	Περιφερειακή (11)	1975-2100	$D = a.A + \gamma.G + \lambda.L(a, \gamma)$ <p>a, β, γ comprise the policy choice,</p> <p>G is the vector of the costs of various geoengineering activities,</p> <p>L is the vector of losses (e.g. GDP), and λ the projection of the losses.</p>	(Dowlatabadi, 1998)
IGSM2	από πάνω προς τα κάτω	Παγκόσμια	2000-2100	Καμία συνάρτηση ζημίας: το IGSM2, με την υποεπένδυση ανθρώπινων συστημάτων, συναποτελούν το μοντέλο γενικής ισορροπίας MIT-EPPA	
IMAGE 2.4	από πάνω προς τα κάτω	Παγκόσμια (26)	2000-2100	$Y_t = A.K_t^a .L_t^{1-a}$ <p>Y is GDP, K is capital, L is labor, a is elasticity of production,</p> <p>$K_{t+1} = K_t - \eta.K_t + I_t$, η is depreciation, I is investment</p>	(Bouwman et al., 2006)

Μοντέλο	Προσέγγιση	Κάλυψη (αριθμός περιοχών)	Περίοδος πρόβλεψης	Ζημία Συνάρτηση ζημίας	Πηγή
PAGE2002	από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (8)	2000-2200	$D_t = \frac{T_{pret}^{pow}}{2,5} \cdot W + (T_{pret} - T_{dis}) P_{dis} \cdot W_{dis}$ <p><i>D_t</i> is damage as a percentage of GDP, <i>T_{pre}</i> is global temp above the pre-industrial age, <i>T_{dis}</i> is global temperature where is chance of discontinuity, <i>P_{dis}</i> is parameter positively related of a discontinuity, <i>W</i> is GDP lost for a 2,5 C warming</p>	(Hof et al., 2008)
PAGE09	από πάνω προς τα κάτω	Περιφερειακή (8)	2000-2200	$D = a \cdot \frac{T_{act}^\beta}{T_{cal}}$ <p>where <i>D</i> is damage, <i>a</i> is damage at calibration temp, <i>T_{cal}</i> is calibration temp, <i>T_{act}</i> is actual temp rise, <i>β</i> is damage exponent</p>	(Pycroft et al., 2011)

Το μοντέλο PAGE2002 κέρδισε ιδιαίτερη προσοχή πρόσφατα επειδή αποτέλεσε το από πάνω προς τα κάτω μοντέλο της ερευνητικής ομάδας του Stern, για τις περίφημες αθροιστικές ζημίες της κλιματικής αλλαγής. Ένα από τα προτερήματά του υπήρξε η κεντρική εστίαση του μοντέλου στην αβεβαιότητα πολλών εκ των παραμέτρων κλίματος-οικονομίας. Το PAGE αναπτύχθηκε ως υπολογιστικό μοντέλο προσομοίωσης το 1992 για την υποστήριξη αποφάσεων στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή, και σχεδιάστηκε αποκλειστικά για να είναι περιεκτικό αλλά προσιτό στους φορείς χάραξης πολιτικής με τις απλούστερες αξιόπιστες συναρτησιακές μορφές (Hope et al., 1993), ώστε να είναι διαφανές αλλά και ικανό να τρέξει γρήγορα και επανειλημμένα, χρησιμοποιώντας ένα τυχαίο δείγμα αβέβαιων παραμέτρων εισόδου (Plambeck et al., 1997). Τα ΜΟΑ συνήθως δέχονται επικρίσεις επειδή είναι τόσο σύνθετα και αδιαφανή ('μαύρα κουτιά') που είναι δύσκολο να παρακολουθήσει κανείς πώς οι διάφορες υποκείμενες υποθέσεις επηρεάζουν τα μοντελικά αποτελέσματα. Η χρήση απλών εξισώσεων για την καταγραφή σύνθετων κλιματικών και οικονομικών φαινομένων δικαιολογείται, επειδή τα αποτελέσματα του PAGE προσεγγίζουν αυτά των πλέον σύνθετων κλιματικών προσομοιώσεων και όλες οι όψεις της κλιματικής αλλαγής υπόκεινται σε βαθιά αβεβαιότητα (Hope, 2006). Η αβεβαιότητα αποτελεί πολύ βασικό κομμάτι του μοντέλου, το οποίο καταλήγει σε στοχαστικές κατανομές των αποτελεσμάτων, εκπροσωπώντας τις βασικές εισόδους στις οριακές επιπτώσεις με πιθανοτικές κατανομές. Αυτό αφορά τα αποτελέσματα σχετικά με την άνοδο της θερμοκρασίας, τις ζημίες της κλιματικής αλλαγής και τα κόστη προσαρμογής και μετριασμού. Με τον τρόπο αυτό, υποστηρίζονται οι αποφασίζοντες στη διενέργεια αναλύσεων ρίσκου, έτσι ώστε να επιλέγουν μία πολιτική που εξισορροπεί το κόστος παρέμβασης με το όφελος μετριασμού των πιθανών κλιματικών επιπτώσεων (Plambeck et al., 1997).

Ορισμένες εξισώσεις του μοντέλου PAGE2002 εστιάζουν στον προσδιορισμό της ανόδου της θερμοκρασίας από τις υπερβολικές συγκεντρώσεις καθενός εκ των αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες (Hope, 2006). Το μοντέλο δεν διαθέτει οικονομική υπομονάδα· η οικονομική πλευρά του μοντέλου περιορίζεται σε ορισμένες εξισώσεις που συνδέουν τις αγοραίες και μη ζημίες με τις θερμοκρασιακές αυξήσεις, και υπολογίζουν τα κόστη της αποφυγής ή του μετριασμού αυτών των ζημιών μέσω της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή ή της μείωσης των εκπομπών. Για τον υπολογισμό των ζημιών που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή, οι συνολικές ζημίες αποτελούν απλώς ένα άθροισμα των ζημιών στους επιμέρους τομείς. Έτσι, δεν υπάρχει κάποιου γενικής ισορροπίας τύπου υπολογισμός για τις πολλές πιθανές διαδράσεις μεταξύ των τομέων. Παρότι έχει υποτεθεί ότι αυτό οδηγεί σε χαμηλότερες εκτιμήσεις των συνολικών ζημιών από αυτές που υπολογίζονται σε ένα μοντέλο που καταγράφει τις διαδράσεις, είναι δύσκολο να κατανοηθεί η κλίμακα της διαφοράς. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής υποτίθενται να εμφανίζονται εάν ο ρυθμός ανόδου της θερμοκρασίας ξεπερνάει ένα προκαθορισμένο κατώφλι ρυθμού αλλαγής ή επιπέδου θερμοκρασίας. Αυτοί οι ρυθμοί και τα επίπεδα ποικίλλουν ανάλογα με την περιοχή και ένας περιφερειακός πολλαπλασιαστής καταγράφει αυτές τις διαφορές. Οι πολιτικές προσαρμογής σε έναν οποιονδήποτε χρόνο μπορούν να αυξήσουν το κατώφλι αυτό. Οι περιφερειακές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι επομένως μία συνάρτηση της περιφερειακής θερμοκρασιακής ανόδου και του μέρους του ρυθμού ανόδου που υπερβαίνει τα κατώφλια, τα οποία επίσης εξαρτώνται από την υπό εξέταση πολιτική. Στη συνέχεια, η περιφερειακή άνοδος της θερμοκρασίας μεταφράζεται σε χρηματική ζημία, μέσω του πολλαπλασιασμού του άνω του κατωφλίου ρυθμού περιφερειακής θερμοκρασιακής ανόδου με ένα σταθμισμένο ποσοστό της ζημίας σε ΑΕΠ (βάσει εκτιμήσεων) επί το υπολογισμένο ΑΕΠ της περιοχής. Αυτό γίνεται για όλες τις οκτώ περιοχές του μοντέλου, για αγοραίους και μη τομείς, και για κάθε χρονική περίοδο. Προσθέτοντας τις επιμέρους ζημίες, το μοντέλο βρίσκει τις συνολικές ζημίες ανά περιοχή και ανά περίοδο, οι οποίες προεξοφλούνται με δυναμικά επιτόκια για την εύρεση της καθαρής παρούσας αξίας.

Τα κόστη προσαρμογής εξαρτώνται από την αλλαγή στα κατώφλια που προκαλείται από την πολιτική προσαρμογής σε κάθε περιοχή. Με κατάλληλη απόδοση βαρών και χρήση αβέβαιων παραμέτρων, η καθαρή παρούσα αξία των κοστών μπορεί να υπολογιστεί για διαφορετικές περιφερειακές στρατηγικές προσαρμογής. Τα κόστη αποφυγής (μετριασμού) της κλιματικής αλλαγής βασίζονται σε εκτιμήσεις των εκπομπών που μειώνονται κάτω από τα επίπεδα διατήρησης της υφιστάμενης κατάστασης και επίσης σταθμίζονται ανά περιοχή και προεξοφλούνται ανά περίοδο. Μόνο τα άμεσα κόστη αποφυγής εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου περιλαμβάνονται στο μοντέλο, παρότι δευτερεύοντα πλεονεκτήματα (όπως η συνακόλουθη μείωση της ατμοσφαιρικής μόλυνσης) μπορούν να ενσωματωθούν μέσω της μείωσης των παραμέτρων των αντίστοιχων κοστών. Σε πολλές από τις εξισώσεις του μοντέλου, ορισμένες παράμετροι χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της αβεβαιότητας, π.χ. της αβεβαιότητας για τη μελλοντική ανάπτυξη ή πολιτική. Στο PAGE2002, υπάρχουν περίπου 80 παράμετροι αβεβαιότητας, ανάλογα με τις περιοχές και τους τομείς που χρησιμοποιούνται.

Στον βαθμό που μία συγκριτική ανάλυση των μοντέλων που εμπίπτουν σε αυτήν την κατηγορία, δηλαδή εκείνων που δεν ταξινομούνται σε καμία εκ των προηγούμενων πέντε κλάσεων, ο Πίνακας 3.12 παρουσιάζει πώς τα μοντέλα αυτά διαχειρίζονται την αβεβαιότητα και την τεχνολογική αλλαγή.

Πίνακας 3.12 Διαχείριση τεχνολογικής αλλαγής και αβεβαιότητας στα άλλα MOA.

Μοντέλο	Τεχνολογική αλλαγή		Διαχείριση αβεβαιότητας		Παράγοντες αβεβαιότητας
	Ενδογενής	Εξωγενής	Ντετερμινιστική	Στοχαστική	
CIAS	✓		ανάλυση σεναρίων (Warren et al., 2008)		επίπεδα σταθεροποίησης εκπομπών (Warren et al., 2012)
FUND		✓	ανάλυση σεναρίων	Monte Carlo	μείγμα μείωσης εκπομπών (Tol, 2006)· κλιματικές ζημιές (Ackerman and Munitz, 2012)
ICAM-3	✓	✓	ανάλυση σεναρίων· ανάλυση ευαισθησίας	πιθανοτικές κατανομές	καθυστέρηση κλιματικής δράσης, εμπειρία με τεχνολογίες ελέγχου, περισσότερες από 2,000 στοχαστικές παράμετροι σχετικές με τα μονοπάτια που ακολουθούνται, τις δημογραφικές τάσεις, την οικονομική δραστηριότητα, τους πόρους και τις τιμές των ορυκτών και μη καυσίμων, την ενεργειακή ένταση της οικονομικής δραστηριότητας, κλπ. (Dowlatabadi, 1998)
IGSM2		✓	ανάλυση σεναρίων	Monte Carlo	μείγμα μειώσεων εκπομπών, μείγμα πολιτικής (Reilly et al., 2006)· κλιματικές παράμετροι, ανθρωπογενείς εκπομπές (Webster et al., 2003), κλιματικές αποκρίσεις (Webster et al., 2012)
IMAGE 2.4		✓	ανάλυση σεναρίων· ανάλυση ευαισθησίας	Monte Carlo	διατροφικές παραλλαγές, παραλλαγές περιόδου ανάκαμψης φυσικής βλάστησης (Stehfest et al., 2009)· μεγάλος αριθμός παραμέτρων εισόδου (van Vuuren, 2007)
PAGE2002	✓		ανάλυση σεναρίων	πιθανοτικές κατανομές· Latin Hypercube Sampling	επίπεδα σταθεροποίησης εκπομπών (Hope, 2008)· περισσότερες από 80 παράμετροι εισόδου, ανάλογα με τον αριθμό των τομέων και γεωγραφικών περιοχών που επιλέγονται (Hope, 2006)

Μοντέλο	Τεχνολογική αλλαγή		Διαχείριση αβεβαιότητας		Παράγοντες αβεβαιότητας
	Ενδογενής	Εξωγενής	Ντετερμινιστική	Στοχαστική	
PAGE09	✓		ανάλυση σεναρίων· ανάλυση ευαισθησίας	πιθανοτικές κατανομές· Latin Hypercube Sampling	επίπεδα σταθεροποίησης εκπομπών (Hope, 2011)· κλιματική ευαισθησία, προεξοφλητικό επιτόκιο (Pycroft et al., 2011)

Μία βασική διαφορά μεταξύ των μοντέλων αυτών και των μοντέλων άλλων κατηγοριών έγκειται στη διαχείριση των αβέβαιων παραμέτρων. Με την εξαίρεση του μοντέλου CIAS, όλα τα άλλα μοντέλα διαθέτουν τη δυνατότητα στοχαστικής προσέγγισης της αβεβαιότητας, μέσω Monte Carlo στα FUND (Ackerman and Munitz, 2012), IGSM2 (Webster et al., 2003· Webster et al., 2012) και IMAGE (van Vuuren, 2007), και πιθανοτικών κατανομών στο ICAM-3 (π.χ. Dowlatabadi, 1998). Το PAGE, όπως έχει συζητηθεί παραπάνω, ενσωματώνει πιθανοτικές κατανομές για τη διαχείριση ενός μεγάλου αριθμού αβέβαιων παραμέτρων καθώς και τη στοχαστική μέθοδο λήψης δείγματος Latin Hypercube Sampling, όποτε αυτή προτιμήθηκε έναντι της Monte Carlo.

3.9 Συμπεράσματα

Το παρόν κεφάλαιο επιχείρησε να σκιαγραφήσει ευρέως τα βασικά χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τα εναλλακτικά πλαίσια μοντελοποίησης κλίματος-οικονομίας. Ο βασικός σκοπός του υπήρξε να παρέχει μία απλή επισκόπηση και ένα οργανωτικό σχήμα ενός πολύπλοκου πεδίου, αυτού των MOA. Αντί να παρέχει σύντομες περιγραφές ενός μεγάλου δείγματος μοντέλων κλίματος-οικονομίας, η ενότητα επιχείρησε να συνοψίσει τα κύρια χαρακτηριστικά ενός μικρού αριθμού διαφορετικών μοντελικών κλάσεων, καθώς και να εξερευνήσει βασικές πτυχές της μοντελικής προσέγγισης, δομής, κάλυψης και τρόπων διαχείρισης της αβεβαιότητας και της τεχνολογικής αλλαγής. Επίσης, δεν επιχειρήθηκε η θεώρηση ή σύγκριση αποτελεσμάτων από διαφορετικά μοντέλα· υπάρχουν ήδη πολλές καλές μελέτες που ανασκοπούν και συγκρίνουν μοντελικά αποτελέσματα και λαμβάνουν υπόψιν πώς αυτές οι διαφορές εξηγούνται, είτε λόγω χαρακτηριστικών των μοντέλων είτε λόγω των υποθέσεων που ενσωματώνονται σε αυτά. Το πλαίσιο μοντελοποίησης δύναται να επηρεάσει σημαντικά το αποτέλεσμα. Οι Lanz and Rausch (2011) καταγράφουν συστηματικές διαφορές των αποτελεσμάτων που προέρχονται από μοντέλα γενικής ισορροπίας και ενεργειακών συστημάτων. Αντίθετα, οι Edenhofner et al. (2006) προτείνουν ότι οι υποκείμενες διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων δεν οφείλονται απαραίτητα στους διαφορετικούς τύπους μοντέλων, αλλά στις υποθέσεις που συχνά γίνονται από τους ερευνητές που εργάζονται με διαφορετικούς τύπους μοντέλων. Ο διαχωρισμός μεταξύ του τύπου και των υποθέσεων ενός μοντέλου ενδεχομένως είναι ασαφής και ένα πραγματικά καλύτερο επίπεδο κατανόησης της μοντελοποίησης κλίματος-οικονομίας απαιτεί μία λεπτομερή κατανόηση του ρόλου των πολλαπλών υποθέσεων που ρητά ή εμμέσως ενσωματώνονται στα μοντέλα. Διάφορες ανασκοπήσεις στη βιβλιογραφία εστιάζουν, μεταξύ άλλων, σε συγκρίσεις του ρόλου των εκάστοτε υποθέσεων (π.χ.. Stanton et al., 2009· Söderholm, 2007).

Πρέπει να τονισθεί ότι αρκετά μοντέλα κλίματος-οικονομίας δεν δύνανται να ταξινομηθούν εύκολα σε οποιαδήποτε από τις ευρείες κλάσεις που παρουσιάζονται εδώ. Επίσης, με την τάση των ερευνητών που εμπλέκονται στην ανάπτυξη ή χρήση μοντέλων να αναπτύσσουν διαρκώς και να βελτιώνουν τα μοντέλα τους, οι διαφορές τους είναι ακόμη πιο δυσδιάκριτες. Η ποικιλομορφία των μοντέλων έχει πολλαπλές

πηγές. Η επιλογή ή σχεδίαση ενός μοντέλου μπορεί να οδηγείται από διαφορετικές υποκείμενες ερευνητικές ερωτήσεις, όπως εάν η εστίαση γίνεται στον υπολογισμό του κόστους μετριασμού εκπομπών ή στις μακροπρόθεσμες κλιματικές ζημιές, ή εάν κάποιος ενδιαφέρεται να συγκρίνει δύο πολιτικές ή να καθορίσει ένα συνολικό βέλτιστο στόχο παγκόσμιας κλιματικής πολιτικής. Εάν η εστίαση πραγματοποιείται στην κατανόηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε μία εθνική οικονομία, ένα πιο λεπτομερές πολύ-τομεακό μοντέλο μπορεί να είναι πιο κατανοητό από ένα μοντέλο μεγιστοποίησης της ευημερίας που αντιμετωπίζει την οικονομία σαν έναν αντιπροσωπευτικό τομέα πλην όμως καταγράφει τη μακροπρόθεσμη παγκόσμια τροχιά της διεθνούς οικονομίας. Οι διαφορές ίσως αντικατοπτρίζουν τις βαθύτερες θεωρητικές συζητήσεις, σε σχέση με το αν για παράδειγμα έχει νόημα να υποτίθενται αγορές που λειτουργούν τέλεια όταν ο σκοπός είναι η μοντελοποίηση της κλιματικής αλλαγής, η οποία είναι το μεγαλύτερο παράδειγμα αγοραίας αστοχίας που επεκτείνεται σε τόσα πολλά μέρη της οικονομίας και σε μία δίχως προηγούμενο κλίμακα. Αυτός είναι και ο λόγος που η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματεύεται ένα νέο επιστημονικό υπόδειγμα, το οποίο προτείνει τη χρήση μοντελικών συνόλων που δίνουν έμφαση στις διαφορές στη δομή, το σχέδιο και τα θεωρητικά θεμέλια των μοντέλων, προκειμένου να καταλήξουμε σε πιο πλήρεις πληροφορίες (Doukas et al., 2018) και να ενημερώνουμε ουσιαστικά τις διεργασίες πολιτικής. Και, ακόμη και τέτοιες προσεγγίσεις μπορεί να χάσουν θεμελιώδεις πτυχές που μπορούν να διερευνηθούν μόνο με τη βοήθεια εμπειρογνομόνων (Nikas et al., 2017). Αυτές οι διαφορές μπορούν επίσης να είναι αποτέλεσμα της ανάγκης να καταγραφεί ένα προεξέχον ζήτημα της κλιματικής αλλαγής, η αβεβαιότητα.

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι αυτές και πολλές ακόμη αιτίες της ποικιλομορφίας των μοντέλων θα συνεχίσουν να καθοδηγούν την ανάπτυξη νέων και τη βελτίωση υφιστάμενων μοντέλων. Παρότι η ενότητα αυτή έχει μόλις αγγίξει την επιφάνεια του χώρου της μοντελοποίησης ολοκληρωμένης αποτίμησης, το ακόλουθο απόφθεγμα αποτελεί τον κατάλληλο επίλογο για τις σπουδαίες αναλυτικές προκλήσεις που εγείρονται από την ανάγκη μας να κατανοήσουμε καλύτερα τις απαιτούμενες πολιτικές απόκρισης στην κλιματική αλλαγή: «είναι δύσκολο να δημιουργήσουμε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο που θα μπορεί να παρέχει τις καλύτερες απαντήσεις σε όλες τις ερωτήσεις. Αντί αυτού, [...] τα σχετικά δυνατά και αδύνατα σημεία των διαφορετικών μοντέλων διασφαλίζουν ότι οι συνδυασμένες μελέτες, αντί των μεμονωμένων, παρέχουν πραγματικά σημαντικές πληροφορίες για την κλιματική πολιτική, στις οποίες νέες προσεγγίσεις και πλαίσια για τη διασύνδεση οικονομικών και κλιματικών μοντέλων μπορούν να συνεισφέρουν» (Toth, 2005).

3.10 Βιβλιογραφία

- Ackerman, F., & Munitz, C. (2012). Climate damages in the FUND model: A disaggregated analysis. *Ecological Economics*, 77, 219-224.
- Ackerman, F., & Stanton, E. (2012). Climate risks and carbon prices: Revising the social cost of carbon.
- Ackerman, F., Stanton, E. A., & Bueno, R. (2010). Fat tails, exponents, extreme uncertainty: Simulating catastrophe in DICE. *Ecological Economics*, 69(8), 1657-1665.
- Akashi, O., Hijioka, Y., Masui, T., Hanaoka, T., & Kainuma, M. (2012). GHG emission scenarios in Asia and the world: The key technologies for significant reduction. *Energy Economics*, 34, S346-S358.
- Akimoto, K., Sano, F., Homma, T., Oda, J., Nagashima, M., & Kii, M. (2010). Estimates of GHG emission reduction potential by country, sector, and cost. *Energy Policy*, 38(7), 3384-3393.
- Akimoto, K., Tomoda, T., Fujii, Y., & Yamaji, K. (2004). Assessment of global warming mitigation options with integrated assessment model DNE21. *Energy Economics*, 26(4), 635-653.

- Anthoff, D., Hepburn, C., & Tol, R. S. (2009). Equity weighting and the marginal damage costs of climate change. *Ecological Economics*, 68(3), 836-849.
- Antosiewicz, M., Nikas, A., Szpor, A., Witajewski-Baltvilks, J., & Doukas, H. (2019). Pathways for the transition of the Polish power sector and associated risks. *Environmental Innovation and Societal Transitions*.
- Barker, T. (1998). The effects on competitiveness of coordinated versus unilateral fiscal policies reducing GHG emissions in the EU: an assessment of a 10% reduction by 2010 using the E3ME model. *Energy Policy*, 26(14), 1083-1098.
- Barker, T. (1999). Achieving a 10% cut in Europe's carbon dioxide emissions using additional excise duties: coordinated, uncoordinated and unilateral action using the econometric model E3ME. *Economic Systems Research*, 11(4), 401-422.
- Barker, T., & Ekins, P. (2001). How High are the Costs of Kyoto for the US Economy (No. 4). Tyndall Centre working paper.
- Barker, T., & Rosendahl, K. E. (2000). Ancillary Benefits of GHG Mitigation in Europe: SO₂, NO_x and PM₁₀ reductions from policies to meet Kyoto targets using the E3ME model and Externe valuations. *Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation*, 413-450.
- Barker, T., & Scricciu, S. Ş. (2010). Modeling Low Climate Stabilization with E3MG: Towards a 'New Economics' Approach to Simulating Energy-Environment-Economy System Dynamics. *The Energy Journal*, 137-164.
- Barker, T., & Zagame, P. (1995). E3ME: An Energy-Environment-Economy Model for Europe. Brüssel, European Commission.
- Barker, T., Anger, A., Chewpreecha, U., & Pollitt, H. (2012). A new economics approach to modelling policies to achieve global 2020 targets for climate stabilisation. *International Review of Applied Economics*, 26(2), 205-221.
- Barker, T., Ekins, P., & Foxon, T. (2007). The macro-economic rebound effect and the UK economy. *Energy Policy*, 35(10), 4935-4946.
- Barker, T., Pan, H., Köhler, J., Warren, R., & Winne, S. (2006). Decarbonizing the global economy with induced technological change: scenarios to 2100 using E3MG. *The Energy Journal*, 241-258.
- Barker, T., Scricciu, S. S., & Foxon, T. (2008). Achieving the G8 50% target: modelling induced and accelerated technological change using the macro-econometric model E3MG. *Climate Policy*, 8(sup1), S30-S45.
- Barreto, L., & Kypreos, S. (2004). Endogenizing R&D and market experience in the "bottom-up" energy-systems ERIS model. *Technovation*, 24(8), 615-629.
- Bchir, H., Decreux, Y., Guérin, J. L., & Jean, S. (2002). MIRAGE, a computable general equilibrium model for trade policy analysis (Vol. 17). CEPII Working paper.
- Bchir, M. H., Fontagné, L., & Zanghieri, P. (2003). The impact of EU enlargement on Member States: a CGE approach (Vol. 10). CEPII.
- Bernstein, P. M., Montgomery, W. D., & Rutherford, T. F. (1999a). Global impacts of the Kyoto agreement: results from the MS-MRT model. *Resource and Energy Economics*, 21(3), 375-413.
- Bernstein, P. M., Montgomery, W. D., Rutherford, T. F., & Yang, G. F. (1999b). Effects of restrictions on international permit trading: the MS-MRT model. *The Energy Journal*, 221-256.
- Bollen, J. (2015). The value of air pollution co-benefits of climate policies: analysis with a global sector-trade CGE model called WorldScan. *Technological Forecasting and Social Change*, 90, 178-191.
- Bollen, J. C., & Gielen, A. M. (1999). Economic impacts of multilateral emission reduction policies: simulations with WorldScan. In *International Environmental Agreements on Climate Change* (pp. 155-167). Springer Netherlands.
- Bosello, F. (2010). Adaptation, Mitigation and 'Green' R&D to Combat Global Climate Change. Insights from an Empirical Integrated Assessment Exercise.

- Bosello, F., De Cian, E., Eboli, F., & Parrado, R. (2009). Macro economic assessment of climate change impacts: a regional and sectoral perspective. *Impacts of Climate Change and Biodiversity Effects*. Final report of the CLIBIO project, European Investment Bank, University Research Sponsorship Programme.
- Bosello, F., Eboli, F., Parrado, R., & Rosa, R. (2010). REDD in the carbon market: A general equilibrium analysis.
- Bosetti, V., Carraro, C., & Galeotti, M. (2005). The dynamics of carbon and energy intensity in a model of endogenous technical change.
- Bosetti, V., Carraro, C., Duval, R., Sgobbi, A., & Tavoni, M. (2009). The role of R&D and technology diffusion in climate change mitigation: new perspectives using the WITCH model.
- Bosetti, V., Golub, A., Markandya, A., Massetti, E., & Tavoni, M. (2008). Abatement Cost Uncertainty and Policy Instrument Selection. A Dynamic Analysis. 2008), *Modelling Environment-Improving Technological Innovations under Uncertainty*, Oxon, UK and New York, USA: Routledge, 127-157.
- Bosetti, V., Massetti, E., & Tavoni, M. (2007). The WITCH model: structure, baseline, solutions.
- Bouwman, A. F., Kram, T., & Klein Goldewijk, K. (2006). Integrated modelling of global environmental change. An overview of IMAGE 2.4.
- Buchner, B., & Carraro, C. (2005). Modelling climate policy: Perspectives on future negotiations. *Journal of Policy Modeling*, 27(6), 711-732.
- Bukowski, M., & Kowal, P. (2010). Large scale, multi-sector DSGE model as a climate policy assessment tool. Instytut Badań Strukturalnych, Warszawa, 3.
- Buonanno, P., Carraro, C., & Galeotti, M. (2003). Endogenous induced technical change and the costs of Kyoto. *Resource and Energy economics*, 25(1), 11-34.
- Burniaux, J. M. (1998). How important is market power in achieving Kyoto? An assessment based on the GREEN model. In *Proceedings of the Workshop on Economic Modelling and Climate Change* (pp. 17-18).
- Burniaux, J. M., & Truong, T. P. (2002). GTAP-E: an energy-environmental version of the GTAP model. *GTAP Technical Papers*, 18.
- Burniaux, J. M., Martin, J. P., Nicoletti, G., & Martins, J. O. (1992). GREEN a Multi-Sector, Multi-Region General Equilibrium Model for Quantifying the Costs of Curbing CO₂ Emissions.
- Cambridge Econometrics (2014). E3ME technical manual, version 6.0 April 2014. University of Cambridge, Cambridge, UK.
- Capros, P., De Vita, A., Tasios, N., Siskos, P., Kannavou, M., Petropoulos, A., Evangelopoulou, S., Zampara, M., Papadopoulos, D., Nakos, C., & Paroussos, L. (2016). EU Reference Scenario 2016-Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050.
- Capros, P., Mantzos, L., Kolokotsas, D., Ioannou, N., Georgakopoulos, T., Filippopoulitis, A., & Antoniou, Y. (1998). The PRIMES energy system model-reference manual. National Technical University of Athens.
- Capros, P., Mantzos, L., Papandreou, V., Tasios, N., & Mantzaras, A. (2007). Energy systems analysis of CCS Technology; PRIMES model scenarios. E3ME-lab/ICCS/National Technical University of Athens, Athens. Final report to DG ENV.
- Capros, P., Mantzos, L., Vouyoukas, L., & Petrellis, D. (1999). European Energy and CO₂ Emissions Trends to 2020: PRIMES model v. 2. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 19(6), 474-492.
- Capros, P., Tasios, N., De Vita, A., Mantzos, L., & Paroussos, L. (2012). Model-based analysis of decarbonising the EU economy in the time horizon to 2050. *Energy strategy reviews*, 1(2), 76-84.
- Ciscar, J. C., Soria, A., Goodess, C. M., Christensen, O. B., Iglesias, A., Garrote, L., Moneo, M., Quiroga, S., Feyen, L., Dankers, R., & Nicholls, R. (2009). Climate change impacts in Europe. Final report of the PESETA research project (No. JRC55391). Directorate Growth & Innovation and JRC-Seville, Joint Research Centre.
- Cooper, A., Livermore, S., Rossi, V., Wilson, A., & Walker, J. (1999). The economic implications of reducing carbon emissions: A cross-country quantitative investigation using the Oxford Global Macroeconomic and Energy Model. *The Energy Journal*, 335-365.

- Crassous, R., Hourcade, J. C., & Sassi, O. (2006). Endogenous structural change and climate targets modeling experiments with Imaclim-R. *The Energy Journal*, 259-276.
- Criqui, P., Cattier, F., Kouvaritakis, N., & Thonet, C. (1998). Technological scenarios, climate change and emission trading: EC-IEA study on energy technology and climate change simulations using the POLES world model. IPTS, Sevilla.
- Criqui, P., Mima, S., & Viguier, L. (1999). Marginal abatement costs of CO₂ emission reductions, geographical flexibility and concrete ceilings: an assessment using the POLES model. *Energy policy*, 27(10), 585-601.
- Dagoumas, A. S., & Barker, T. S. (2010). Pathways to a low-carbon economy for the UK with the macro-economic E3MG model. *Energy policy*, 38(6), 3067-3077.
- Dai, H., Masui, T., Matsuoka, Y., & Fujimori, S. (2011). Assessment of China's climate commitment and non-fossil energy plan towards 2020 using hybrid AIM/CGE model. *Energy Policy*, 39(5), 2875-2887.
- DeCanio, S. (2003). *Economic models of climate change: a critique*. Springer.
- Den Elzen, M. G. J. (2005). Analysis of future commitments and costs of countries for the "South-North Dialogue" Proposal using the FAIR 2.1 world model. No. MNP-report, 728001032.
- Doukas, H., & Nikas, A. (2019). *Decision Support Models in Climate Policy*. *European Journal of Operational Research*.
- Doukas, H., Nikas, A., González-Eguino, M., Arto, I., & Anger-Kraavi, A. (2018). From integrated to integrative: delivering on the Paris Agreement. *Sustainability*, 10(7).
- Dowlatabadi, H. (1995). Integrated assessment models of climate change: An incomplete overview. *Energy Policy*, 23(4), 289-296.
- Dowlatabadi, H. (1998). Sensitivity of climate change mitigation estimates to assumptions about technical change. *Energy Economics*, 20(5), 473-493.
- Dowlatabadi, H. (2000). Bumping against a gas ceiling. *Climatic Change*, 46(3), 391-407.
- Edenhofer, O., Bauer, N., & Kriegler, E. (2005a). The impact of technological change on climate protection and welfare: Insights from the model MIND. *Ecological Economics*, 54(2), 277-292.
- Edenhofer, O., Lessmann, K., & Bauer, N. (2005b). Mitigation strategies and costs of climate protection: The effects of ETC in the hybrid model MIND.
- Edenhofer, O., Lessmann, K., Kemfert, C., Grubb, M., & Köhler, J. (2006). Induced technological change: Exploring its implications for the economics of atmospheric stabilization: Synthesis report from the innovation modeling comparison project. *The Energy Journal*, 57-107.
- Edmonds, J., & Reiley, J. M. (1985). *Global Energy-Assessing the Future*.
- Edmonds, J., Pitcher, H., & Sands, R. (2004). Second generation model 2004: an overview. *Special Issue on Endogenous*, 30, 425-448.
- Ekins, P., & Etheridge, B. (2006). The environmental and economic impacts of the UK climate change agreements. *Energy Policy*, 34(15), 2071-2086.
- Elliott, J., Foster, I., Kortum, S., Munson, T., Cervantes, F. P., & Weisbach, D. (2010). Trade and carbon taxes. *The American Economic Review*, 100(2), 465-469.
- Fawcett, A. A. (2011). International offsets usage in proposed US climate change legislation. In *Modeling the Economics of Greenhouse Gas Mitigation: Summary of a Workshop*.
- Finon, D. (1976). *Un modele energetique pour la France (Vol. 3)*. Centre national de la recherche scientifique.
- Fishbone, L. G., & Abilock, H. (1981). Markal, a linear-programming model for energy systems analysis: Technical description of the bnl version. *International journal of Energy research*, 5(4), 353-375.
- Flamos, A. (2016). A Sectoral Micro-Economic Approach to Scenario Selection and Development: The Case of the Greek Power Sector. *Energies*, 9(2), 77.

- Forouli, A., Doukas, H., Nikas, A., Sampedro, J., & van de Ven, D.-J. (2019). Identifying optimal technological R&D portfolios for European power generation towards climate change mitigation: a robust portfolio analysis approach. *Utilities Policy*, in press.
- Fujino, J., Nair, R., Kainuma, M., Masui, T., & Matsuoka, Y. (2006). Multi-gas mitigation analysis on stabilization scenarios using AIM global model. *The Energy Journal*, 343-353.
- Füssel, H. M. (2009). An updated assessment of the risks from climate change based on research published since the IPCC Fourth Assessment Report. *Climatic Change*, 97(3), 469-482.
- Füssel, H. M. (2010). Modeling impacts and adaptation in global IAMs. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(2), 288-303.
- Gabriel, S. A., Kydes, A. S., & Whitman, P. (2001). The National Energy Modeling System: a large-scale energy-economic equilibrium model. *Operations Research*, 49(1), 14-25.
- Garnaut, R. (2008). *The Garnaut climate change review: Final report*. Cambridge, Cambridge.
- Gerlagh, R. (2006). ITC in a global growth-climate model with CCS: The value of induced technical change for climate stabilization. *The Energy Journal*, 223-240.
- Gerlagh, R. (2007). Measuring the value of induced technological change. *Energy Policy*, 35(11), 5287-5297.
- Gerlagh, R., & Van der Zwaan, B. (2006). Options and Instruments for a Deep Cut in CO₂ Emissions: Carbon Dioxide Capture or Renewables, Taxes or Subsidies?. *The Energy Journal*, 25-48.
- Goettle, R. J., & Fawcett, A. A. (2009). The structural effects of cap and trade climate policy. *Energy Economics*, 31, S244-S253.
- Goettle, R. J., Ho, M. S., Jorgenson, D. W., Slesnick, D. T., Wilcoxon, P. J., & EP-W, E. C. (2007). IGEM, an intertemporal general equilibrium model of the US economy with emphasis on growth, energy and the environment. Prepared for the US Environmental Protection Agency (EPA), Office of Atmospheric Programs, Climate Change Division, EPA Contract EP-W-05-035.
- Golub, A., Hertel, T. W., & Sohngen, B. (2009). 10 Land use modelling in a recursively dynamic GTAP framework. *Economic analysis of land use in global climate change policy*, 14, 235.
- Grassini, M. (2009). Rowing along the computable general equilibrium modelling mainstream. *Studies on Russian Economic Development*, 20(2), 134-146.
- Greening, L. A., & Bataille, C. (2009). Bottom-up models of energy: across the spectrum. *Chapters*.
- Hainoun, A., Aldin, M. S., & Almoustafa, S. (2010). Formulating an optimal long-term energy supply strategy for Syria using MESSAGE model. *Energy policy*, 38(4), 1701-1714.
- Hedenus, F., Azar, C., & Lindgren, K. (2006). Induced technological change in a limited foresight optimization model. *The Energy Journal*, 109-122.
- Hickman, R., Ashiru, O., & Banister, D. (2010). Transport and climate change: Simulating the options for carbon reduction in London. *Transport Policy*, 17(2), 110-125.
- Hitz, S., & Smith, J. (2004). Estimating global impacts from climate change. *Global Environmental Change*, 14(3), 201-218.
- Hof, A. F. (2010). International mitigation and adaptation strategies for climate change policy: An integrated assessment approach.
- Hof, A. F., de Bruin, K. C., Dellink, R. B., den Elzen, M. G., & van Vuuren, D. P. (2009). The effect of different mitigation strategies on international financing of adaptation. *Environmental Science & Policy*, 12(7), 832-843.
- Hof, A. F., De Bruin, K., Dellink, R., den Elzen, M. G. J., & van Vuuren, D. P. (2012). Costs, benefits and interlinkages between adaptation and mitigation. *Global Climate Governance Beyond*.
- Hof, A. F., den Elzen, M. G., & van Vuuren, D. P. (2008). Analysing the costs and benefits of climate policy: value judgements and scientific uncertainties. *Global Environmental Change*, 18(3), 412-424.

- Hope, C. (2006). The marginal impact of CO₂ from PAGE2002: An integrated assessment model incorporating the IPCC's five reasons for concern. *Integrated assessment*, 6(1), 19-56.
- Hope, C. (2009). How deep should the deep cuts be? Optimal CO₂ emissions over time under uncertainty. *Climate Policy*, 9(1), 3-8.
- Hope, C. (2011). The social cost of CO₂ from the PAGE09 model.
- Hope, C. (2013). Critical issues for the calculation of the social cost of CO₂: why the estimates from PAGE09 are higher than those from PAGE2002. *Climatic Change*, 117(3), 531-543.
- Hope, C. W. (2008). Optimal carbon emissions and the social cost of carbon over time under uncertainty. *Integrated Assessment Journal*, 8(1), 107-122.
- Hope, C., Anderson, J., & Wenman, P. (1993). Policy analysis of the greenhouse effect: an application of the PAGE model. *Energy Policy*, 21(3), 327-338.
- Hourcade, J. C., Richels, R., Robinson, J., Chandler, W., Davidson, O., Finon, D., Grubb, M.J., Halsneas, K., Hogan, K., Jaccard, M., & Krause, F. (1996). Estimating the costs of mitigating greenhouse gases. *Climate Change 1995, Economic and Social Dimensions of Climate Change, Contribution of Working Group II*, 263-296.
- Ianchovichina, E., Darwin, R., & Shoemaker, R. (2001). Resource use and technological progress in agriculture: a dynamic general equilibrium analysis. *Ecological Economics*, 38(2), 275-291.
- International Energy Agency. (2010). *World Energy Outlook 2010*. OECD/International Energy Agency, Paris, France
- Jakeman, G., & Fisher, B. S. (2006). Benefits of multi-gas mitigation: An application of the Global Trade and Environment Model (GTEM). *The Energy Journal*, 323-342.
- Jebaraj, S., & Iniyar, S. (2006). A review of energy models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(4), 281-311.
- Jorgenson, D. W., Goettle, R. J., Hurd, B. H., Smith, J. B., Chestnut, L. G., & Mills, D. M. (2004). US market consequences of global climate change. Pew Center on Global Climate Change, Washington, DC.
- Junankar, S., Lofsnaes, O., & Summerton, P. (2007). MDM-E3. A short technical description. Cambridge Econometrics, Cambridge, UK.
- Kainuma, M., Matsuoka, Y., & Morita, T. (1999). Analysis of post-Kyoto scenarios: The Asian-Pacific integrated model. *The Energy Journal*, 207-220.
- Kainuma, M., Matsuoka, Y., & Morita, T. (2000). The AIM/end-use model and its application to forecast Japanese carbon dioxide emissions. *European Journal of Operational Research*, 122(2), 416-425.
- Kainuma, M., Matsuoka, Y., & Morita, T. (Eds.). (2011). *Climate policy assessment: Asia-Pacific integrated modeling*. Springer Science & Business Media.
- Kainuma, M., Matsuoka, Y., Hibino, G., Shimada, K., Ishii, H., Matsui, S., & Morita, T. (2003). Application of AIM/Enduse model to Japan. In *Climate Policy Assessment* (pp. 155-176). Springer Japan.
- Karkatsoulis, P., Siskos, P., Paroussos, L., & Capros, P. (2017). Simulating deep CO₂ emission reduction in transport in a general equilibrium framework: The GEM-E3T model. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 55, 343-358.
- Kelly, D. L., & Kolstad, C. D. (1999). Integrated assessment models for climate change control. *International yearbook of environmental and resource economics*, 2000, 171-197.
- Kemfert, C. (2001). Economy-energy-climate interaction: the model wiagem.
- Kemfert, C. (2005). Induced technological change in a multi-regional, multi-sectoral, integrated assessment model (WIAGEM): Impact assessment of climate policy strategies. *Ecological economics*, 54(2), 293-305.
- Kemfert, C., & Truong, T. (2007). Impact assessment of emissions stabilization scenarios with and without induced technological change. *Energy Policy*, 35(11), 5337-5345.

- Kemfert, C., Truong, T. P., & Bruckner, T. (2006). Economic Impact Assessment of Climate Change—A Multi-gas Investigation with WIAGEM-GTAPEL-ICM. *The Energy Journal*, 441-460.
- Keppo, I., & van der Zwaan, B. (2012). The impact of uncertainty in climate targets and CO₂ storage availability on long-term emissions abatement. *Environmental Modeling & Assessment*, 17(1-2), 177-191.
- Kesicki, F., & Yanagisawa, A. (2015). Modelling the potential for industrial energy efficiency in IEA's World Energy Outlook. *Energy Efficiency*, 8(1), 155-169.
- Kitous, A., Criqui, P., Bellevrat, E., & Chateau, B. (2010). Transformation patterns of the worldwide energy system-scenarios for the century with the POLES model. *The Energy Journal*, 49-82.
- Koji, T., Takanobu, K., Atsushi, K., Norihiro, I., & Masaji, S. (2009). Measuring Weak Sustainability for the future: Calculating Genuine Saving with population change by an integrated assessment model.
- Kopp, R. E., & Mignone, B. K. (2012). The US Government's social cost of carbon estimates after their first two years: pathways for improvement.
- Kouvaritakis, N., Soria, A., & Isoard, S. (2000a). Modelling energy technology dynamics: methodology for adaptive expectations models with learning by doing and learning by searching. *International Journal of Global Energy Issues*, 14(1-4), 104-115.
- Kouvaritakis, N., Soria, A., Isoard, S., & Thonet, C. (2000b). Endogenous learning in world post-Kyoto scenarios: application of the POLES model under adaptive expectations. *International Journal of Global Energy Issues*, 14(1-4), 222-248.
- Kratena, K., & Streicher, G. (2009). Macroeconomic input-output modelling: structures, functional forms and closure rules. *International Input-Output Association Working Paper WPIOX*, 09-009.
- Kremers, H., Nijkamp, P., & Wang, S. (2000). Mailing Issues on Climate Change Policies-A Discussion of the GTAP-E Model (No. 00-099/3). Tinbergen Institute Discussion Paper.
- Kurosawa, A. (2004). Carbon concentration target and technological choice. *Energy Economics*, 26(4), 675-684.
- Kurosawa, A. (2006). Multigas mitigation: an economic analysis using GRAPE model. *The Energy Journal*, 275-288.
- Kurosawa, A., Yagita, H., Zhou, W., Tokimatsu, K., & Yanagisawa, Y. (1999). Analysis of carbon emission stabilization targets and adaptation by integrated assessment model. *The Energy Journal*, 157-175.
- Kypreos, S. (2007). A MERGE model with endogenous technological change and the cost of carbon stabilization. *Energy Policy*, 35(11), 5327-5336.
- Kypreos, S. (2008). Stabilizing global temperature change below thresholds: Monte Carlo analyses with MERGE. *Computational Management Science*, 5(1), 141-170.
- Kypreos, S., Barreto, L., Capros, P., & Messner, S. (2000). ERIS: A model prototype with endogenous technological change. *International Journal of Global Energy Issues*, 14(1-4), 347-397.
- Laborde, D., Martin, W., & Van der Mensbrugge, D. (2016). Measuring the impacts of global trade reform with optimal aggregators of distortions. *Review of International Economics*.
- Lanz, B., & Rausch, S. (2011). General equilibrium, electricity generation technologies and the cost of carbon abatement: A structural sensitivity analysis. *Energy Economics*, 33(5), 1035-1047.
- Lapillonne, B. (1978). MEDEE 2: A model for long-term energy demand evaluation.
- Lapillonne, B. (1980). Long term perspectives of the US energy demand: application of the MEDEE 2 model to the US. *Energy*, 5(3), 231-257.
- Lecocq, F., & Shalizi, Z. (2007). How might climate change affect economic growth in developing countries? A review of the growth literature with a climate lens.
- Lejour, A., Veenendaal, P., Verweij, G., & van Leeuwen, N. (2006). WorldScan; a model for international economic policy analysis (No. 111). CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis.
- Link, P. M., & Tol, R. S. (2004). Possible economic impacts of a shutdown of the thermohaline circulation: an application of FUND. *Portuguese economic journal*, 3(2), 99-114.

- Manne, A. S., & Richels, R. G. (2005). MERGE: an integrated assessment model for global climate change. In *Energy and environment* (pp. 175-189). Springer US.
- Manne, A., Mendelsohn, R., & Richels, R. (1995). MERGE: A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies. *Energy policy*, 23(1), 17-34.
- Masui, T. (2005). "Policy Evaluations under Environmental Constraints Using a Computable General Equilibrium Model." *European Journal of Operational Research* 166 (3): 843-855.
- Masui, T., Hanaoka, T., Hikita, S., & Kainuma, M. (2006a). Assessment of CO₂ Reductions and Economic Impacts Considering Energy-Saving Investments. *The Energy Journal*, 175-190.
- Masui, T., Matsuoka, Y., & Kainuma, M. (2006b). Long-term CO₂ emission reduction scenarios in Japan. *Environmental Economics and Policy Studies*, 7(3), 347-366.
- Masui, T., Rana, A., & Matsuoka, Y. (2003). AIM/material model. In *Climate Policy Assessment* (pp. 177-196). Springer Japan.
- Matsuoka, Y., Kainuma, M., & Morita, T. (1995). Scenario analysis of global warming using the Asian Pacific Integrated Model (AIM). *Energy Policy*, 23(4-5), 357-371.
- Mattsson, N. (2002). Introducing uncertain learning in an energy system model: a pilot study using GENIE. *International Journal of Global Energy Issues*, 18(2-4), 253-265.
- Mattsson, N., & Wene, C. O. (1997). Assessing new energy technologies using an energy system model with endogenized experience curves. *International journal of energy research*, 21(4), 385-393.
- McKibbin, W. J., & Wilcoxon, P. J. (1999). The theoretical and empirical structure of the G-Cubed model. *Economic modelling*, 16(1), 123-148.
- McKibbin, W. J., & Wilcoxon, P. J. (2009). Uncertainty and climate change policy design. *Journal of Policy Modeling*, 31(3), 463-477.
- McKibbin, W. J., Lee, J. W., & Cheong, I. (2004). A dynamic analysis of the Korea-Japan free trade area: simulations with the G-cubed Asia-Pacific model. *International Economic Journal*, 18(1), 3-32.
- Mendelsohn, R., & Williams, L. (2004). Comparing forecasts of the global impacts of climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 9(4), 315-333.
- Mendelsohn, R., Morrison, W., Schlesinger, M. E., & Andronova, N. G. (2000). Country-specific market impacts of climate change. *Climatic change*, 45(3-4), 553-569.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W., & Shaw, D. (1999). *The impact of climate variation on US agriculture* (pp. 55-74). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY.
- Mercure, J. F., Pollitt, H., Edwards, N. R., Holden, P. B., Chewpreecha, U., Salas, P., Lam, A., Knobloch, F., & Vinuales, J. (2017). Environmental impact assessment for climate change policy with the simulation-based integrated assessment model E₃ME-FTT-GENIE. arXiv preprint arXiv:1707.04870.
- Messner, S. (1997). Endogenized technological learning in an energy systems model. *Journal of Evolutionary Economics*, 7(3), 291-313.
- Mima, S., & Criqui, P. (2009). Assessment of the impacts under future climate change on the energy systems with the POLES model. In *International energy workshop*.
- Mundaca, L., Neij, L., Worrell, E., & McNeil, M. (2010). Evaluating energy efficiency policies with energy-economy models. *Annual review of environment and resources*, 35, 305-344.
- Narita, D., Tol, R. S., & Anthoff, D. (2009). Damage costs of climate change through intensification of tropical cyclone activities: an application of FUND. *Climate Research*, 39(2), 87-97.
- Nicoletti, G., & Oliveira-Martins, J. (1993). Global effects of the European carbon tax. In *The European Carbon Tax: An Economic Assessment* (pp. 15-48). Springer Netherlands.
- Nijkamp, P., Wang, S., & Kremers, H. (2005). Modeling the impacts of international climate change policies in a CGE context: The use of the GTAP-E model. *Economic Modelling*, 22(6), 955-974.

- Nikas, A., Doukas, H., Lieu, J., Alvarez Tinoco, R., Charisopoulos, V., & van der Gaast, W. (2017). Managing stakeholder knowledge for the evaluation of innovation systems in the face of climate change. *Journal of Knowledge Management*, 21(5), 1013-1034.
- Nikas, A., Stavrakas, V., Arsenopoulos, A., Doukas, H., Antosiewicz, M., Witajewski-Baltvilks, J., & Flamos, A. (2018). Barriers to and consequences of a solar-based energy transition in Greece. *Environmental Innovation and Societal Transitions*.
- Nilsson, C. (1999). A Unilateral Versus a Multilateral Carbon Dioxide Tax-A Numerical Analysis with the European Model GEM-E3 (No. 66).
- Nordhaus, W. (2007). Accompanying Notes and Documentation on Development of DICE-2007 Model: Notes on DICE-2007. delta. v8 as of September 21, 2007. Miscellaneous publication, Yale University, New Haven, NE, USA.
- Nordhaus, W. D. (1994). *Managing the global commons: the economics of climate change* (Vol. 31). Cambridge, MA: MIT press.
- Nordhaus, W. D. (2002). Modeling induced innovation in climate-change policy. *Technological change and the environment*, 9, 259-290.
- Nordhaus, W. D. (2008). *A question of balance: Weighing the options on global warming policies*. Yale University Press.
- Nordhaus, W. D. (2010). Economic aspects of global warming in a post-Copenhagen environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(26), 11721-11726.
- Nordhaus, W. D. (2014). *A question of balance: Weighing the options on global warming policies*. Yale University Press.
- Nordhaus, W. D., & Boyer, J. (2000). *Warming the world: economic models of global warming*. MIT press.
- Nordhaus, W. D., & Yang, Z. (1996). A regional dynamic general-equilibrium model of alternative climate-change strategies. *The American Economic Review*, 741-765.
- Oda, J., Akimoto, K., Sano, F., & Homma, T. (2009). Diffusion of CCS and energy efficient technologies in power and iron & steel sectors. *Energy Procedia*, 1(1), 155-161.
- Ortiz, R. A., & Markandya, A. (2009). *Integrated impact assessment models of climate change with an emphasis on damage functions: a Literature Review*. Bilbao: Spain.
- Paltsev, S., Reilly, J. M., Jacoby, H. D., Eckaus, R. S., McFarland, J. R., Sarofim, M. C., Asadoorian, M. O., & Babiker, M. H. (2005). *The MIT emissions prediction and policy analysis (EPPA) model: version 4*. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change.
- Pant, H. M. (2007). *GTEM draft: global trade and environmental model*. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics.
- Pant, H., Tulpulé, V., & Fisher, B. S. (2007). *Global Trade and Environment Model*. Department of Agriculture: Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences. Canberra, Australia.
- Papadelis, S., Flamos, A., & Psarras, J. (2013). A framework to address uncertainties in energy policy formulation. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 8(3), 270-278.
- Parrado, R., & De Cian, E. (2014). Technology spillovers embodied in international trade: Intertemporal, regional and sectoral effects in a global CGE framework. *Energy Economics*, 41, 76-89.
- Parson, E. A., & Fisher-Vanden, A. K. (1997). Integrated assessment models of global climate change. *Annual Review of Energy and the Environment*, 22(1), 589-628.
- Peck, S. C., & Teisberg, T. J. (1993). Global warming uncertainties and the value of information: An analysis using CETA. *Resource and Energy Economics*, 15(1), 71-97.
- Peck, S. C., & Teisberg, T. J. (1995). International CO₂ emissions control: an analysis using CETA. *Energy Policy*, 23(4-5), 297-308.

- Peck, S. C., & Teisberg, T. J. (1999). CO₂ Emissions Control Agreements: Incentives for Regional Participation. *The Energy Journal*, 367-390.
- Pfenninger, S. (2015). Calliope: a multi-scale energy systems (MUSES) modeling framework. Release vo, 3.
- Plambeck, E. L., Hope, C., & Anderson, J. (1997). The Page95 model: Integrating the science and economics of global warming. *Energy Economics*, 19(1), 77-101.
- Plinke, E., Haasis, H. D., Rentz, O., & Sivrioglu, M. (1990). Analysis of energy and environmental problems in Turkey by using a decision support model. *Ambio*, 75-81.
- Popp, D. (2004). ENTICE: endogenous technological change in the DICE model of global warming. *Journal of Environmental Economics and management*, 48(1), 742-768.
- Popp, D. (2006a). Comparison of climate policies in the ENTICE-BR model. *The Energy Journal*, 163-174.
- Popp, D. (2006b). ENTICE-BR: The effects of backstop technology R&D on climate policy models. *Energy Economics*, 28(2), 188-222.
- Pycroft, J., Vergano, L., Hope, C., Paci, D., & Ciscar, J. C. (2011). A tale of tails: Uncertainty and the social cost of carbon dioxide.
- Rafaj, P., & Kypreos, S. (2007). Internalisation of external cost in the power generation sector: Analysis with Global Multi-regional MARKAL model. *Energy Policy*, 35(2), 828-843.
- Rana, A., & Morita, T. (2000). Scenarios for greenhouse gas emission mitigation: a review of modeling of strategies and policies in integrated assessment models. *Environmental Economics and Policy Studies*, 3(2), 267-289.
- Redondo, P. D., & van Vliet, O. (2015). Modelling the energy future of Switzerland after the phase out of nuclear power plants. *Energy Procedia*, 76, 49-58.
- Reilly, J., Sarofim, M., Paltsev, S., & Prinn, R. (2006). The Role of Non-CO₃ GHGs in Climate Policy: Analysis Using the MIT IGSM. *The Energy Journal*, 503-520.
- Robinson, S. (2006). Macro models and multipliers: Leontief, Stone, Keynes, and CGE models. *Poverty, Inequality and Development*, 205-232.
- Rosendahl, K. E. (2004). Cost-effective environmental policy: implications of induced technological change. *Journal of Environmental Economics and Management*, 48(3), 1099-1121.
- Rout, U. K., Akimoto, K., Sano, F., Oda, J., Homma, T., & Tomoda, T. (2008). Impact assessment of the increase in fossil fuel prices on the global energy system, with and without CO₂ concentration stabilization. *Energy Policy*, 36(9), 3477-3484.
- Sano, F., Akimoto, K., Homma, T., & Tomoda, T. (2005). Analysis of technological portfolios for CO₂ stabilizations and effects of technological changes.
- Ščasný, M., Píša, V., Pollitt, H., & Chewprecha, U. (2009). Analyzing Macroeconomic Effects of Environmental Taxation in the Czech Republic with the Econometric E₃ME Model. *Finance a Uver: Czech Journal of Economics & Finance*, 59(5).
- Schellnhuber, H. J., Warren, R., Haxeltine, A., & Naylor, L. (2003). Developments in integrated assessment: the co-productive approach. In *Proceedings of OECD Workshop on the Benefits of Climate Policy*.
- Schultz, P. A., & Kasting, J. F. (1997). Optimal reductions in CO₂ emissions. *Energy Policy*, 25(5), 491-500."
- Schumacher, K., & Sands, R. D. (2006). Innovative energy technologies and climate policy in Germany. *Energy Policy*, 34(18), 3929-3941.
- Schwanitz, V. J. (2013). Evaluating integrated assessment models of global climate change. *Environmental modelling & software*, 50, 120-131.
- Scott, M. J., Sands, R. D., Edmonds, J., Liebetrau, A. M., & Engel, D. W. (1999). Uncertainty in integrated assessment models: modeling with MiniCAM 1.0. *Energy Policy*, 27(14), 855-879.
- Seebregts, A. J., Goldstein, G. A., & Smekens, K. (2002). Energy/environmental modeling with the MARKAL family of models. In *Operations research proceedings 2001* (pp. 75-82). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Seebregts, A., Kram, T., Schaeffer, G. J., & Bos, A. (2000). Endogenous learning and technology clustering: analysis with MARKAL model of the Western European energy system. *International Journal of Global Energy Issues*, 14(1-4), 289-319.
- Siskos, P., Capros, P., & De Vita, A. (2015). CO₂ and energy efficiency car standards in the EU in the context of a decarbonisation strategy: a model-based policy assessment. *Energy Policy*, 84, 22-34.
- Söderholm, P. (2007). Modelling the economic costs of climate policy. Luleå University of Technology.
- Sokolov, A. P., Schlosser, C. A., Dutkiewicz, S., Paltsev, S., Kicklighter, D. W., Jacoby, H. D., Prinn, R. G., Forest, C. E., Reilly, J. M., Wang, C., & Felzer, B. S. (2005). MIT integrated global system model (IGSM) version 2: model description and baseline evaluation. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change.
- Sorrell, S. (2009). Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency. *Energy policy*, 37(4), 1456-1469.
- Stanton, E. A., Ackerman, F., & Kartha, S. (2009). Inside the integrated assessment models: Four issues in climate economics. *Climate and Development*, 1(2), 166-184.
- Stehfest, E., Bouwman, L., Van Vuuren, D. P., Den Elzen, M. G., Eickhout, B., & Kabat, P. (2009). Climate benefits of changing diet. *Climatic change*, 95(1-2), 83-102.
- Sullivan, P., Krey, V., & Riahi, K. (2013). Impacts of considering electric sector variability and reliability in the MESSAGE model. *Energy Strategy Reviews*, 1(3), 157-163.
- Tol, R. S. (1997). On the optimal control of carbon dioxide emissions: an application of FUND. *Environmental Modeling and Assessment*, 2(3), 151-163.
- Tol, R. S. (2002). Welfare specifications and optimal control of climate change: an application of FUND. *Energy Economics*, 24(4), 367-376.
- Tol, R. S. (2006). Multi-gas emission reduction for climate change policy: an application of FUND. *The Energy Journal*, 235-250.
- Tol, R. S. (2010). Carbon Dioxide Mitigation. In Lomborg, B. (Ed.), *Smart Solutions to Climate Change: Comparing Costs and Benefits* (pp. 74-105). Cambridge University Press.
- Tol, R. S., & Fankhauser, S. (1998). On the representation of impact in integrated assessment models of climate change. *Environmental Modeling and Assessment*, 3(1), 63-74.
- Toth, F. L. (2005). Coupling climate and economic dynamics: recent achievements and unresolved problems. In *The Coupling of Climate and Economic Dynamics* (pp. 35-68). Springer Netherlands.
- Tulpulé, V., Brown, S., Lim, J., Polidano, C., Pant, H., & Fisher, B. S. (1998). An economic assessment of the Kyoto Protocol using the Global Trade and Environment Model. In *Proceedings of the Workshop on Economic Modelling and Climate Change* (pp. 17-18).
- Turton, H., & Barreto, L. (2004a). Cars, Hydrogen and Climate Change: A long-term analysis with the ERIS model. In 6th IAEE European Conference.
- Turton, H., & Barreto, L. (2004b). The extended energy-systems ERIS model: An overview.
- Tyers, R., & Shi, Q. (2012). Global demographic change, labour force growth and economic performance. Chapter, 13, 342-375.
- Urban, F. R. M. J., Benders, R. M. J., & Moll, H. C. (2007). Modelling energy systems for developing countries. *Energy Policy*, 35(6), 3473-3482.
- Van der Mensbrugghe, D. (2005). Linkage technical reference document. Development Prospects Group, The World Bank.
- Van der Voort, E. (1982). The EFOM 12C energy supply model within the EC modelling system. *Omega*, 10(5), 507-523.
- Van der Zwaan, B., Keppo, I., & Johnsson, F. (2013). How to decarbonize the transport sector?. *Energy policy*, 61, 562-573.

- Van Regemorter, D. (2005). GEM-E3. Computable General equilibrium model for studying economy-energy-environment interactions for Europe and the world.
- Van Vuuren, D. P. (2007). Energy systems and climate policy-long-term scenarios for an uncertain future (Doctoral dissertation, Utrecht University).
- Viguier, L. L., Babiker, M. H., & Reilly, J. M. (2003). The costs of the Kyoto Protocol in the European Union. *Energy Policy*, 31(5), 459-481.
- Von Below, D., & Persson, T. (2008). Uncertainty, climate change and the global economy (No. w14426). National Bureau of Economic Research.
- Wada, K., Sano, F., Akimoto, K., & Homma, T. (2012). Assessment of Copenhagen pledges with long-term implications. *Energy Economics*, 34, S481-S486.
- Waisman, H., Guivarch, C., Grazi, F., & Hourcade, J. C. (2012). The IMACLIM-R model: infrastructures, technical inertia and the costs of low carbon futures under imperfect foresight. *Climatic Change*, 114(1), 101-120.
- Walmsley, T. L., Dimaranan, B. V., & McDougall, R. A. (2006a). A baseline scenario for the dynamic GTAP model. *Dynamic Modeling and Applications for Global Economic Analysis*, 136.
- Walmsley, T. L., Hertel, T. W., & Ianchoichina, E. (2006b). Assessing the impact of China's WTO accession on investment. *Pacific Economic Review*, 11(3), 315-339.
- Warren, R., De La Nava Santos, S., Arnell, N. W., Bane, M., Barker, T., Barton, C., Ford, R., Füssel, H. M., Hankin, R. K., Klein, R., & Linstead, C. (2008). Development and illustrative outputs of the Community Integrated Assessment System (CIAS), a multi-institutional modular integrated assessment approach for modelling climate change. *Environmental Modelling & Software*, 23(5), 592-610.
- Warren, R., Yu, R. M. S., Osborn, T. J., & de la Nava Santos, S. (2012). European drought regimes under mitigated and unmitigated climate change: application of the Community Integrated Assessment System (CIAS). *Climate Research*, 51(2), 105-123.
- Webster, M. D., Babiker, M., Mayer, M., Reilly, J. M., Harnisch, J., Hyman, R., Sarofim, M. C., & Wang, C. (2002). Uncertainty in emissions projections for climate models. *Atmospheric environment*, 36(22), 3659-3670.
- Webster, M., Forest, C., Reilly, J., Babiker, M., Kicklighter, D., Mayer, M., Prinn, R., Sarofim, M., Sokolov, A., Stone, P., & Wang, C. (2003). Uncertainty analysis of climate change and policy response. *Climatic change*, 61(3), 295-320.
- Webster, M., Sokolov, A. P., Reilly, J. M., Forest, C. E., Paltsev, S., Schlosser, A., Wang, C., Kicklighter, D., Sarofim, M., Melillo, J., & Prinn, R. G. (2012). Analysis of climate policy targets under uncertainty. *Climatic Change*, 112(3-4), 569-583.
- Wei, Y. M., Mi, Z. F., & Huang, Z. (2015). Climate policy modeling: An online SCI-E and SSCI based literature review. *Omega*, 57, 70-84.
- Wen, Z., Meng, F., & Chen, M. (2014). Estimates of the potential for energy conservation and CO₂ emissions mitigation based on Asian-Pacific Integrated Model (AIM): the case of the iron and steel industry in China. *Journal of cleaner production*, 65, 120-130.
- West, G. R. (2002). Modeling structural linkages in dynamic and spatial interindustry systems. In *Trade, networks and hierarchies* (pp. 225-250). Springer Berlin Heidelberg.
- Weyant, J. P. (1999). The cost of the Kyoto Protocol: a multi-model evaluation. *The Energy Journal*.
- Weyant, J. P. (2009). A perspective on integrated assessment. *Climatic change*, 95(3), 317-323.
- Wing, I. S. (2011). Computable general equilibrium models for the analysis of economy-environment interactions. *Research tools in natural resource and environmental economics*, 255.
- Worrell, E., Ramesohl, S., & Boyd, G. (2004). Advances in energy forecasting models based on engineering economics. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 29, 345-381.
- Xu, Y., & Masui, T. (2009). Local air pollutant emission reduction and ancillary carbon benefits of SO₂ control policies: application of AIM/CGE model to China. *European Journal of Operational Research*, 198(1), 315-325.

- Yamaji, K., Fujino, J., & Osada, K. (2000). Global energy system to maintain atmospheric CO₂ concentration at 550 ppm. *Environmental Economics and Policy Studies*, 3(2), 159-171.
- Yohe, G. W. (1999). The tolerable windows approach: lessons and limitations. *Climatic Change*, 41(3), 283-295.
- Yu, X. (2008). Impacts assessment of PHEV charge profiles on generation expansion using national energy modeling system. In *Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 2008 IEEE (pp. 1-5). IEEE.
- Zaki, C. (2011). Assessing the global effect of trade facilitation: evidence from the MIRAGE model. In *Economic Research Forum Working Paper Series (No. 659)*.
- Zhai, F., & Zhuang, J. (2012). Agricultural impact of climate change: A general equilibrium analysis with special reference to Southeast Asia. *Climate Change in Asia and the Pacific: How Can Countries Adapt*, 17-35.

4ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ

Όπως αναλύθηκε στο [Κεφάλαιο 2](#), το υφιστάμενο επιστημονικό υπόδειγμα για την ανάλυση των στρατηγικών κλιματικής πολιτικής βασίζεται καταρχήν σε μία πληθώρα μοντέλων κλίματος-οικονομίας, τα ΜΟΑ ([Κεφάλαιο 3](#)), με σκοπό την υποστήριξη λήψης αποφάσεων σχετικών με την κλιματική αλλαγή. Όμως, η ενυπάρχουσα πολυπλοκότητα των ΜΟΑ, το πλήθος και η φύση των μοντελικών υποθέσεων, και η συνήθως περιορισμένη συμμετοχή των ενδιαφερόμενων φορέων από τις μοντελικές διεργασίες δημιουργούν ερωτήματα ως προς τον βαθμό στον οποίο μπορούν να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες στους φορείς χάραξης πολιτικής. Επίσης, όπως συμβαίνει και με όλα τα τυποποιημένα πλαίσια μοντελοποίησης, τα ΜΟΑ αναπόφευκτα αποτυγχάνουν να ενσωματώσουν όλους τους σχετικούς τύπους αβεβαιότητας και κινδύνου, όταν χρησιμοποιούνται μεμονωμένα. Αυτή η αδυναμία μπορεί να έχει πολύ σημαντικές επιπτώσεις στα αποτελέσματα των μοντέλων, αλλά δύναται να μετριαστεί εάν η γνώση εμπειρογνομώνων εξάγεται με δομημένο τρόπο και λαμβάνεται ουσιαστικά υπόψιν για τον προσδιορισμό τέτοιων παραγόντων ή τη μείωση των σχετικών γνωσιακών χασμάτων. Παράλληλα, ολοένα και περισσότερες επιστημονικές δημοσιεύσεις αναδεικνύουν ορισμένα μοντέλα υποστήριξης αποφάσεων για την ανάλυση συγκεκριμένων πτυχών της κλιματικής πολιτικής, βάσει από κάτω προς τα πάνω προσεγγίσεων και συμμετοχικών διαδικασιών. Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η επισκόπηση και η κριτική ανασκόπηση τέτοιων μοντέλων—συγκεκριμένα της ανάλυσης χαρτοφυλακίου (ΑΧ), των πολυκριτηριακών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων (ΠΣΥΑ) και των ασαφών γνωστικών χαρτών (ΑΓΧ)—προκειμένου να διερευνηθούν τα δυνατά και αδύνατα σημεία τους σε αυτό το επιστημονικό πεδίο, εστιάζοντας στις δυνατότητές τους να καλύψουν δυσεπίλυτες για τα ΜΟΑ πτυχές καθώς και τα περιθώρια συνδυασμού τους με ΜΟΑ και άλλες μεθοδολογίες σε ένα πλήρως ολοκληρωμένο και συνεργατικό επιστημονικό παράδειγμα.

4.1 Εισαγωγή

Όπως υποδεικνύει το σύνολο των επιστημονικών στοιχείων ([Soderholm, 2007](#)· [Benestad et al., 2016](#)), οι ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ως αποτέλεσμα των οικονομικών δραστηριοτήτων επηρεάζουν σημαντικά το περιβάλλον και ενισχύουν την κλιματική αλλαγή, με τη χρήση ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας να αποτελούν την κυριότερη πηγή αυτών των εκπομπών ([Edenhofer et al., 2014](#)). Έτσι, η κλιματική αλλαγή ανάγεται σε μία από τις σημαντικότερες απειλές βιωσιμότητας της εποχής μας και έχει επιπτώσεις όχι μόνο για το περιβάλλον

αλλά και για την πλειοψηφία, αν όχι το σύνολο, των οικονομικών τομέων, είτε αμέσως είτε εμμέσως. Καθοδηγούμενα από την ανάγκη μελέτης των δυναμικών διαδράσεων μεταξύ οικονομίας, ενέργειας και κλιματικών διαστάσεων, η επιστημονική κοινότητα έχει για καιρό βασιστεί στα ΜΟΑ προκειμένου να υποστηρίξει την κλιματική δράση. Παρότι η συνεισφορά τους σε αυτό το δύσκολο πεδίο είναι αδιαμφισβήτητη, η ερευνητική κοινότητα από καιρό θέτει ερωτήματα ως προς τον βαθμό στον οποίο αυτά τα μοντέλα έχουν ουσιαστικά υποστηρίξει τους φορείς χάραξης πολιτικής (π.χ. [Schneider, 1997](#), [Kelly and Kolstad, 1999](#) και [Watkiss et al., 2010](#)).

Τόσο η κλιματική αλλαγή όσο και η πολιτική μετριασμού ή/και προσαρμογής σε αυτήν χαρακτηρίζονται από σημαντικά επίπεδα διαφορετικών τύπων αβεβαιότητας και κινδύνων. Αυτοί αφορούν πληθώρα ζητημάτων, από τα μελλοντικά επίπεδα συγκέντρωσης άνθρακα έως τις κοινωνικοοικονομικές εξελίξεις που εν τέλει θα προάγουν ή θα παρεμποδίσουν την υιοθέτηση και εφαρμογή μέτρων πολιτικής σε αυτήν την κατεύθυνση, όπως η δυνατότητα χρηματοδότησης της τεχνολογικής καινοτομίας ή τα επίπεδα κοινωνικής αποδοχής των πολιτικών. Όπως συζητείται στο [Κεφάλαιο 2](#), η αβεβαιότητα μπορεί να πλασιωθεί ως μία ευρεία έννοια που αναφέρεται στη γενικότερη έλλειψη γνώσης ή συμφωνίας επί πιθανών εκβάσεων και των πιθανοτήτων αυτών. Ο κίνδυνος, επομένως, μπορεί να οριστεί ως μία πιθανή αρνητική έκβαση και πηγάζει από μία αβεβαιότητα και σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από την εστίαση μίας μελέτης, ανεξαρτήτως από το εάν είναι εφικτό να ποσοτικοποιηθεί επακριβώς ως πιθανότητα ή να της αποδοθεί μία ποιοτική εκτίμηση της πιθανότητας να πραγματοποιηθεί, π.χ. με βάση την εμπειρία των ενδιαφερόμενων φορέων και εμπειρογνομόνων.

Από επιστημονικής πλευράς, και όπως συμβαίνει με όλα τα τυποποιημένα πλαίσια μοντελοποίησης, τα ΜΟΑ αναπόφευκτα αδυνατούν να ενσωματώσουν όλους τους τύπους αβεβαιότητας και ρίσκου, όταν χρησιμοποιούνται από μόνα τους. Αυτή η εξαίρεση μπορεί να έχει σημαντικές επιδράσεις στα αποτελέσματα της μοντελοποίησης, οι οποίες όμως μπορούν να περιοριστούν εάν η γνώση των ειδικών εξαχθεί δομημένα και ληφθεί ουσιαστικά υπόψιν, προς γεφύρωση των γνωσιακών χασμάτων. Ταυτόχρονα, τα τυποποιημένα πλαίσια μοντελοποίησης συνήθως θέτουν περιορισμούς και αναπαραστάσεις που δεν δικαιολογούνται ή υποστηρίζονται από την υποκείμενη γνώση, ενδέχεται να συναθροίζουν τα αποτελέσματα σε διαφορετικές κλίμακες, και δεν δύνανται να μοντελοποιήσουν επακριβώς όλα τα είδη πολιτικής ([Agrawala et al., 2010](#)), για παράδειγμα τα «μαλακά» μέτρα που αφορούν στην ανθρώπινη συμπεριφορά (π.χ. η διάχυση γνώσης μέσω εκστρατειών εκπαίδευσης και δημόσιας ενημέρωσης). Αυτή είναι μία αναμενόμενη αδυναμία των μοντέλων κλίματος-οικονομίας, τα οποία μπορούν μόνο εμμέσως να μοντελοποιήσουν και υπολογίσουν τις οικονομικές επιπτώσεις των κλιματικών πολιτικών.

Από την πλευρά της πολιτικής, οι φορείς χάραξης κλιματικής πολιτικής συνήθως δυσκολεύονται να κατανοήσουν τις περίπλοκες διεργασίες του πολύ μεγάλου πλήθους των υφιστάμενων ΜΟΑ, να έχουν εποπτεία των διαφόρων υποθέσεων που καθοδηγούν τις μοντελικές προσομοιώσεις, και εν τέλει να εμπιστευτούν τα «μαύρα κουτιά», όπως τα βλέπουν ([Kelly and Kolstad, 1999](#)). Επίσης, όπως συμβαίνει και με κάθε άλλη ομάδα ενδιαφερόμενων ή εμπλεκόμενων φορέων, οι φορείς χάραξης πολιτικής δεν συμμετέχουν πάντα εμπράκτως στις μοντελικές διεργασίες, παρά μόνο ίσως σε κάποιες περιορισμένες, προκαταρκτικές συζητήσεις που αποσκοπούν στη διαμόρφωση μέρους των χρησιμοποιούμενων υποθέσεων ([van Vliet et al., 2010](#)).

Αυτές οι αδυναμίες των ΜΟΑ συνηγορούν στην υιοθέτηση ενός νέου, ολοκληρωμένου επιστημονικού υποδείγματος που βασίζεται στην αξιοποίηση επιπρόσθετων μοντέλων για την υποστήριξη της σχεδίασης κλιματικής πολιτικής. Τέτοια οφείλουν να περιλαμβάνουν μεθόδους και εργαλεία που δεν

γεφυρώνουν απλώς το χάσμα μεταξύ φορέων χάραξης πολιτικής ή άλλων ενδιαφερόμενων ομάδων και των επιστημονικών διεργασιών, αλλά επίσης επιτρέπουν την κινητοποίηση της γνώσης και εμπειρίας τους για την αναγνώριση και αξιολόγηση των διαφόρων ρίσκων και αβεβαιοτήτων. Υπάρχει μεγάλο πλήθος τέτοιων εργαλείων, τα οποία χαρακτηρίζονται από διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας, ικανότητας αναγνώρισης και εκτίμησης κινδύνων και αβεβαιοτήτων, και ευελιξίας να εμπλακούν εμπειρογνώμονες, να καλύψουν πολλαπλούς τομείς και να προσαρμόζονται στο αντικείμενο και το πεδίο μίας μελέτης. Αυτά περιλαμβάνουν την ανάλυση κόστους-οφέλους (cost-benefit analysis), τους ασαφείς γνωστικούς χάρτες (fuzzy cognitive maps), την ανάλυση κύκλου ζωής (life cycle assessment), τα πολυκριτηριακά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (multi-criteria decision making), την ανάλυση χαρτοφυλακίου (portfolio analysis), τη χαρτογράφηση συστήματος (system mapping), και τα πλαίσια συστημάτων καινοτομίας (systems of innovation), όπως τα τεχνολογικά συστήματα καινοτομίας (technological innovation systems) και το πλαίσιο πολλαπλών επιπέδων (multi-level perspective).

Η ανάλυση κόστους-οφέλους έχει θεμελιωθεί ως εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων σχετικών με την εκτίμηση της οικονομικής αποδοτικότητας παρεμβάσεων σε πολλούς χώρους προβλημάτων, συμπεριλαμβανομένης της κλιματικής πολιτικής (π.χ. Tol, 2012· van den Bergh, 2004· και van den Bergh and Boltzen, 2015). Ωστόσο, χαρακτηρίζεται από σημαντικούς περιορισμούς όσον αφορά τις δυνατότητές της να ενσωματώσει αβεβαιότητες ή να ποσοτικοποιήσει μη αγοραία αγαθά καθώς και κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Shreve and Kelman, 2014). Η ανάλυση κύκλου ζωής επίσης έχει καθιερωθεί στην ανάλυση αποφάσεων (Miettinen and Hämäläinen, 1997) αλλά, όσον αφορά την κλιματική πολιτική, η ανάγκη για διαθεσιμότητα δεδομένων, ο ασαφής ορισμός των συστημικών ορίων, οι χρονικές απαιτήσεις και το πλήθος των υποθέσεων ενδεχομένως περιορίζουν την καταλληλότητα της μεθόδου σε αυτό το πεδίο. Παρά τις αδυναμίες αυτές, η ανάλυση κύκλου ζωής έχει κυρίως χρησιμοποιηθεί σε μελέτες ανάλυσης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, με συμπεράσματα σχετικά και με την κλιματική αλλαγή και πολιτική για την ηλεκτροπαραγωγή (π.χ. Georgakellos, 2012· και Stamford and Azapagic, 2014), τις μεταφορές (π.χ. Ashnani et al., 2015· και Lullo et al., 2016), τον κτιριακό τομέα (e.g. Le Teno and Mareschal, 1998· και Tsai et al., 2014), και τη γεωργία και χρήση γης (π.χ. Røyne et al., 2016· και Humpenöder et al., 2013). Η χαρτογράφηση συστημάτων είναι ένα αμιγώς ποιοτικό, καθοδηγούμενο από εμπειρογνώμονες εργαλείο που χαρακτηρίζεται από σχετική ευελιξία διερεύνησης διαφόρων πτυχών ενός συστήματος και των συνδέσμων του με την πολιτική, και που μπορεί να βοηθήσει στον προσδιορισμό κινδύνων σχετικών με την πολιτική, αλλά πρόσφατα πλασιώθηκε στο πεδίο της κλιματικής πολιτικής (Nikas et al., 2017). Τόσο τα τεχνολογικά συστήματα καινοτομίας όσο και το πλαίσιο πολλαπλών επιπέδων εστιάζουν στην τεχνολογική καινοτομία και, επομένως, δεν έχουν αξιοποιηθεί επαρκώς στο πεδίο της κλιματικής πολιτικής· χρησιμοποιούνται πρωτίστως για κοινωνικοτεχνικές μελέτες στον ενεργειακό τομέα (π.χ. Edsand, 2017· και Moallemi et al., 2017) και τις μεταφορές (Hellsmark and Jacobsson, 2009· και Auvinen et al., 2015). Παρά τη δυνατότητά τους να αναγνωρίσουν εμπόδια και κινδύνους, όμως, και τα δύο πλαίσια είναι αμιγώς ποιοτικά και παρέχουν λίγες πληροφορίες στη μακροπρόθεσμη πολιτική (Lai et al., 2012) και περιορισμένη γεωγραφική κάλυψη (Geels, 2012), και οι δύο αδυναμίες εκ των οποίων αποτελούν βασικές παραμέτρους της κλιματικής πολιτικής. Στο κεφάλαιο αυτό, ξεχωρίζουμε τους ΑΓΧ, τα ΠΣΥΑ και την ΑΧ, τα οποία επισημαίνει ένας ολοένα αυξανόμενος αριθμός μελετών ως υποσχόμενες οδούς γεφύρωσης του χάσματος μεταξύ φορέων χάραξης πολιτικής (και λοιπών ενδιαφερόμενων ομάδων) και διεργασιών μοντελοποίησης, σε σχέση με τις προαναφερθείσες αδυναμίες των ΜΟΑ, καθώς και υποστήριξης της λήψης αποφάσεων σε διάφορα πεδία εφαρμογής της κλιματικής πολιτικής.

Αναγνωρίζοντας ότι αυτά τα μοντέλα υποστήριξης αποφάσεων είναι, συγκριτικά με τα ΜΟΑ, σημαντικά λιγότερο λεπτομερή αλλά μπορούν να προσθέσουν αξία σε άλλες διαστάσεις της ανάλυσης κλιματικής πολιτικής, στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να παρουσιάσει συνοπτικά τις μεθοδολογίες και να παρέχει μία λεπτομερή, κριτική ανασκόπηση αυτών, αποσκοπώντας στη διερεύνηση των δυνατοτήτων τους να αποτελέσουν μέρος του προτεινόμενου επιστημονικού υποδείγματος και να υποστηρίξουν ουσιαστικά τη λήψη αποφάσεων σε συγκεκριμένα προβλήματα κλιματικής πολιτικής. Σε αυτήν την κατεύθυνση, η επόμενη ενότητα πραγματοποιεί μία συνοπτική ανασκόπηση βασικών αδυναμιών των ΜΟΑ που παρουσιάστηκαν στο [Κεφάλαιο 3](#), ενώ οι [Ενότητες 4.3](#), [4.4](#) και [4.5](#) παρουσιάζουν μία λεπτομερή επισκόπηση και βιβλιογραφική ανασκόπηση των ΑΓΧ, ΠΣΥΑ και ΑΧ αντίστοιχα, και η [Ενότητα 4.6](#) συνοψίζει τα συμπεράσματα της μελέτης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δημοσιεύσεις που ανασκοπήθηκαν για τους σκοπούς του παρόντος κεφαλαίου προσδιορίστηκαν πρωτίστως στη βάση αναζητήσεων στις ακαδημαϊκές μηχανές αναζήτησης Scopus και Google Scholar, για διαφορετικές λέξεις-κλειδιά (π.χ. “climate policy” AND “multiple criteria”, “climate change” AND “multicriteria”, “mitigation” AND “MCDM”, κλπ. για τα ΠΣΥΑ), και περιλαμβάνουν άρθρα έγκριτων επιστημονικών περιοδικών, κεφάλαια βιβλίων και δημοσιεύσεις συνεδρίων. Επίσης, ευρύτερες αναζητήσεις πραγματοποιήθηκαν σε συγκεκριμένα επιστημονικά περιοδικά και βιβλία, κατόπιν μελέτης του πλήθους και της θεματικής εστίασης των σχετικών δημοσιεύσεων που ανακτήθηκαν στα αποτελέσματα των αρχικών αναζητήσεων.

4.2 Τα ΜΟΑ και η ανάγκη για ολοκλήρωση

Όπως αναλύθηκε στο [Κεφάλαιο 3](#), το μεγάλο πλήθος και η ποικιλομορφία των ΜΟΑ σε έναν βαθμό εκφράζει το εύρος των υποκείμενων επιστημονικών πεδίων που επηρεάζουν τον σχεδιασμό της δομής τους καθώς και το σύνολο των υποθέσεων που καθοδηγούν τις προσομοιώσεις τους, αλλά και των διαφορετικών ερωτημάτων που καλούνται να απαντήσουν. Από την πληθώρα ανασκοπήσεων των ΜΟΑ, καθεμία εστιάζει σε διαφορετικές πτυχές των μοντέλων αυτών. Για παράδειγμα, οι Kelly and Kolstad (1999) και, αρκετά αργότερα, οι Stanton et al. (2009) διερεύνησαν διαφορετικές πτυχές των ΜΟΑ: την ενδογενή και εξωγενή ρύθμιση της τεχνολογικής αλλαγής, τις επιστημονικές αβεβαιότητες που σχετίζονται με τις προβλέψεις των μελλοντικών κλιματικών εκβάσεων και επακόλουθων ζημιών, κλπ. Ο Füssel (2010) έδωσε έμφαση στην ενσωμάτωση της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή μέσα στα ΜΟΑ και οι Ortiz and Markandya (2010) στα μαθηματικά των μοντέλων αυτών και, συγκεκριμένα, στις συναρτήσεις ζημίας που χρησιμοποιούν· ενώ ο Schwanitz (2013) πιο πρόσφατα πρότεινε ένα μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης των διαφορετικών ΜΟΑ. Άλλες πιο ευρείες ή εστιασμένες ανασκοπήσεις πραγματοποιήθηκαν από τους Dowlatabadi (1995), Parson and Fisher-Vaden (1997), Rana and Morita (2000), Soderholm (2007) και Wei et al. (2015). Ο μεγάλος αριθμός τέτοιων ανασκοπήσεων στη βιβλιογραφία και οι σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους υποδεικνύουν την ποικιλία και το πολυσύνθετο των ΜΟΑ. Αφενός, είναι τόσο φυσικό όσο και επιθυμητό ότι, σε ένα τόσο ευρύ αντικείμενο που δύναται να αναλυθεί με τόσες διαφορετικές προσεγγίσεις, υπάρχει ποικιλία· από την άλλη, ο πολλαπλασιασμός των ΜΟΑ μπορεί να καθιστά δύσκολη την κατανόηση των δυνατών και αδύνατων σημείων και την εκτίμηση της καταλληλότητας κάθε μοντέλου για κάθε εφαρμογή. Αφετέρου, είναι αναμενόμενο ότι τα πλαίσια μοντελοποίησης που επιζητούν να εκπροσωπήσουν την πολυσύνθετη, διεπιστημονική διασύνδεση μεταξύ κλίματος, οικονομίας, ενέργειας και περιβάλλοντος είναι από μόνα τους πολυσύνθετα, γεγονός που καταδεικνύει ότι τα αποτελέσματά τους προέρχονται από διεξοδικά επεξεργασμένες διεργασίες· με την σειρά του, όμως, αυτό το γεγονός μπορεί να καθιστά

πολύ δύσκολη την κατανόηση των χαρακτηριστικών τους και την εμπιστοσύνη στα αποτελέσματά τους, από πλευράς ερευνητών και λοιπών επιστημόνων, πόσο μάλλον φορέων χάραξης πολιτικής.

Ο βασικός σκοπός αυτής της σύντομης ενότητας είναι, ακολουθώντας την κατηγοριοποίηση του [Κεφαλαίου 3](#), να επισημάνει βασικές αδυναμίες των ΜΟΑ, η ανάγκη αντιμετώπισης των οποίων διαμορφώνει το δυναμικό ολοκλήρωσης και συνδυασμού των ΜΟΑ με άλλα μοντέλα υποστήριξης αποφάσεων. Υπενθυμίζεται ότι η φύση των ΜΟΑ δεν επιτρέπει την πλήρως συνεπή κατηγοριοποίησή τους στις έξι προτεινόμενες κλάσεις. Για παράδειγμα, τα νεοκλασικά μοντέλα AIM/Dynamic Global ([Masui et al., 2006](#)) και RICE ([Nordhaus, 1994](#)) μπορούν επίσης να θεωρηθούν ως μοντέλα γενικής ισορροπίας.

Έτσι, τα νεοκλασικά μοντέλα ή μοντέλα βέλτιστης ανάπτυξης ή μοντέλα μεγιστοποίησης ευημερίας εστιάζουν στην μεγιστοποίηση της καθαρής παρούσας αξίας της ευημερίας στον άξονα του χρόνου ([Nordhaus, 2008](#)), επιλέγοντας πόσες εκπομπές πρέπει να μετριασθούν σε κάθε χρονική περίοδο. Πέραν της σχετικής διαφάνειας που προσφέρουν, τα δυνατά και αδύνατα σημεία των μοντέλων αυτής της κατηγορίας εξαρτώνται από τη δομή και μεθοδολογική προσέγγιση καθενός εκ των ΜΟΑ. Ενδεικτικά, το μοντέλο MERGE ([Manne and Richels, 2005](#)) καλύπτει εκπομπές άνθρακα τόσο για τις υφιστάμενες όσο και για τις μελλοντικές τεχνολογίες, αλλά η συνύπαρξη μη αγοραίων ζημιών εισάγει υψηλές αβεβαιότητες και το μεγάλο μέγεθος του καθιστά τη δομή του ακόμη πιο σύνθετη. Το μοντέλο GRAPE ([Kurosawa et al., 1999](#)) καλύπτει την αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα καθώς και εκπομπές από τη χρήση γης αλλά ταυτόχρονα εξαιρεί το μεθάνιο και χαρακτηρίζεται από υψηλή αβεβαιότητα σχετικά με την αποθήκευση του άνθρακα. Τέλος, το μοντέλο FEEM-RICE ([Buonanno et al., 2003](#)) χαρακτηρίζεται από συνέπεια σε μεγάλες μεταβολές των παραμέτρων του αλλά δεν λαμβάνει υπόψη την αυξανόμενη αποτελεσματικότητα των τεχνολογιών αρνητικών εκπομπών άνθρακα.

Εν συνεχεία, τα μοντέλα γενικής ισορροπίας υποστηρίζουν την κλιματική πολιτική, υπολογίζοντας πώς «κλωνισμοί» στην οικονομία, δηλαδή αλλαγές σε μία ή περισσότερες εξωγενείς παραμέτρους, μπορούν να επηρεάσουν την αγοραία ισορροπία, δίνοντας επομένως χρήσιμες πληροφορίες στη συμπεριφορά της αγοράς έναντι συγκεκριμένων πολιτικών. Με αυτόν τον τρόπο, τα μοντέλα γενικής ισορροπίας δύνανται να προσδιορίσουν το κέρδος ή την απώλεια ευημερίας του αντιπροσωπευτικού παράγοντα, ως αποτέλεσμα κλωνισμών παραγωγικότητας, αλλά δεν μπορούν να καταγράψουν επιπτώσεις που δεν συνδέονται σχετικά άμεσα με την αγορά, όπως είναι οι απώλειες σε βιοποικιλότητα ή ορισμένα κοινωνικά ρίσκα. Πάλι, παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάμεσα στα μοντέλα της κατηγορίας, ως προς τα προτερήματα και μειονεκτήματά τους. Για παράδειγμα, το μοντέλο WORLDSCAN ([Lejour et al., 2006](#)) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή μακροπρόθεσμων σεναρίων καθώς και ως εργαλείο ανάλυσης των επιπτώσεων πολύπλευρων πολιτικών (π.χ. [Bollen and Gielen, 1999](#)), αλλά εξαιρούν πολυάριθμες ενώσεις από το σύνολο εκπομπών τους, ενώ το μοντέλο ICES ([Bosello et al., 2009](#)) καλύπτει όλες τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που ορίζονται στο Πρωτόκολλο του Κιότο καθώς και παρέχει ευελιξία ως προς τις περιφερειακές και τομεακές αθροίσεις (π.χ. [Parrado and De Cian, 2014](#)) αλλά δεν θεωρεί παρά τους βασικούς πόρους οικονομικής ανάπτυξης.

Τα μοντέλα μερικής ισορροπίας, από την άλλη, βασίζονται στα ίδια θεωρητικά θεμέλια με τα γενικής ισορροπίας, αλλά εστιάζουν σε έναν συγκεκριμένο τομέα (ή αριθμό τομέων), υποθέτοντας ότι οι συνθήκες στους υπόλοιπους τομείς της οικονομίας παραμένουν σταθερές. Ως αποτέλεσμα, χαρακτηρίζονται από ένα καλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας όσον αφορά τους τομείς εστίασης, αλλά δεν δύνανται να καταγράψουν τις πλήρεις επιπτώσεις της διάδοσης των τομεακών ζημιών κατά μήκος

ολόκληρης της οικονομίας, ούτε συνήθως προσπαθούν να καλύψουν το σύνολο των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, όπως συμβαίνει και με το μοντέλο MiniCAM (Edmonds and Reiley, 1985).

Μία υποκατηγορία αυτών, τα μοντέλα ενεργειακών συστημάτων, εστιάζουν στον βασικό υπαίτιο οικονομικό τομέα για το μεγαλύτερο μέρος εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, σύμφωνα με την ΔΕΚΑ (Edenhofer et al., 2014), τον ενεργειακό. Δύνανται να προσομοιώσουν εναλλακτικές ενεργειακές μελλοντικές εξελίξεις (Mundaca et al., 2010), χωρίς να περιορίζονται στην επίτευξη στόχων εκπομπών με το χαμηλότερο κόστος, περιλαμβάνοντας τεχνολογικές ευκαιρίες ή κόστη εναλλακτικών πολιτικών. Ορισμένες ταξινομήσεις των ενεργειακών μοντέλων, μεταξύ των πλέον δημοφιλών εκ των οποίων είναι τα MARKAL (Fishbone and Abiock, 1981) και MESSAGE (Messner, 1997), τα διαχωρίζουν ανάμεσα σε μοντέλα προσομοίωσης και μοντέλα βελτιστοποίησης (π.χ. Jebaraj and Iniyar, 2006· ή Worrell et al., 2004). Παρά το αυξημένο επίπεδο λεπτομέρειας αυτών των μοντέλων—το οποίο συχνά τα καθιστά ιδιαίτερα περίπλοκα, όπως για παράδειγμα το μοντέλο GENIE (Mattsson and Wene, 1997), ή οδηγεί στην εξαίρεση άλλων τομέων ή ακόμη και κλιματικών υπομονάδων, όπως για παράδειγμα στο μοντέλο DNE21+ (Sano et al., 2005)—ορισμένες φορές αγνοούν εξειδικευμένες αγορές και ζητήματα εκμάθησης, όπως π.χ. το μοντέλο GET-LFL (Hedenus et al., 2005).

Τα μακροοικονομικά μοντέλα, από την άλλη, είναι υβριδικά μοντέλα ως προς την τάση τους να συνδυάζουν από πάνω προς τα κάτω μακροοικονομικά μοντέλα με από κάτω προς τα πάνω ενεργειακές υπομονάδες, αποσκοπώντας στην αποτύπωση μίας μη γραμμικής εικόνας της οικονομικής αλλαγής σε ένα πολυτομεακό πλαίσιο, καταγράφοντας το χρονικό μονοπάτι της οικονομίας μέσα από βραχυπρόθεσμες ρυθμίσεις ανισορροπίας. Μία από τις βασικές διαφορές τους, η οποία αποτελεί και βασικό δυνατό τους σημείο έναντι άλλων μοντέλων, είναι ότι αποτελούν μοντέλα ανισορροπίας που, αντίθετα από τα νεοκλασικά ή τα γενικής και μερικής ισορροπίας, προσεγγίζουν την ισορροπία μακροπρόθεσμα. Πιο σημαντικά, όμως, και παρά τις πρόσφατες συστάσεις ότι δεν διαφέρουν ιδιαίτερα από τα μοντέλα γενικής ισορροπίας (Kratena and Streicher, 2009), τα μακροοικονομικά μοντέλα επιχειρούν να καταγράψουν τις διαδράσεις κλίματος-οικονομίας πιο ρεαλιστικά, εφόσον δεν αποδίδουν βελτιωτική συμπεριφορά στους συντελεστές του συστήματος. Τέτοια μοντέλα, όπως τα Ε3ΜΕ (Barker and Zagame, 1995) και Ε3ΜΓ (Barker et al., 2006), δεν θεωρούνται εξίσου κατάλληλα για την αποτύπωση βραχυπρόθεσμων φαινομένων, τουλάχιστον συγκριτικά με μοντέλα ισορροπίας.

Τέλος, τα μοντέλα που δεν δύνανται να ταξινομηθούν σε οποιαδήποτε εκ των πέντε κατηγοριών, όπως τα FUND (Tol, 1997) και ICAM-3 (Dowlatabadi, 1998, 2000), παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, τόσο ως προς τη δομή και προσέγγισή τους όσο και ως προς τα επακόλουθα δυνατά και αδύναμα σημεία τους. Ενδεικτικά, πέραν της πολύ απλής δομής και σύνθεσής τους, το PAGE2002 (Hope, 2006), στο οποίο βασίστηκε η μελέτη του Stern (2007), λαμβάνει υπόψιν μεγάλης κλίμακας κλιματικές αστάθειες και εισάγει στοχαστική αβεβαιότητα σε όλες τις παραμέτρους των συναρτήσεων ζημίας. Όμως, περιλαμβάνει μόνο τα άμεσα κόστη μετριασμού εκπομπών και δεν λαμβάνει υπόψιν μικρότερα πλεονεκτήματα της κλιματικής δράσης (π.χ. Goulder, 1995· Carraro et al. 1996).

Πέραν των μεγάλων διαφοροποιήσεων μεταξύ των κατηγοριών των ΜΟΑ, όλα τα μοντέλα αυτά χαρακτηρίζονται από πολύ μεγάλο αριθμό υποθέσεων (Watkiss et al., 2010) και τείνουν να είναι πολύ περίπλοκα για να κατανοηθούν και αξιοποιηθούν από φορείς χάραξης πολιτικής (Nikas and Doukas, 2016). Άλλες σχετικές αδυναμίες τους συνοψίζονται στη δυσκολία μοντελοποίησης των επιπτώσεων όλων των πιθανών μέτρων πολιτικής μετριασμού και προσαρμογής ή ενσωμάτωσης κινδύνων και αβεβαιοτήτων που είναι εγγενείς στην κλιματική αλλαγή και δράση, καθώς και τον μικρό βαθμό στον οποίο επιτρέπουν τη συμμετοχή λοιπών εμπειρογνομόνων και ενδιαφερόμενων φορέων στις

μοντελικές διεργασίες. Οι τελευταίοι είναι εξίσου κρίσιμοι για τις επιστημονικές διαδικασίες σε αυτό το πεδίο, αφού εκπροσωπούν του θεσμικούς και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες που πρέπει να προάγουν τις επιθυμητές τεχνολογικές και ρυθμιστικές καινοτομίες, καθώς και τους νέους τρόπους ζωής που υποτίθενται στην κλιματική δράση του μέλλοντος. Έτσι, οφείλουν να είναι μέρος των επιστημονικών αναλύσεων που ενημερώνουν τις διεργασίες χάραξης πολιτικής (Doukas et al., 2018).

Στην επιδίωξη ενός νέου επιστημονικού υποδείγματος, όπως αυτό ορίζεται στο [Κεφάλαιο 2](#), οι ακόλουθες ενότητες διερευνούν τρία μοντέλα υποστήριξης αποφάσεων που δύνανται να ενισχύσουν τις επιστημονικές διεργασίες προς υποστήριξη της διαμόρφωσης κλιματικής πολιτικής, και υπό το πρίσμα των αδυναμιών των ΜΟΑ που επισημάνθηκαν.

4.3 ΑΓΧ, μία προσέγγιση ημιποσοτικής μοντελοποίησης

Οι ΑΓΧ, ως προσέγγιση μοντελοποίησης, έχουν τη ρίζα τους στην γνωστική χαρτογράφηση (cognitive mapping), μία τεχνική αμιγώς ποιοτικής μοντελοποίησης που αποσκοπεί στην καταγραφή των αξιών, πεποιθήσεων και υποθέσεων των ανθρώπων σχετικά με ένα συγκεκριμένο ζήτημα, πρόβλημα ή πεδίο, σε διαγραμματική μορφή (Eden and Ackermann, 1998), επιτρέποντας ad hoc δομή (Brown, 1992) και, ως εκ τούτου, απεριόριστη ελευθερία. Ένας γνωστικός χάρτης μπορεί να οριστεί ως η γραφική αναπαράσταση ενός συστήματος, στην οποία κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει μία συγκεκριμένη έννοια μέσα στο σύστημα και κάθε ακμή την αντιληπτή διασύνδεση μεταξύ δύο εννοιών. Λειτουργούν ως ένα μεταβατικό αντικείμενο που χρησιμοποιείται από εμπειρογνώμονες για την έκφραση και κατανόηση της γνώσης τους σχετικά με τη δομή ενός συγκεκριμένου χώρου προβλήματος, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν, μεταξύ άλλων, για τη διερεύνηση και εκτίμηση της επιρροής, της αιτιότητας και της δυναμικής ενός συστήματος (Huff, 1990). Ο Kosko (1986), όμως, υποστήριξε ότι οι γνωστικοί χάρτες είναι πολύ περιοριστικοί για την κατασκευή γνώσης, επειδή η αιτιώδης επίδραση μεταξύ εννοιών περιλαμβάνει ασάφεια και δεν μπορεί επαρκώς να περιγραφεί απλώς με τη χρήση ακμών. Έτσι, εισήγαγε την ιδέα των ΑΓΧ, στους οποίους οι αιτιώδεις σχέσεις επίσης ποσοτικοποιούνται μέσω βαρών αιτιότητας. Επιτρέποντας βρόχους ανάδρασης, οι ΑΓΧ θεωρούνται παρόμοιοι με άλλα ποσοτικά αιτιώδη μοντέλα (π.χ. δυναμική συστημάτων). Ως ημιποσοτικά μοντέλα, όμως, δεν απαιτούν ιστορικά δεδομένα ή μετάφραση ποιοτικής εισόδου στα ποσοτικά συστήματα (Jetter and Schweinfort, 2011).

Οι ΑΓΧ συνήθως περιλαμβάνουν μία εντατική διεργασία συμμετοχής ενδιαφερόμενων φορέων, κατά τη διάρκεια της οποίας η γνώση των τελευταίων μεταφράζεται σε κόμβους εννοιών (π.χ. γεγονότα, στόχους πολιτικής, τάσεις συστήματος, οδηγούς μετάβασης, κίνδυνους και αβεβαιότητες) και σε αιτιώδεις συνδέσμους (δηλαδή σταθμισμένες διασυνδέσεις) που μαζί συναποτελούν το μοντέλο αναπαράστασης του ΑΓΧ. Μετά τη σχεδίαση του ΑΓΧ, η συστηματική διάδοση της αιτιότητας (Kosko, 1986) μπορεί να καταγραφεί μέσω προσομοιώσεων (Papageorgiou and Kontogianni, 2012), βάσει τεχνικών δανεισμένων από τα νευρωνικά δίκτυα. Σε αυτήν την κατεύθυνση, μίας συνάρτηση καθοδήγησης της προσομοίωσης (ή συνάρτηση ενεργοποίησης) και μία συνάρτηση μεταφοράς (ή συνάρτηση μετασχηματισμού ή κατωφλίου) χρησιμοποιούνται για την ενεργοποίηση και καταγραφής της αιτιώδους διάδοσης. Αυτές οι προσομοιώσεις μπορούν είτε να συγκλίνουν σε ένα σταθερό σημείο είτε να καταλήξουν σε μία ανεπιθύμητη κατάσταση (π.χ. Dickerson and Kosko, 1994), κάτι που εξαρτάται από τρεις διαστάσεις: τη δομή του ΑΓΧ, τα βάρη των συνδέσμων και το διάνυσμα της αρχικής κατάστασης. Η ανάλυση επιτρέπει την δοκιμή καταπόνησης του υπό εξέταση συστήματος σε πολλαπλά διαφορετικά σενάρια, κάνοντας προσομοιώσεις και αλλάζοντας κάθε φορά μόνο μία εκ των τριών

αυτών κρίσιμων διαστάσεων. Με τον τρόπο αυτό, συγκρίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων των διαφορετικών σεναρίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υποστηρίξουν τη λήψη αποφάσεων ή την κατασκευή και ανάλυση σεναρίων (Stach et al., 2010).

Ως τεχνική ημι- ή ψευδο-ποσοτικής μοντελοποίησης, οι ΑΓΧ χαρακτηρίζονται από διάφορα πλεονεκτήματα συγκριτικά με άλλες συμμετοχικές ερευνητικές μεθόδους ή/και πιο αυστηρώς δομημένα πλαίσια μοντελοποίησης. Δεδομένης της υψηλής ευελιξίας τους, της μικρής εξάρτησής τους από τη διαθεσιμότητα δεδομένων και το γεγονός ότι χτίζονται και καθοδηγούνται από την ανθρώπινη γνώση και εμπειρία, οι ΑΓΧ έχουν προσελκύσει σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον την τελευταία δεκαετία. Ειδικά αναφορικά με τη χάραξη πολιτικής, οι ΑΓΧ φημίζονται για τη δυνατότητά τους να φέρουν τους ερευνητές στο πεδίο της μοντελοποίησης και τους εμπειρογνώμονες (συμπεριλαμβανομένων των φορέων χάραξης πολιτικής) κοντά, κάνοντας τους δεύτερους να νιώθουν ένα απαραίτητο και εκτιμώμενο μέρος της διαδικασίας, και επομένως πιο πρόθυμους να αξιοποιήσουν τα επιστημονικά αποτελέσματα. Ως εκ τούτου, οι ΑΓΧ έχουν ευρέως εφαρμοσθεί στα ποικίλα και διεπιστημονικά πεδία της περιβαλλοντικής και ενεργειακής πολιτικής.

Μόνο ένας μικρός αριθμός εφαρμογών ΑΓΧ στη βιβλιογραφία αφορά ρητά την υποστήριξη της κλιματικής πολιτικής. Από μία ευρύτερη σκοπιά, όμως, υπάρχουν αρκετές μελέτες που περιστρέφονται γύρω από τον κλιματικό χώρο προβλήματος και έχουν σημαντικές άμεσες ή έμμεσες προεκτάσεις για την χάραξη κλιματικής πολιτικής. Τα πεδία εφαρμογών αυτών ποικίλλουν, περιλαμβάνοντας από αναλύσεις σεναρίων κλιματικής αλλαγής έως εφαρμογές αξιολόγησης στρατηγικών πολιτικής, με σκοπό την υποστήριξη λήψης αποφάσεων και σχεδιασμού πολιτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, και περιβαλλοντικής διαχείρισης. Οι εφαρμογές αναλύσεων σεναρίων κατά βάση μελετούν εναλλακτικά σενάρια κλιματικής αλλαγής ή εναλλακτικών μελλοντικών συστημικών εξελίξεων σε αυτά τα σενάρια (π.χ. Anezakis et al., 2016), χωρίς απαραίτητα να περιλαμβάνουν κάποιες συγκεκριμένες πολιτικές. Οι εφαρμογές περιβαλλοντικής πολιτικής καλύπτουν την προστασία οικοσυστημάτων και τη λήψη αποφάσεων στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό (π.χ. Özesmi and Özesmi, 2003· και Vassilides and Jensen, 2016). Οι εφαρμογές στην προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή αναφέρονται στη μελέτη της ανθεκτικότητας ενός συστήματος και την αξιολόγηση δράσεων που αποσκοπούν στην απόκριση στην κλιματική αλλαγή (Reckien, 2014· Gray et al., 2014). Όλες οι άλλες εφαρμογές περιστρέφονται γύρω από επιλογές πολιτικής που αφορούν στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, αναφορικά με την ανάπτυξη της γεωργίας και της χρήσης γης (π.χ. Nair and Singh, 2012), τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. Hsueh, 2015) και τον ηλεκτρικό σχεδιασμό (π.χ. Karavas et al., 2015), καθώς και την πράσινη μετάβαση του τομέα μεταφορών (Shiaua and Liu, 2013· Kontogianni et al., 2013). Για την ανάπτυξη μίας συνεπούς και συνολικά εξαντλητικής κατηγοριοποίησης, αυτές οι εφαρμογές χωρίζονται με κριτήριο τον οικονομικό τομέα που αφορούν (Πίνακας 4.1).

Η προσέγγιση που χρησιμοποιείται κάθε φορά για την εξαγωγή της εισόδου από τους ενδιαφερόμενους φορείς/εμπειρογνώμονες και μετάφρασης αυτής στην οπτική αναπαράσταση του χώρου προβλήματος είναι σημαντική: διαφορετικές προσεγγίσεις εμπλοκής των εμπειρογνομόνων επιτρέπουν την ενσωμάτωση διαφορετικών επιπέδων λεπτομέρειας στο μοντέλο. Σε ένα πρώτο βήμα, είτε ζητείται από τους εμπειρογνώμονες να σχεδιάσουν απευθείας τους ΑΓΧ μέσω συνεντεύξεων ή ερωτηματολογίων, είτε διευκολύνονται στη συλλογική σχεδίαση ενός μοναδικού ΑΓΧ στο πλαίσιο ενός workshop (εργαστηρίου). Η πιο συνήθης προσέγγιση των συνεντεύξεων ακολουθείται από εργαστήρια και ημι-δομημένα ερωτηματολόγια, παρότι έχουν υπάρξει εφαρμογές στις οποίες οι ερευνητές έχουν σχεδιάσει το μοντέλο τους αποκλειστικά με τη χρήση ιστορικών δεδομένων. Ο Πίνακας 4.1 παρέχει μία

επισκόπηση όλων των εφαρμογών ΑΓΧ με άμεσα ή έμμεσα συμπεράσματα και προεκτάσεις για την κλιματική πολιτική, καθώς και του οικονομικού τομέα και του τρόπου συμμετοχής των ενδιαφερόμενων φορέων.

Πίνακας 4.1 Επισκόπηση βιβλιογραφίας ΑΓΧ στο πεδίο της κλιματικής πολιτικής.

Δημοσίευση	Αντικείμενο μελέτης	Τομέας εστίασης				Τρόπος συμμετοχής εμπειρογνομόνων
		Γεωργία	Περιβάλλον	Ενέργεια	Μεταφορές	
(Amer et al., 2011)	Ανάλυση σεναρίων			✓		Συνέντευξη, ερωτηματολόγιο
(Amer et al., 2016)	Ανάλυση σεναρίων			✓		Εργαστήριο
(Anezakis et al., 2016)	Ανάλυση σεναρίων		✓			Άλλος
(Biloslavo & Dolinšek, 2010)	Ανάλυση σεναρίων	✓				Ερωτηματολόγιο, άλλος
(Biloslavo & Grebenc, 2012)	Ανάλυση σεναρίων	✓				Συνέντευξη, ερωτηματολόγιο
(Ceccato, 2012)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη, ερωτηματολόγιο, εργαστήριο
(Celik et al., 2005)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη
(Christen et al., 2015)	Αξιολόγηση πολιτικών	✓				Συνέντευξη, εργαστήριο
(Ghaderi et al., 2012)	Αξιολόγηση πολιτικών			✓		Ερωτηματολόγιο
(Giordano et al., 2010)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη
(Gray et al., 2013)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη, εργαστήριο
(Gray et al., 2014)	Ανάλυση σεναρίων· Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη, ερωτηματολόγιο, άλλος
(Gray et al., 2015)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Εργαστήριο
(Hobbs et al., 2002)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη
(Hsueh, 2015)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓	✓		Συνέντευξη, άλλος
(Huang et al., 2013)	Αξιολόγηση πολιτικών			✓		Άλλος
(Jetter & Schweinfart, 2011)	Αξιολόγηση πολιτικών			✓		Συνέντευξη
(Kafetzis et al., 2010)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη
(Karavas et al., 2015)	Αξιολόγηση πολιτικών			✓		Άλλος
(Kayikci & Stix, 2014)	Αξιολόγηση πολιτικών				✓	Ερωτηματολόγιο
(Kontogianni et al., 2012)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη
(Kontogianni et al., 2013)	Αξιολόγηση πολιτικών				✓	Συνέντευξη
(Kottas et al., 2006)	Αξιολόγηση πολιτικών			✓		Άλλος
(Kyriakarakos et al., 2012)	Αξιολόγηση πολιτικών			✓		Άλλος
(Kyriakarakos et al., 2014)	Ανάλυση σεναρίων			✓		Συνέντευξη
(Lopolito et al., 2011)	Αξιολόγηση πολιτικών	✓		✓		Συνέντευξη
(Mallampalli et al., 2016)	Ανάλυση σεναρίων		✓			Ερωτηματολόγιο
(Meliadou et al., 2012)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη

Δημοσίευση	Αντικείμενο μελέτης	Τομέας εστίασης				Τρόπος συμμετοχής εμπειρογνομόνων
		Γεωργία	Περιβάλλον	Ενέργεια	Μεταφορές	
(Mourhir et al., 2016)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Εργαστήριο, ερωτηματολόγιο
(Nair & Singh, 2012)	Αξιολόγηση πολιτικών	✓				Συνέντευξη
(Natarajan et al., 2016)	Αξιολόγηση πολιτικών	✓				Ερωτηματολόγιο, άλλος
(Nikas & Doukas, 2016)	Αξιολόγηση πολιτικών					Συνέντευξη
(Olazabal & Pascual, 2016)	Αξιολόγηση πολιτικών			✓		Συνέντευξη, ερωτηματολόγιο
(Ortolani et al., 2010)	Αξιολόγηση πολιτικών	✓	✓			Συνέντευξη, ερωτηματολόγιο
(Özesmi & Özesmi, 2003)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη
(Özesmi, 2006a)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη
(Özesmi, 2006b)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη, ερωτηματολόγιο
(Papageorgiou & Kontogianni, 2012)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη
(Papageorgiou et al., 2011)	Αξιολόγηση πολιτικών	✓				Άλλος
(Peng et al., 2016)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Άλλος
(Rajaram & Das, 2010)	Αξιολόγηση πολιτικών	✓	✓			Ερωτηματολόγιο
(Reckien, 2014)	Ανάλυση σεναρίων	✓	✓	✓	✓	Συνέντευξη
(Sacchelli, 2014)	Αξιολόγηση πολιτικών	✓		✓		Συνέντευξη, ερωτηματολόγιο
(Samarasinghe & Strickert, 2013)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη
(Shiau & Liu, 2013)	Ανάλυση σεναρίων- Αξιολόγηση πολιτικών				✓	Εργαστήριο
(Singh & Nair, 2014)	Αξιολόγηση πολιτικών	✓	✓			Συνέντευξη
(Solera et al., 2010)	Αξιολόγηση πολιτικών	✓				Συνέντευξη, άλλος
(van Vliet et al., 2010)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Εργαστήριο
(Vanwindekens et al., 2013)	Αξιολόγηση πολιτικών	✓	✓			Συνέντευξη, ερωτηματολόγιο
(Vassilides & Jensen, 2016)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη
(Wildenberg et al., 2010)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη, εργαστήριο
(Zhang et al., 2013)	Αξιολόγηση πολιτικών		✓			Συνέντευξη, ερωτηματολόγιο
(Zhao et al., 2014)	Αξιολόγηση πολιτικών			✓		Συνέντευξη, ερωτηματολόγιο

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1, η συντριπτική πλειοψηφία των εφαρμογών ΑΓΧ στη βιβλιογραφία που ανασκοπήθηκε αποσκοπούσε στην υποστήριξη περιβαλλοντικής πολιτικής, ενώ λιγότερες μελέτες φαίνεται να έχουν ρητή αναφορά στην κλιματική δράση και πολιτική. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη γεωγραφική κλίμακα της σχεδίασης κλιματικής πολιτικής, η οποία συχνά αφορά σε περιφερειακό ή παγκόσμιο επίπεδο, σε αντίθεση με την περιβαλλοντική μοντελοποίηση και ανάλυση σεναρίων, η οποία κυρίως μελετάται σε τοπικό επίπεδο.

Μετά την κατασκευή του ΑΓΧ και χρησιμοποιώντας τεχνικές προσομοίωσης από το πεδίο των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, το μοντέλο προσομοιώνεται, επιτρέποντας στην αιτιότητα να διαδοθεί κατά μήκος του χάρτη, καθώς και την εξέταση της συμπεριφοράς του συστήματος δεδομένου του μοναδικού συνδυασμού δομής, βαρών και αρχικού διανύσματος κατάστασης. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι, εξαιτίας της ανάγκης έγκαιρης αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής (προσαρμογή) ή/και μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (μετριασμού) σε αυστηρώς καθορισμένα μονοπάτια, η διάσταση του χρόνου πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψιν κατά τη σχεδίαση κλιματικής πολιτικής, κάτι που οι παραδοσιακές προσεγγίσεις ΑΓΧ αδυνατούν να συμπεριλάβουν (van Vliet et al., 2010). Μόνο λίγες εκ των μελετών μετατρέπουν την αρχική συνάρτηση ενεργοποίησης, σε μία προσπάθεια ενσωμάτωσης της έννοιας του χρόνου στη μεθοδολογία ΑΓΧ. Για παράδειγμα, οι Nikas and Doukas (2016) αναγνώρισαν την ανάγκη ενσωμάτωσης της κρίσιμης χρονικής διάστασης στις προσομοιώσεις των ΑΓΧ, κατά την ανάπτυξη εύρωστων πολιτικών στρατηγικών για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, και έτσι μετέφρασαν κάθε επανάληψη της προσομοίωσης σε μία ορισμένη χρονική περίοδο και απέδωσαν μία χρονική καθυστέρηση σε κάθε αιτιώδη σχέση. Οι Biloslavo and Dolinšek (2010) πρότειναν μία μέθοδο που μετασχηματίζει τον πίνακα βαρών σε μία συνάρτηση του χρόνου, ενώ οι Mouchir et al. (2016) χρησιμοποίησαν μία δυναμική, βασισμένη σε κανόνες προσέγγιση ΑΓΧ, στην οποία τα βάρη προσαρμόζονται δυναμικά κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Εν τέλει, τα αποτελέσματα του μοντέλου δείχνουν πώς οι ενδιαφερόμενοι φορείς αντιλαμβάνονται ότι το σύστημα αντιδρά υπό τις υποθέσεις τους. Συγκρίσεις μεταξύ των διανυσμάτων τελικής κατάστασης των εναλλακτικών που μελετώνται πραγματοποιούνται, ώστε να εκτιμηθεί σε ποιον βαθμό προάγεται η επιθυμητή μετάβαση για την ενεργοποίηση κάθε επιλογής, πολιτικής ή άλλου παράγοντα. Ένα συγκεκριμένο σύνολο εννοιών επιλέγεται ως οικογένεια κριτηρίων αξιολόγησης· στη σχεδίαση πολιτικής, όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή της τελικής έννοιας-στόχου στο τέλος της προσομοίωσης, τόσο καλύτερη φαίνεται πως θεωρείται η επιλεχθείσα πολιτική από τα ενδιαφερόμενα μέρη. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η δυναμική του συστήματος μελετάται μέσα από την αξιολόγηση της τιμής μίας συγκεκριμένης έννοιας, αλλά δεδομένης της διεπιστημονικής φύσης του κλιματικού χώρου προβλήματος, πολλοί μελετητές αξιολογούν τα συστήματα που μελετούν, αξιολογώντας ολόκληρο το διάνυσμα τελικής κατάστασης ή ένα υποσύνολό του. Για παράδειγμα, οι Lopolito et al. (2011) αξιολόγησαν τέσσερις πολιτικές σχετικά με την ανάπτυξη της βιομηχανίας βιοδιυλιστηρίων, χρησιμοποιώντας έναν σταθμισμένο μέσο των τιμών της τελικής έννοιας-στόχου και ενός αριθμού αρνητικών επιπτώσεων. Επίσης, καμία μελέτη στη βιβλιογραφία δεν αποσκοπεί ρητά στην αξιολόγηση στρατηγικών πολιτικής, δηλαδή συνόλων μέτρων πολιτικής, αλλά μεμονωμένων μέτρων.

Τέλος, σε αυτήν την ερευνητική περιοχή συγκεκριμένα, οι ΑΓΧ έχουν εφαρμοστεί τόσο ως μεμονωμένα εργαλεία όσο και ως μέρη μίας συνδυαστικής προσέγγισης, ολοκληρωμένα με άλλες μεθοδολογίες, πλαίσια και εργαλεία (Πίνακας 4.2)

Πίνακας 4.2 Επισκόπηση εφαρμογών ολοκλήρωσης ΑΓΧ με άλλες μεθοδολογίες και μοντέλα.

Κατηγορία	Μεθοδολογική προσέγγιση	Δημοσίευση
Επικοινωνία	Building Block Methodology	(Ceccato, 2012)
	Delphi	(Biloslavo & Dolinšek, 2010)
		(Amer et al., 2011)
		(Biloslavo & Grebenc, 2012)
		(Kayikci & Stix, 2014)

Κατηγορία	Μεθοδολογική προσέγγιση	Δημοσίευση
		(Hsueh, 2015)
		(Amer et al., 2016)
	Geomorphic Assessments	(Samarasinghe & Strickert, 2013)
ΠΣΥΑ	AHP	(Biloslavo & Dolinšek, 2010)
		(Biloslavo & Grebenc, 2012)
		(Shiau & Liu, 2013)
	TOPSIS	(Mourhir et al., 2016)
Υπολογιστική μοντελοποίηση	Agent-Based Models	(Ortolani et al., 2010)
	Multi-Agent Systems	(Karavas et al., 2015)
Στατιστική ανάλυση	Principal Component Analysis	(Hobbs et al., 2002)
		(Shiau & Liu, 2013)
		(Zhao et al., 2014)
	Structural Equation Modelling	(Huang et al., 2013)
Ποσοτική μοντελοποίηση	Climate Models	(Anezakis et al., 2016)
	Environmental Models	(van Vliet et al., 2010)
	Integrated Assessment Models	(Mallampalli et al., 2016)
		(Nikas & Doukas, 2016)
Άλλο	Driving forces - Pressures - State - Impact - Responses (DPSIR)	(Mourhir et al., 2016)
	Integrated Coastal Zone Management (ICZM)	(Meliadou et al., 2012)
	Sustainable Livelihoods Framework (SLF)	(Singh & Nair, 2014)
	Technology Roadmapping (TRM)	(Amer et al., 2011)
		(Amer et al., 2016)

Από τον Πίνακα 4.2, είναι εμφανές ότι μόνο μερικές μελέτες συνδύασαν ΑΓΧ με ποσοτικά μοντέλα. Μεταξύ αυτών, οι Anezakis et al. (2016) διερευνούν εναλλακτικά κλιματικά σενάρια μέσω ενός κλιματικού μοντέλου, ενώ οι van Vliet et al. (2010) αξιολογούν περιβαλλοντικές πολιτικές. Μάλιστα, μόνο δύο δημοσιεύσεις (Nikas and Doukas, 2016 και Mallampalli et al., 2016) αναφέρονται σε συνδέσμους μεταξύ ΑΓΧ και ΜΟΑ, αλλά περιορίζονται μόλις στην περιγραφή του μεθοδολογικού πλαισίου και τις σχετικές προοπτικές.

4.4 ΠΣΥΑ και κλιματική πολιτική

Τα ΠΣΥΑ, γνωστά και ως πολυκριτήρια υποστήριξη αποφάσεων (Roy, 1990), αποτελούν μία υποκατηγορία της επιχειρησιακής έρευνας. Αποσκοπούν στην υποστήριξη της λήψης αποφάσεων σε πολυσύνθετα προβλήματα όπου πολλαπλές οπτικές (κριτήρια) οφείλουν να λαμβάνονται υπόψη πριν την εύρεση μίας εύλογης λύσης (Govindan and Jepsen, 2016). Τα ΠΣΥΑ μπορούν να υποστηρίξουν ποικίλα στάδια της λήψης αποφάσεων, συμπεριλαμβανομένων της δόμησης ενός προβλήματος, της προτιμησιακής μοντελοποίησης, της κατασκευής μοντέλων συνάθροισης κριτηρίων καθώς και της σχεδίασης διεργασιών διαδραστικών λύσεων (Doumpos and Zorounidis, 2011). Εξελίσσονται διαρκώς

και σημαντικά από την πρώτη τους εμφάνιση στη βιβλιογραφία (Roy and Vanderpooten, 1997) και προσελκύουν ολοένα και περισσότερη προσοχή (Govindan and Jepsen, 2016), ειδικά κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών (Behzadian et al., 2010).

Παρά το γεγονός ότι οι μελέτες κλιματικής πολιτικής αρχικά δεν κατείχαν το απαραίτητο επίπεδο γνώσεων και υπόβαθρο σχετικά με την αξιοποίηση προσεγγίσεων ΠΣΥΑ (Borges and Villavicencio 2004), αυτά απολαμβάνουν ολοένα και αυξανόμενη προσοχή την τελευταία δεκαετία σε έρευνες σχετικές με τον μετριασμό της κλιματικής πολιτικής και την προσαρμογή σε αυτήν, καθώς και με τη διαμόρφωση πολιτικών σε ποικίλους οικονομικούς τομείς όπου η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αποτελεί ένα από τα κύρια κριτήρια αξιολόγησης (Scricciu and Chalabi, 2014). Αυτή η σημαντική άνθιση των ΠΣΥΑ στο πεδίο αυτό μπορεί εν μέρει να αποδοθεί στην αυξανόμενη διάχυση των σχετικών μεθοδολογικών πλαισίων, την αυξανόμενη συμμετοχή και συνεργασία εμπειρογνομόνων αποφασιζόντων σε σύγχρονες επιστημονικές δραστηριότητες (Voinov and Bousquet, 2010), καθώς και στην ανάγκη για ανάπτυξη ολοκληρωμένων μεθοδολογιών πολλαπλών, πολυσύνθετων σταδίων για την αντιμετώπιση κλιματικών προβλημάτων. Άλλοι σημαντικοί παράγοντες της αυξανόμενης χρήσης των ΠΣΥΑ θεωρούνται η συχνή προτίμησή τους σε προβλήματα ενεργειακής πολιτικής, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο ενεργειακός τομέας βρίσκεται στην καρδιά της κλιματικής πολιτικής (Doukas, 2013), καθώς και οι διεθνείς και ευρωπαϊκές πολιτικές προσπάθειες στην κατεύθυνση της βιώσιμης ανάπτυξης: η βιωσιμότητα, η οποία καθορίζεται με σημείο αναφοράς τις πολλαπλές της διαστάσεις (οικονομία, περιβάλλον, κοινωνία) (Brundtland Commission, 1987) που επιτρέπουν τη μελέτη της μέσω προσεγγίσεων ΠΣΥΑ, και οι σχετικές περιβαλλοντικές επιπλοκές της είναι συνυφασμένες με την απεξάρτηση των σύγχρονων οικονομιών από τον άνθρακα και τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.

Γενικότερα, πλήθος μεθόδων ΠΣΥΑ έχουν αξιοποιηθεί σε μελέτες ενεργειακού σχεδιασμού και βιώσιμης ανάπτυξης (Diakoulaki et al., 2005· και Munda, 2005). Επιλεγμένες εφαρμογές σε αυτά τα δύο πεδία μπορούν να βρεθούν στο τέταρτο μέρος των (Greco et al., 2016). Κατά την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας ΠΣΥΑ και λαμβάνοντας υπόψιν τα κριτήρια αναζήτησης που περιγράφονται στο τέλος της Ενότητας 4.1, βρέθηκαν 73 μελέτες σχετικές με το πεδίο της κλιματικής πολιτικής (Πίνακας 4.3). Οι συγκεκριμένες μελέτες αξιοποίησαν κάποια μεθοδολογία πολυκριτήριας ανάλυσης για την επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται είτε ευθέως με την αξιολόγηση πολιτικών είτε εμμέσως σε άλλες εφαρμογές, οι οποίες φέρουν ένα ή περισσότερα κριτήρια μετριασμού ή προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Οι περισσότερες εξ αυτών εστίαζαν στην αξιολόγηση εναλλακτικών τεχνολογιών, ακολουθούμενες από μελέτες που περιστρέφονταν γύρω από τη σύγκριση μέτρων ή στρατηγικών κλιματικής πολιτικής, ενώ ένας μικρότερος αριθμός ερευνητών χρησιμοποίησαν διεργασίες πολυκριτήριας ανάλυσης με σκοπό την επιλογή έργων προς υλοποίηση ή την ανάλυση σεναρίων με προεκτάσεις για την κλιματική πολιτική. Τέλος, μόνο σε μία περίπτωση εκπονήθηκε μελέτη αξιολόγησης κινδύνου (Branco et al., 2012), σε μία σύγκριση μεταξύ των επιπέδων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου των ΚΜ της ΕΕ (Dace and Blumberga, 2016), ενώ σε δύο άλλες επιχειρήθηκε η αναγνώριση και προτεραιοποίηση των παραγόντων και δεικτών για την αξιολόγηση ενεργειακών έργων (Heo et al., 2010· και Luthra et al., 2015). Όπως αναμενόταν, και δεδομένης της ευρείας χρήσης των ΠΣΥΑ στον τομέα της ενεργειακής πολιτικής, η συντριπτική πλειοψηφία των πλαισίων ΠΣΥΑ που ανασκοπήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν σε εφαρμογές στον ενεργειακό τομέα. Ο τομέας των μεταφορών επίσης αποδείχθηκε δημοφιλής στη βιβλιογραφία ΠΣΥΑ, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στον πολύ μεγάλο αριθμό μελετών αξιολόγησης τεχνολογιών. Μόνο ένας μικρός αριθμός εφαρμογών ΠΣΥΑ με προεκτάσεις για την κλιματική πολιτική αφορούσε τον γεωργικό, κτιριακό ή βιομηχανικό τομέα ή την περιβαλλοντική διαχείριση. Αξίζει να σημειωθεί ότι μία μελέτη, με στόχο την αξιολόγηση εναλλακτικών

μέτρων μετριασμού της κλιματικής αλλαγής σε διαφορετικές ευρωπαϊκές χώρες, αξιοποίησε μία διατομεακή προσέγγιση (Konidari and Mavrakis, 2007).

Η προτεινόμενη κατηγοριοποίηση βασίζεται στον οικονομικό τομέα της εφαρμογής και, παρότι πολλές προσεγγίσεις ταξινόμησης της βιβλιογραφίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν, είναι αποτέλεσμα σημαντικής προσπάθειας διασφάλισης της συνέπειας. Για παράδειγμα, επιστημονικά άρθρα που εστιάζουν σε μέτρα ενεργειακής αποδοτικότητας ταξινομούνται σε αντίστοιχες κατηγορίες τομέων (π.χ. κτίρια ή μεταφορές). Πρέπει, επίσης, να σημειωθεί ότι, παρότι η πλειοψηφία της βιβλιογραφίας είχε προεκτάσεις για την κλιματική πολιτική, δώδεκα εκ των εβδομήντα τριών μελετών πραγματοποιήθηκαν ρητώς με σκοπό την υποστήριξη της κλιματικής πολιτικής (επτά για τον μετριασμό, τέσσερις για την προσαρμογή, και μία και για τα δύο).

Πίνακας 4.3 Επισκόπηση των δημοσιεύσεων ΠΣΥΑ σχετικών με την κλιματική πολιτική, όσον αφορά το πεδίο εφαρμογής τους, τον οικονομικό τομέα, τις προεκτάσεις τους για την κλιματική πολιτική (M = Μετριασμός, A = Προσαρμογή), και τον αριθμό/τύπο των εμπλεκόμενων εμπειρογνώμων/αποφασιζόντων (AC = Ακαδημαϊκοί/Ερευνητές, PM = Φορείς χάραξης πολιτικής, PU = Εκπρόσωποι κοινωνικών ομάδων και κοινοτήτων, GO = Κυβερνητικά στελέχη και εκπρόσωποι υπουργείων, PR = Εμπειρογνώμονες ιδιωτικού τομέα, FI = Εμπειρογνώμονες χρηματοπιστωτικού τομέα, OT = Άλλοι ή αγνώστου ταυτότητας ειδικοί).

Πεδίο εφαρμογής	Δημοσίευση	Οικονομικός τομέας						Αποφασίζοντες
		Γεωργία	Κτίρια	Περιβάλλον	Βιομηχανία	Ενέργεια	Μεταφορές	
Αξιολόγηση πολιτικής	(Alsabbagh et al., 2016) ^M						✓	40 ^{PM} , 400 ^{PU}
	(Batubara et al., 2016)						✓	
	(Blechinger & Shah, 2011) ^M						✓	8 ^{PM} , 7 ^{AC} , 8 ^{OT}
	(Borges & Villavicencio, 2004) ^M	✓					✓	20 ^{AC,GO,OT}
	(Chalabi & Kovats, 2014) ^A	✓		✓				
	(Chen & Pan, 2015)		✓					10 ^{OT} /25 ^{OT}
	(de Bremond & Engle, 2014) ^A	✓		✓				
	(de Bruin et al., 2009) ^A	✓	✓	✓		✓	✓	
	(Georgopoulou et al., 2003) ^M					✓		
	(Javid et al., 2014)						✓	71 ^{OT}
	(Konidari & Mavrakis, 2007) ^M	✓	✓	✓	✓	✓	✓	3 Γκρουπ ^{AC,PM,OT}
	(Michailidou et al., 2016) ^{M, A}				✓			
	(Miller & Belton, 2014) ^A	✓		✓				
	(Mourhir et al., 2016)			✓				
	(Neves et al., 2008)		✓		✓			5 ^{OT}
	(Oliveira & Antunes, 2004)					✓		
	(Onu et al., 2017)			✓		✓		40 ^{OT}
	(San Cristóbal, 2012)			✓				
	(Shiau & Liu, 2013)						✓	17 ^{GO}
	(Streimikiene & Baležentis, 2013b) ^M					✓		
(Theodorou et al., 2010)					✓			
(Tsoutsos et al., 2009)					✓			
(Vaillancourt & Waaub, 2004)				✓				

Πεδίο εφαρμογής	Δημοσίευση	Οικονομικός τομέας						Αποφασίζοντες
		Γεωργία	Κτίρια	Περιβάλλον	Βιομηχανία	Ενέργεια	Μεταφορές	
Επιλογή έργου	(Diakoulaki et al., 2007)					✓		
	(Le Teno & Mareschal, 1998)		✓	✓				
	(Montanari, 2004)					✓		
	(Perkoulidis et al., 2010)					✓		
	(Ramazankhani et al., 2016)					✓		
	(Vahabzadeh et al., 2015)				✓			
	(Xu et al., 2016)					✓	42 ^{OT}	
Αξιολόγηση κινδύνων	(Branco et al., 2012)					✓		
Ανάλυση σεναρίων	(Baležentis & Streimikiene, 2017)					✓		
	(Biloslavo & Dolinšek, 2010)					✓	3 ^{OT}	
	(Biloslavo & Grebenc, 2012)					✓	4 ^{OT}	
	(Jayaraman et al., 2015)					✓		
	(Jun et al., 2013)		✓				11 ^{OT}	
	(Papadopoulos & Karagiannidis, 2008)					✓		
Αξιολόγηση τεχνολογιών	(Almaraz et al., 2013)						✓	
	(Antunes et al., 2004)					✓		
	(Brand & Missaoui, 2014)					✓	17 ^{GO} , 8 ^{PR} , 8 ^{OT}	
	(Büyüközkan & Güleriyüz, 2017)					✓	3 ^{OT}	
	(Büyüközkan & Karabulutb, 2017)					✓	3 ^{OT}	
	(Chang et al., 2012)		✓			✓	✓	15 ^{AC} , 3 ^{PR}
	(Cowan et al., 2010)					✓		12 ^{OT}
	(Cutz et al., 2016)					✓		3 Γκρουπ ^{OT}
	(Doukas et al., 2006)					✓		25 ^{OT}
	(Fozer et al., 2017)					✓		
	(Ghafghazi et al., 2010)		✓					3 Γκρουπ ^{PR,PU,OT}
	(Karakosta et al., 2009)					✓		
	(Kaya & Kahraman, 2011)					✓		3 ^{OT}
	(Klein & Whalley, 2015)					✓		
	(Madlener et al., 2009)					✓		
	(Maimoun et al., 2015)						✓	
	(Mohamadabadi et al. 2009)						✓	
	(Onar et al., 2015)					✓		3 ^{OT}
	(Paul et al., 2015)						✓	50 ^{OT}
	(Pilavachi et al., 2009)					✓		
	(Promentilla et al., 2014)					✓		6 ^{AC,GO,PR}
	(Ren & Lützen, 2015)				✓		✓	
	(Ribeiro et al., 2013)					✓		11 ^{AC}
(Rojas-Zerpa & Yusta, 2015)					✓		16 ^{AC,PR,OT}	
(Roth et al., 2009)					✓		85 ^{OT}	

Πεδίο εφαρμογής	Δημοσίευση	Οικονομικός τομέας						Αποφασίζοντες
		Γεωργία	Κτίρια	Περιβάλλον	Βιομηχανία	Ενέργεια	Μεταφορές	
	(Sadeghi et al., 2012)					✓		
	(Sakthivel et al., 2015)						✓	
	(Şengül et al., 2015)					✓		
	(Shmelev & van den Bergh, 2016)					✓		
	(Streimikiene et al., 2016)					✓	25 ^{AC,PR,FI,OT}	
	(Streimikiene et al., 2012)					✓		
	(Streimikiene & Baležentis, 2013a)		✓					
	(Talaei et al., 2014)					✓	50 ^{AC,PM,PR}	
	(Ulutaş, 2005)					✓		
	(Volkart et al., 2016)					✓		
	(Yap & Nixon, 2015)					✓	6 ^{AC}	
Άλλο	(Dace & Blumberga, 2016) ^M	✓						
	(Heo et al., 2010)					✓	25 ^{OT}	
	(Luthra et al., 2015)					✓	3 ^{AC}	

Μία σημαντική διάσταση της πολυκριτήριας ανάλυσης, από την οποία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ΠΣΥΑ, είναι ο τύπος και ο αριθμός των εμπλεκόμενων εμπειρογνομόνων ή αποφασιζόντων. Η λήψη αποφάσεων σε πολυσύνθετα προβλήματα συνήθως περιλαμβάνει την επιλογή μίας ή περισσότερων λύσεων μεταξύ πολλαπλών εναλλακτικών, οι οποίες αξιολογούνται με βάση πολλαπλά κριτήρια, από έναν μεγάλο αριθμό αποφασιζόντων ή ενδιαφερόμενων φορέων. Η γνώση του χώρου προβλήματος που αυτοί κατέχουν μπορεί να ποικίλλει σημαντικά και τα ενδιαφέροντά τους σπάνια συμπίπτουν ενώ συχνά έρχονται σε σύγκρουση, ωστόσο οφείλουν να λαμβάνονται υπόψιν συνολικά πριν την εύρεση μίας κοινώς αποδεκτής λύσης. Η συμμετοχή των εμπειρογνομόνων στην διαμόρφωση κλιματικής πολιτικής, συγκεκριμένα, είναι ιδιαίτερα κρίσιμη: ως μία σύνθετη, πολυδιάστατη και διεπιστημονική διαδικασία που οφείλει να οδηγήσει σε εύρωστα και κοινωνικώς αποδεκτά αποτελέσματα, πρόκειται για έναν χώρο προβλήματος που θα επωφελείτο σημαντικά από τη συμμετοχή στη διαδικασία αυτή ποικίλων ομάδων εμπειρογνομόνων και ενδιαφερόμενων φορέων. Τα ΠΣΥΑ μπορούν να βοηθήσουν στη σχεδίαση διεργασιών που είναι περιεκτικές, ανοικτές, δίκαιες και διαφανείς (Phillips and Bana e Costa, 2007), συνεισφέροντας έτσι σημαντικά στη διακυβέρνηση της κλιματικής δράσης. Ο Πίνακας 4.3 επίσης υποδεικνύει τον αριθμό και τύπο εμπειρογνομόνων και αποφασιζόντων που συμμετέχουν σε κάθε μία εκ των μελετών, όπου αυτοί καθορίζονται· περισσότερες από τις μισές μελέτες δεν καθόριζαν αυτήν την πληροφορία, ενώ μία μελέτη (Chen and Pan, 2015) περιλάμβανε διαφορετικό αριθμό αποφασιζόντων για τα δύο στάδια ΠΣΥΑ, δηλαδή την απόδοση βαρών στα κριτήρια και την αξιολόγηση των εναλλακτικών.

Ανεξάρτητα από τον οικονομικό τομέα εφαρμογής ή την ρητή αναφορά στην κλιματική δράση μετριασμού ή προσαρμογής, τα ΠΣΥΑ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ποικιλοτρόπως. Υπάρχει ένας πολύ μεγάλος αριθμός μεθοδολογικών πλαισίων, τα οποία βασίζονται σε διαφορετικές προσεγγίσεις και επιστημονικά παραδείγματα, κάθε ένα με πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αναλόγως του πεδίου και του σκοπού εφαρμογής.

Ανάμεσα στις 26 διαφορετικές προσεγγίσεις που βρέθηκαν να έχουν χρησιμοποιηθεί για την επίλυση προβλημάτων στη σχετική βιβλιογραφία, τρεις μέθοδοι εμφανίζονται ως οι πλέον δημοφιλείς: η AHP (Saaty, 1990), μία δομημένη προσέγγιση για την οργάνωση και ανάλυση σύνθετων αποφάσεων που βασίζεται στα μαθηματικά και την ψυχολογία και περιλαμβάνει ανά ζεύγη συγκρίσεις και κρίση εμπειρογνομόνων· η οικογένεια μεθόδων PROMETHEE (Brans et al., 1986), μία προσέγγιση επίσης διμερών συγκρίσεων που βασίζεται στη μερική η ολική κατάταξη των εναλλακτικών· και η TOPSIS (Lai et al., 1994), μία μέθοδος που υπολογίζει την απόσταση κάθε εναλλακτικής από την ιδεατή λύση. Αυτές ακολουθούνται από την απλή μέθοδο σταθμισμένου μέσου όρου Weighted Sum Method, την οικογένεια μεθόδων ELECTRE (Roy et al., 1986), την μέθοδο συμβιβασμού VIKOR (Opricovic and Tzeng, 2004), τις ασαφείς εκδοχές των AHP και TOPSIS, και την πολυκριτηριακή θεωρία αξίας MAVT/MAVA (Belton and Stewart, 2002). Τέλος, στη βιβλιογραφία βρέθηκαν και ορισμένες εφαρμογές προσεγγίσεων πολυστοχικού προγραμματισμού, οι οποίες περιλάμβαναν κυρίως τον πολυστοχικό γραμμικό προγραμματισμό (multi-objective linear programming) και τον προγραμματισμό στόχων (goal programming). Ο Πίνακας 4.4 συνοψίζει τις μεθόδους ΠΣΥΑ που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφική ανασκόπηση, καθώς και τις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν και τη φύση των κριτηρίων αξιολόγησης με βάση τα οποία αξιολογήθηκαν οι εναλλακτικές.

Πίνακας 4.4 Επισκόπηση των μεθοδολογιών ΠΣΥΑ που χρησιμοποιήθηκαν στη βιβλιογραφία της κλιματικής πολιτικής, αναφορικά με τα κριτήρια αξιολόγησης (ECO = Οικονομικά, ENE = Ενεργειακά, ENV = Περιβαλλοντικά και κλιματικά, REG = Ρυθμιστικά, SOC = Κοινωνικά, TEC = Τεχνολογικά, ΟΤΗ = Άλλα), τον τρόπο συμμετοχής εμπειρογνομόνων (συνεντεύξεις/εργαστήρια/επιτροπές και ερωτηματολόγια/έρευνες) και την εκπόνηση ανάλυσης ευαισθησίας. Πλάγια γραφή υποδηλώνει μελέτες με χρήση πολλαπλών μεθοδολογιών, σε διαφορετικά στάδια ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου (“D”) ή για την πραγματοποίηση συγκρίσεων και τη μεγιστοποίηση της ευρωστίας (“C”).

Μεθοδολογία ΠΣΥΑ	Δημοσίευση	Κριτήρια αξιολόγησης							Τρόπος συμμετοχής	Ανάλυση ευαισθησίας
		ECO	ENE	ENV	REG	SOC	TEC	ΟΤΗ		
AHP	(Alsabbagh et al., 2016)	✓		✓	✓	✓		✓	Ερωτηματολόγιο, Συνεντεύξεις	
	(Biloslavo & Dolinšek, 2010)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Ερωτηματολόγιο	
	(Biloslavo & Grebenc, 2012)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Ερωτηματολόγιο	
	(Blechinger & Shah, 2011) ^D	✓	✓	✓	✓	✓		✓	Ερωτηματολόγιο	✓
	(Borges & Villavicencio, 2004) ^D	✓		✓		✓	✓	✓	Εργαστήριο	
	(Branco et al., 2012)	✓	✓	✓				✓		
	(Büyüközkan & Karabulut, 2017) ^D	✓		✓		✓			Ερωτηματολόγιο	
	(Cowan et al., 2010) ^D	✓		✓		✓	✓		Ερωτηματολόγιο	✓
	(Javid et al., 2014)	✓		✓				✓	Ερωτηματολόγιο	
	(Konidari & Mavrakīs, 2007) ^D	✓		✓	✓			✓		
	(Montanari, 2004) ^D	✓		✓			✓		Ερωτηματολόγιο	
	(Paul et al., 2015) ^D			✓			✓		Ερωτηματολόγιο	
	(Pilavachi et al., 2009) ^D	✓		✓			✓	✓		
	(Rojas-Zerpa & Yusta, 2015) ^D	✓	✓	✓		✓	✓		Ερωτηματολόγιο, Συνεντεύξεις	
	(Shiau & Liu, 2013)	✓	✓	✓		✓			Επιτροπή	
	(Streimikiene et al., 2016) ^D	✓		✓	✓	✓	✓		Ερωτηματολόγιο	✓
(Talaei et al., 2014)	✓		✓		✓	✓	✓	Εργαστήριο	✓	
(Theodorou et al., 2010) ^C	✓				✓	✓	✓			
(Yap & Nixon, 2015)	✓	✓	✓		✓	✓	✓	Ερωτηματολόγιο	✓	
ANP	(Büyüközkan & Gülleryüz, 2017) ^D	✓		✓	✓	✓	✓		Συνεντεύξεις	✓
	(Sakthivel et al., 2015) ^D			✓			✓		Ερωτηματολόγιο	

Μεθοδολογία ΠΣΥΑ	Δημοσίευση	Κριτήρια αξιολόγησης							Τρόπος συμμετοχής	Ανάλυση ευαισθησίας
		ECO	ENE	ENV	REG	SOC	TEC	OTH		
	(Ulutaş, 2005)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
APIS	(Shmelev & van den Bergh, 2016)	✓		✓		✓	✓			✓
ARAS	(Baležentis & Streimikiene, 2017) ^C	✓	✓	✓						✓
	(Streimikiene et al., 2016) ^D	✓		✓	✓	✓	✓		Ερωτηματολόγιο	✓
DEMATEL	(Büyükoźkan & Güleriyüz, 2017) ^D	✓		✓	✓	✓	✓		Συνεντεύξεις	✓
ELECTRE	(Georgopoulou et al., 2003)	✓		✓		✓		✓		
	(Karakosta et al., 2009)	✓	✓	✓	✓	✓			Ερωτηματολόγιο, Εργαστήριο	
	(Madlener et al., 2009)	✓		✓	✓					
	(Michailidou et al., 2016)	✓		✓		✓		✓	Ερωτηματολόγιο	✓
	(Neves et al., 2008)	✓	✓		✓	✓		✓		
	(Papadopoulos & Karagiannidis, 2008)	✓		✓						✓
	(Perkoulidis et al., 2010)	✓	✓	✓				✓		✓
	(Theodorou et al., 2010) ^C	✓				✓	✓	✓		
Fuzzy AHP	(Heo et al., 2010)	✓		✓		✓	✓	✓	Ερωτηματολόγιο	
	(Kaya & Kahraman, 2011) ^D	✓		✓		✓	✓			✓
	(Luthra et al., 2015)	✓		✓		✓	✓	✓	Εργαστήριο	✓
	(Onar et al., 2015)	✓					✓	✓		✓
	(Ren & Lützen, 2015) ^D	✓		✓		✓	✓			✓
	(Sadeghi et al., 2012) ^D	✓		✓	✓	✓	✓			
Fuzzy ANP	(Promentilla et al., 2014)	✓		✓		✓	✓			
Fuzzy MCDM	(Chang et al., 2012)	✓		✓		✓	✓		Ερωτηματολόγιο	
	(Cutz et al., 2016)	✓		✓		✓	✓	✓	Ερωτηματολόγιο	

Μεθοδολογία ΠΣΥΑ	Δημοσίευση	Κριτήρια αξιολόγησης						Τρόπος συμμετοχής	Ανάλυση ευαισθησίας
		ECO	ENE	ENV	REG	SOC	TEC		
Fuzzy PROMETHEE	(Chen & Pan, 2015)	✓		✓			✓		Ερωτηματολόγιο
Fuzzy TOPSIS	(Jun et al., 2013) ^C	✓		✓		✓		✓	Ερωτηματολόγιο
	(Kaya & Kahraman, 2011) ^D	✓		✓		✓	✓		✓
	(Onu et al., 2017)	✓		✓	✓	✓	✓		Ερωτηματολόγιο
	(Sadeghi et al., 2012) ^D	✓		✓	✓	✓	✓		
	(Şengül et al., 2015)	✓	✓	✓		✓			✓
Fuzzy VIKOR	(Vahabzadeh et al., 2015)			✓					
MAUT/MAUA	(Konidari & Mavrakis, 2007) ^D	✓		✓	✓			✓	
MAVT/MAVA	(Chalabi & Kovats, 2014)	✓		✓		✓		✓	✓
	(de Bremond & Engle, 2014)	✓		✓		✓		✓	✓
	(Miller & Belton, 2014)	✓		✓		✓		✓	✓
	(Fozer et al., 2017)	✓		✓	✓	✓	✓		
MOORA	(Paul et al., 2015) ^{D, C}			✓			✓		Ερωτηματολόγιο
MULTIMOORA	(Streimikiene et al., 2012) ^C	✓		✓		✓			✓
	(Streimikiene & Baležentis, 2013b)	✓	✓	✓					
Multi-Objective Goal Programming	(Cowan et al., 2010) ^D	✓		✓		✓	✓		Ερωτηματολόγιο
	(Jayaraman et al., 2015)	✓	✓	✓		✓		✓	
	(San Cristóbal, 2012)	✓		✓		✓		✓	
Multi-Objective Linear Programming	(Antunes et al., 2004)	✓		✓					
	(Oliveira & Antunes, 2004)	✓	✓	✓		✓			

Μεθοδολογία ΠΣΥΑ	Δημοσίευση	Κριτήρια αξιολόγησης						Τρόπος συμμετοχής	Ανάλυση ευαισθησίας	
		ECO	ENE	ENV	REG	SOC	TEC			ΟΤΗ
	<i>(Ribeiro et al., 2013)^D</i>	✓	✓	✓		✓	✓	✓	Ερωτηματολόγιο, Συνεντεύξεις	✓
Point Allocation Method	<i>(Xu et al., 2016)^D</i>	✓		✓		✓	✓		Ερωτηματολόγιο	
PROMETHEE	<i>(Batubara et al., 2016)</i>	✓	✓	✓		✓	✓			✓
	<i>(Borges & Villavicencio, 2004)^D</i>	✓		✓		✓	✓	✓	Εργαστήριο	
	<i>(Diakoulaki et al., 2007)</i>		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
	<i>(Doukas et al., 2006)</i>	✓		✓		✓	✓		Εργαστήριο	
	<i>(Ghafghazi et al., 2010)</i>	✓	✓	✓			✓	✓		
	<i>(Le Téno & Mareschal, 1998)</i>		✓	✓						
	<i>(Mohamadabadi et al. 2009)</i>	✓		✓		✓		✓		✓
	<i>(Paul et al., 2015)^{D, C}</i>			✓			✓		Ερωτηματολόγιο	
	<i>(Theodorou et al., 2010)^C</i>	✓				✓	✓	✓		
	<i>(Tsoutsos et al., 2009)</i>	✓	✓	✓		✓	✓			✓
	<i>(Vaillancourt & Waaub, 2004)</i>	✓	✓	✓		✓		✓		✓
	<i>(Xu et al., 2016)^D</i>	✓		✓		✓	✓		Ερωτηματολόγιο	
SAW	<i>(Maimoun et al., 2015)^C</i>	✓		✓						✓
SMART	<i>(Blechinger & Shah, 2011)^D</i>	✓	✓	✓	✓	✓		✓	Ερωτηματολόγιο	✓
	<i>(Konidari & Mavraklis, 2007)^D</i>	✓		✓	✓			✓		
TOPSIS	<i>(Almaraz et al., 2013)</i>	✓		✓				✓		
	<i>(Baležentis & Streimikiene, 2017)^C</i>	✓	✓	✓						✓
	<i>(Brand & Missaoui, 2014)</i>	✓	✓	✓		✓			Εργαστήριο	✓
	<i>(Büyükközkcan & Güleriyüz, 2017)^D</i>	✓		✓	✓	✓	✓		Συνεντεύξεις	✓
	<i>(Dace & Blumberga, 2016)</i>			✓						
	<i>(Jun et al., 2013)^C</i>	✓		✓		✓		✓	Ερωτηματολόγιο	
	<i>(Maimoun et al., 2015)^C</i>	✓		✓						✓

Μεθοδολογία ΠΣΥΑ	Δημοσίευση	Κριτήρια αξιολόγησης						Τρόπος συμμετοχής	Ανάλυση ευαισθησίας	
		ECO	ENE	ENV	REG	SOC	TEC			ΟΤΗ
	<i>(Montanari, 2004)^D</i>	✓		✓			✓		Ερωτηματολόγιο	
	<i>(Mourhir et al., 2016)</i>		✓	✓	✓	✓	✓	✓	Ερωτηματολόγιο	
	<i>(Ramazankhani et al., 2016)^C</i>		✓	✓		✓		✓		✓
	<i>(Sakthivel et al., 2015)^{D, C}</i>			✓			✓		Ερωτηματολόγιο	
	<i>(Streimikiene et al., 2012)^C</i>	✓		✓		✓				
	<i>(Streimikiene & Baležentis, 2013a)</i>	✓	✓	✓			✓	✓		
VIKOR	<i>(Büyüközkan & Karabulut, 2017)^D</i>	✓		✓		✓			Ερωτηματολόγιο	✓
	<i>(Ramazankhani et al., 2016)^C</i>		✓	✓		✓		✓		✓
	<i>(Ren & Lützen, 2015)^D</i>	✓		✓		✓	✓			✓
	<i>(Rojas-Zerpa & Yusta, 2015)^D</i>	✓	✓	✓		✓	✓		Ερωτηματολόγιο, Συνεντεύξεις	
	<i>(Sakthivel et al., 2015)^{D, C}</i>			✓			✓		Ερωτηματολόγιο	
WASPAS	<i>(Baležentis & Streimikiene, 2017)^C</i>	✓	✓	✓						✓
Weighted Sum Method	<i>(de Bruin et al., 2009)</i>	✓		✓				✓	Εργαστήριο	
	<i>(Jun et al., 2013)^C</i>	✓		✓		✓		✓	Ερωτηματολόγιο	
	<i>(Klein & Whalley, 2015)</i>	✓		✓		✓	✓			
	<i>(Pilavachi et al., 2009)^D</i>	✓		✓			✓	✓		
	<i>(Ribeiro et al., 2013)^D</i>	✓	✓	✓		✓	✓	✓	Ερωτηματολόγιο, Συνεντεύξεις	✓
	<i>(Roth et al., 2009)</i>	✓		✓		✓			Ερωτηματολόγιο, Συνεντεύξεις	✓
	<i>(Volkart et al., 2016)</i>	✓	✓	✓		✓				✓

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.4, πολλές εκ των δημοσιεύσεων που μελετήθηκαν βασίστηκαν σε πολλαπλές μεθόδους ΠΣΥΑ, είτε σε διαφορετικά στάδια ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου είτε σε μία προσέγγιση συγκρίσεων. Είναι εμφανές ότι μοντέλα ανά ζεύγη συγκρίσεων (π.χ. AHP, ANP και Fuzzy AHP) χρησιμοποιούνται συχνά ως ένα πρώτο στάδιο μίας ολοκληρωμένης μεθοδολογικής προσέγγισης για την προσδιορισμό των βαρών των κριτηρίων, πριν την αξιοποίηση άλλων μεθόδων ΠΣΥΑ για την πολυκριτήρια ανάλυση των εναλλακτικών. Η TOPSIS, από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιείται συχνά συνδυαστικά με άλλα μοντέλα, όπως τη VIKOR, σε συγκριτικές μελέτες. Αξίζει να σημειωθεί ότι, από μεθοδολογικής άποψης, ο Πίνακας 4.4 καταγράφει μελέτες ΠΣΥΑ με προεκτάσεις για την κλιματική πολιτική, εξαιρώντας μεθοδολογίες που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί σε τέτοιες μελέτες αλλά που θα μπορούσαν ωστόσο να εφαρμοστούν αποτελεσματικά σε αυτό το πεδίο. Για παράδειγμα, το αναλυτικό-συνθετικό μοντέλο (Jacquet-Lagrèze and Siskos, 2001) δεν έχει έως τώρα αξιοποιηθεί στον χώρο της κλιματικής πολιτικής, εξαιτίας του πολυσύνθετου υποβάθρου του. Όμως, η κλιματική πολιτική μπορεί να επωφεληθεί σημαντικά από τέτοιες προσεγγίσεις, οι οποίες έχουν ήδη αρχίσει να προσελκύουν το ενδιαφέρον της ενεργειακής πολιτικής (π.χ. Papapostolou et al., 2016· Papapostolou et al., 2017· Nikas et al., 2018). Η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση παρέχει επίσης πληροφορίες για τις εξελικτικές τάσεις των ΠΣΥΑ σε αυτό το πεδίο: οι ELECTRE και PROMETHEE φαίνεται πως παραμένουν οι δημοφιλέστερες μέθοδοι σε προβλήματα κλιματικής πολιτικής, ενώ οι AHP και TOPSIS έχουν επίσης προσελκύσει την προσοχή τελευταία-νεότερες μεθοδολογίες, όπως οι VIKOR και ασαφείς εκδοχές των πιο παραδοσιακών (π.χ. Fuzzy AHP), έχουν επίσης κερδίσει έδαφος στη βιβλιογραφία της κλιματικής πολιτικής. Ωστόσο, αυτά τα ευρήματα πρέπει να ερμηνεύονται λαμβάνοντας υπόψιν τους περιορισμούς των κριτηρίων βιβλιογραφικής αναζήτησης που περιεγράφηκαν στην Ενότητα 4.1, καθώς και την προτεινόμενη ταξινόμηση που παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.4: για παράδειγμα, ορισμένες προσεγγίσεις βρίσκονται πολύ κοντά σε άλλες κι όμως η βιβλιογραφική ανασκόπηση τις αντιμετωπίζει ως διαφορετικές, όπως οι SAW και Weighted Sum Method. Το ίδιο μπορεί να σημειωθεί και για τις SMART και MAVT, ή τη MAUA που θεωρείται ως επέκταση της MAVT που περιλαμβάνει πιθανότητες και συμπεριφορές ρίσκου για τη διαμόρφωση συναρτήσεων χρησιμότητας (Marttunen et al., 2017).

Ανάλογα με τη φύση (προβληματική, πεδίο εφαρμογής, οικονομικός τομέας, γεωγραφικό επίπεδο, κλπ.) του προβλήματος, τα κριτήρια αξιολόγησης επιλέγονται κατάλληλα. Η μοντελοποίηση μίας συνεπούς οικογένειας κριτηρίων αξιολόγησης—τα οποία υποτίθενται μονότονα, εξαντλητικά και συνεκτικά—αποτελεί μία κρίσιμη διαδικασία που, σύμφωνα με τον Roy (1985), πραγματοποιείται σε ένα πολύ πρώιμο στάδιο, ακριβώς μετά τον προσδιορισμό του τύπου της προβληματικής (επιλογή, ταξινόμηση, κατάταξη ή περιγραφή) και του συνόλου των διαφορετικών εναλλακτικών (Siskos et al., 2005). Στις μελέτες ΠΣΥΑ με προεκτάσεις για την κλιματική πολιτική που ανασκοπήθηκαν, τα επιλεχθέντα κριτήρια μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες: οικονομικά (π.χ. χρέος, οικονομική αποδοτικότητα, καθαρή παρούσα αξία, οικονομικά κίνητρα και επιδοτήσεις, κλπ.)· ενεργειακά (π.χ. ενεργειακή ένταση, ενεργειακή αποδοτικότητα, κατανάλωση, συνεισφορά στην ενεργειακή ανεξαρτησία ή ασφάλεια, κλπ.)· περιβαλλοντικά και κλιματικά (π.χ. μείωση αερίων του θερμοκηπίου, μετριασμός αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, κλπ.)· ρυθμιστικά (π.χ. συμβατότητα με το νομικό πλαίσιο)· κοινωνικά (π.χ. κοινωνική αποδοχή, δημιουργία θέσεων εργασίας, κλπ.)· τεχνολογικά (π.χ. αυτονομία, αξιοπιστία, δυνατότητα μεταφοράς τεχνολογίας, ευελιξία καυσίμων, κλπ.)· και άλλα κριτήρια (π.χ. δυνατότητα συνεργασίας, οπτικές επιπτώσεις, κλπ.). Οι περισσότερες μελέτες χρησιμοποίησαν κριτήρια από πολλαπλές διαστάσεις, προκειμένου να διαμορφωθεί μία συνεπής οικογένεια κριτηρίων αξιολόγησης. Μόνο ένας μικρός αριθμός μελετών, όμως, αξιοποίησαν κριτήρια από όλες τις διαστάσεις (Ulutaş, 2005· και Biloslavo and Grebenc, 2012),

ενώ άλλες εστίασαν μόνο στις περιβαλλοντικές και κλιματικές διαστάσεις του προβλήματος που κλήθηκαν να αντιμετωπίσουν, αγνοώντας άλλες διαστάσεις.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο η πολυκριτήρια λήψη αποφάσεων όσο και τα προβλήματα για την επίλυση των οποίων αυτή αξιοποιείται συνήθως χαρακτηρίζονται από σημαντικές αβεβαιότητες. Υπάρχουν πολλαπλοί τρόποι με τους οποίους η αβεβαιότητα ενσωματώνεται και αντιμετωπίζεται σε εφαρμογές ΠΣΥΑ, με την πλέον καθιερωμένη στη βιβλιογραφία να είναι η ανάλυση ευαισθησίας. Μάλιστα, σχεδόν οι μισές από τις εφαρμογές της ανασκόπησης της παρούσας ενότητας φαίνονται να πραγματοποιούν κάποιον τύπο ανάλυσης ευαισθησίας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.4. Μόνο λίγες εκ των μελετών, όμως, ρητώς αναφέρονται στην ευρωστία των αποτελεσμάτων τους και, αν δεν επιδιώκουν τη μεγιστοποίησή της μέσω της εφαρμογής πολλαπλών μεθόδων ΠΣΥΑ (Rojas-Zerpa and Yusta, 2015· και Streimikiene et al., 2012), συνήθως αυτή συγχέεται με την ανάλυση ευαισθησίας που, όπως οι Durbach and Stewart (2012) σημειώνουν, συνήθως αφορά θέματα ανακριβούς κρίσεως και επομένως αποτελεί έναν τρόπο αντιμετώπισης της «εσωτερικής» αβεβαιότητας.

Η κλιματική πολιτική, από την άλλη, χαρακτηρίζεται από αβεβαιότητες που δεν περιορίζονται μόνο στα μοντέλα υποστήριξης αποφάσεων ή στις κρίσεις των εμπειρογνομόνων, αλλά περιλαμβάνουν και άλλες που σχετίζονται με τον χώρο του προβλήματος καθαυτό· με άλλα λόγια, αποτελούν μέρος «εξωτερικών» αβεβαιοτήτων και κινδύνων που αναφέρονται σε συνθήκες του χώρου προβλήματος και βρίσκονται εκτός ελέγχου του αποφασίζοντα ή του ερευνητή/επιστήμονα. Στη βιβλιογραφία, ωστόσο, αυτές σπανίως λαμβάνονται υπόψιν. Ένας διάσημος τρόπος αντιμετώπισης τέτοιων αβεβαιοτήτων περιλαμβάνει την ανάλυση του εύρους των πιθανών μελλοντικών εξελίξεων μέσω διαφορετικών σεναρίων: οι Jun et al. (2013) ποσοτικοποίησαν τον κίνδυνο ευπάθειας σε πλημμύρες για την Νότια Κορέα, λαμβάνοντας υπόψιν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και συγκρίνοντας ποικίλα κλιματικά σενάρια, οι Miller and Belton (2014) διερεύνησαν τις προεκτάσεις πολλαπλών κλιματικών σεναρίων για την ενημέρωση του σχεδιασμού διαχείρισης υδάτινων πόρων και την πολιτική προσαρμογής στην κλιματική πολιτική της Υεμένης, ενώ οι Michailidou et al. (2016) αναζήτησαν στρατηγικές μετριασμού και προσαρμογής σε τουριστικές περιοχές μέσω διαφορετικών σεναρίων. Σε ένα διαφορετικό πλαίσιο και με σκοπό τη διαχείριση της πολυκριτηριακής φύσης των αποτελεσμάτων των MOA, οι Baležentis and Streimikiene (2017) επιχείρησαν να κατατάξουν διαφορετικά σενάρια ενεργειακής πολιτικής στην ΕΕ. Μόνο μία μελέτη αξιοποίησε ΠΣΥΑ για την αξιολόγηση κινδύνου: συγκεκριμένα, οι Branco et al. (2012) χρησιμοποίησαν την ΑΗΡ για να ποσοτικοποιήσουν τον βαθμό έκθεσης σε περιβαλλοντικούς κινδύνους ενός επιλεγμένου συνόλου πετρελαϊκών εταιρειών στην ΕΕ. Είναι εμφανές, επομένως, ότι η πολυκριτήρια αξιολόγηση κινδύνου έχει παραμείνει ανεκμετάλλευτη στη βιβλιογραφία της κλιματικής αλλαγής και πολιτικής, παρά το γεγονός ότι η ποσοτική μοντελοποίηση κινδύνων και αβεβαιοτήτων είναι εφικτή σε έναν περιορισμένο αριθμό σχετικών διαστάσεων της κλιματικής πολιτικής, η οποία επομένως θα μπορούσε να επωφεληθεί σημαντικά από την εξαγωγή και αξιοποίηση της γνώσης εμπειρογνομόνων.

Παρότι η συντριπτική πλειοψηφία των εφαρμογών δεν φαίνονται να διαχειρίζονται άμεσα αυτές τις αβεβαιότητες και τους κινδύνους που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή ή/και πολιτική, η διαχείριση κινδύνου έχει εμμέσως ενσωματωθεί σε ορισμένες μελέτες, είτε ως σχετικές πολιτικές μέσα σε ένα σύνολο εναλλακτικών δράσεων είτε με τη μορφή δεικτών κινδύνου ως κριτήρια αξιολόγησης (π.χ. de Bruin et al., 2009). Σε άλλες περιπτώσεις, άλλες σχετικές μέθοδοι διαχείρισης κινδύνου ενσωματώθηκαν στην συνολική προσέγγιση, όπως το πλαίσιο ανάλυσης κινδύνου PESTLE (Political, Economic, Social, Technological, Legal, and Environmental) ή το πλαίσιο BOCR (Benefits-Opportunities-Costs-Risks). Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις διαφορετικές μεθόδους,

μοντέλα, πλαίσια και προσεγγίσεις που έχουν συνδυαστεί με μοντέλα ΠΣΥΑ στη βιβλιογραφία της κλιματικής πολιτικής συνοψίζονται στον Πίνακα 4.5.

Όπως έχει ήδη συζητηθεί, οι περισσότερες εφαρμογές δεν βασίζονται τα αποτελέσματά τους αποκλειστικά σε ένα ή περισσότερα μοντέλα ΠΣΥΑ αλλά αξιοποιούν ολοκληρωμένες προσεγγίσεις, συνδυάζοντας την πολυκριτήρια ανάλυση με άλλες μεθοδολογίες σε διαφορετικά στάδια. Ανάμεσα στα διάφορα μοντέλα, εργαλεία ή μεθοδολογίες που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5, οι πλέον δημοφιλείς είναι οι διαφορετικές τεχνικές επικοινωνίας, όπως η Delphi (π.χ. Cowan et al., 2010 και Xu et al., 2016) και η Ανάλυση Εισόδου-Εξόδου (π.χ. Jayaraman et al., 2015). Ένα άλλο συμπέρασμα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι ότι τα άλλα δύο εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων που περιλαμβάνονται στο παρόν κεφάλαιο και τη διδακτορική διατριβή, δηλαδή οι ΑΓΧ και η ΑΧ, έχουν επίσης ενσωματωθεί σε μελέτες ΠΣΥΑ με διαφορετικούς τρόπους (π.χ. Shiau and Liu, 2013 και Almaraz et al., 2013). Πιο σημαντικά, όμως, υφιστάμενες προσεγγίσεις που συνδυάζουν ΠΣΥΑ με ΜΟΑ, όπως τα WITCH και TIAM (Baležentis & Streimikiene, 2017), AIM και TIMES (Vaillancourt and Waaub, 2004), και MARKAL (Shmelev and van den Bergh, 2016), αποδεικνύουν ότι η μοντελοποίηση κλίματος-οικονομίας μπορεί να επωφεληθεί από μεθόδους ΠΣΥΑ, σε ποικίλες ρυθμίσεις ολοκλήρωσης.

Πίνακας 4.5 Επισκόπηση των δημοσιεύσεων κλιματικής πολιτικής στις οποίες τα ΠΣΥΑ ενσωματώνονται με άλλες μεθοδολογίες.

Κατηγορία	Προσέγγιση	Δημοσίευση	
Επικοινωνία	Delphi	(Biloslavo & Dolinšek, 2010)	
		(Biloslavo & Grebenc, 2012)	
		(Cowan et al., 2010)	
		(Jun et al., 2013)	
		(Roth et al., 2009)	
		(Xu et al., 2016)	
		(Jayaraman et al., 2015)	
		(Oliveira & Antunes, 2004)	
		(San Cristóbal, 2012)	
		(Biloslavo & Dolinšek, 2010)	
Ημιοσοτική μοντελοποίηση	ΑΓΧ	(Biloslavo & Grebenc, 2012)	
		(Mourhir et al., 2016)	
		(Shiau & Liu, 2013)	
		(Jun et al., 2013)	
Ποσοτική μοντελοποίηση	Κλιματικά μοντέλα	(Shmelev & van den Bergh, 2016)	
		(Brand & Missaoui, 2014)	
	Μοντέλα ενεργειακών συστημάτων	(Vaillancourt & Waaub, 2004)	
		(Baležentis & Streimikiene, 2017)	
		(Almaraz et al., 2013)	
		(Baležentis & Streimikiene, 2017)	
Αξιολόγηση αβεβαιότητας	Ανάλυση Monte Carlo	(Shmelev & van den Bergh, 2016)	
Άλλα	Benefits – Opportunities – Costs – Risks (BOCR)	(Ulutaş, 2005)	
		(Yap & Nixon, 2015)	
		Data Envelopment Analysis (DEA)	(Madlener et al., 2009)
		Driving forces – Pressures – State – Impact – Responses	(Mourhir et al., 2016)
		AKZ	(Le Teno & Mareschal, 1998)
		(Fozer et al., 2017)	

Κατηγορία	Προσέγγιση	Δημοσίευση
		(Roth et al., 2009)
		(Volkart et al., 2016)

4.5 ΑΧ: μέτρα κλιματικής πολιτικής ως περιουσιακά στοιχεία

Σύμφωνα με τον Markowitz (1952), η επιλογή του βέλτιστου χαρτοφυλακίου περιλαμβάνει την πιθανοτική εκτίμηση της μελλοντικής απόδοσης των διαθέσιμων επιλογών, τον προσδιορισμό ενός ικανού συνόλου χαρτοφυλακίων μέσω της ανάλυσης αυτής της εκτίμησης, και εν τέλει την επιλογή ενός χαρτοφυλακίου που προσαρμόζεται καλύτερα στις προτιμήσεις του επενδυτή. Παρότι η ΑΧ αφορά στο δεύτερο στάδιο αυτής της διαδικασίας (Vörös, 1986), η πλαισίωση ενός προβλήματος κλιματικής πολιτικής σε αυτό το πλαίσιο συνήθως περιλαμβάνει επιπρόσθετες προσπάθειες σε όλα τα τρία στάδια. Αυτός είναι ενδεχομένως ένας από τους βασικούς λόγους για τους οποίους, παρά την εδραίωσή της ως εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων εδώ και δεκαετίες, η ΑΧ παραμένει σχετικώς ανεκμετάλλευτη ως εργαλείο υποστήριξης κλιματικής πολιτικής. Ωστόσο, βρέθηκαν 47 επιστημονικά άρθρα που είτε αντιμετωπίζουν προβλήματα του χώρου της κλιματικής αλλαγής ή πολιτικής είτε συνδέονται στενά με πολιτικές μετριασμού ή προσαρμογής.

Δεδομένου ότι οι ενεργειακές επενδύσεις έχουν απασχολήσει την έρευνα πολύ πριν την κλιματική πολιτική, η επιλογή ενός επενδυτικού χαρτοφυλακίου για τη βελτιστοποίηση του μίγματος ηλεκτροπαραγωγής (π.χ. Bar-Lev and Kratz, 1976· ή Zhu and Fan, 2010) ή του ενεργειακού μίγματος (π.χ. Pugh et al., 2011) μίας χώρας ή περιοχής φαίνεται ότι σχεδόν μονοπωλεί την σχετική βιβλιογραφία της ΑΧ. Ανάμεσα σε αυτές τις δημοσιεύσεις, αρκετές εστίασαν στις αγορές ηλεκτρισμού (π.χ. Zon and Fuss, 2006· Siddiqui et al., 2016· ή Cucchiella et al., 2017)· ενώ άλλες ασχολήθηκαν με την προώθηση των τεχνολογιών ΑΠΕ, όπως τα φωτοβολταϊκά (Albrecht, 2007· και Awerbuch, 2000), τα αιολικά (Adabi et al., 2016· και Santos-Alamillos et al., 2017), και τη βιομάζα (Lintunen and Uusivuori, 2016). Επίσης, το αντικείμενο ορισμένων εξ αυτών των μελετών δεν περιορίστηκε στην ηλεκτροπαραγωγή αλλά συμπεριλάμβανε την αξιολόγηση επενδύσεων Ε&Α σε ενεργειακές τεχνολογίες (π.χ. Baker and Solak, 2011· και Lemoine et al., 2012), μέτρα πολιτικής σχετικά με την εμπορία ρύπων (Aresano et al. 2012· και Flues et al., 2014), ή μέτρα και τεχνολογίες σε οικονομικούς τομείς που συνδέονται άρρηκτα με τον ενεργειακό τομέα, όπως οι τεχνολογίες ενεργειακής αποδοτικότητας στα κτίρια (Westner and Madlener, 2010· και Shakouri et al., 2015) ή καύσιμα μεταφορών (Marrero et al., 2015). Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις κατασκευής χαρτοφυλακίων σε αναλύσεις που περιστρέφονται γύρω από την παραγωγή ενέργειας: τα χαρτοφυλάκια που βασίζονται στην εγκατεστημένη ισχύ και τα χαρτοφυλάκια που βασίζονται στην παραγόμενη ενέργεια· όπως σημειώνουν οι Jansen et al. (2006), παρότι τα πρώτα φαίνονται κοντινότερα στη λογική των περιουσιακών στοιχείων και επομένως πιο ελκυστικά, τα δεύτερα είναι πιο ρεαλιστικά εφόσον η εγκατεστημένη ισχύς ποικίλλει μεταξύ χαρτοφυλακίων που πρέπει να ικανοποιήσουν την ηλεκτρική ζήτηση μίας συγκεκριμένης περιόδου.

Εκτός του ενεργειακού τομέα, οι ανακτηθείσες εφαρμογές ΑΧ στόχευαν στην υποστήριξη περιβαλλοντικής διαχείρισης και επενδύσεων στη γεωργία και τη δασοκομία. Οι Crowe and Parker (2008) χρησιμοποίησαν την ΑΧ για να επιλέξουν ένα βέλτιστο σύνολο σπόρων για την αναδάσωση με λευκή ερυθρελάτη με τρόπο ανθεκτικό στην κλιματική αλλαγή. Οι Mitter et al. (2015) επιχείρησαν να ποσοτικοποιήσουν τις κλιματικές επιπτώσεις στη γεωργική ευπάθεια και να αναπτύξουν χαρτοφυλάκια

γεωργικής παραγωγής, αναλύοντας τις επιπτώσεις γεωργικών πολιτικών προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Οι Seo and Mendelsohn (2007) μελέτησαν τον τρόπο που οι κτηνοτρόφοι επιλέγουν τα ζώα τους σε διαφορετικές περιοχές της Αφρικής. Οι Lintunen and Uusivuori (2016) αναζήτησαν το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο πολιτικής μετριασμού για την ρύθμιση των δασικών ροών άνθρακα, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη την ηλεκτροπαραγωγή από βιομάζα. Όλες οι περιβαλλοντικές εφαρμογές AX εστίασαν στον σχεδιασμό και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων, με προεκτάσεις για την πολιτική προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Τέλος, οι Lemoine et al. (2012) ασχολήθηκαν με διαφορετικές επιλογές E&A και σχετικά μέτρα πολιτικής για τον προσδιορισμό δυναμικού χαρτοφυλακίου μετριασμού, οι Luo and Wu (2016) μελέτησαν την παγκόσμια αγορά εκπομπών άνθρακα, και οι Romejko and Nakano (2017) εστίασαν σε οχήματα εναλλακτικών καυσίμων.

Ανεξάρτητα από το πεδίο εφαρμογής τους, 21 εξ αυτών των μελετών αναφέρονταν ρητώς στην κλιματική δράση ως μέρος του αντικειμένου τους, χρησιμοποιώντας αντικειμενικές συναρτήσεις σχετικές με τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, ή μέσω της αξιολόγησης μέτρων ή επενδύσεων κλιματικής πολιτικής. Οι υπόλοιπες μελέτες είχαν έμμεσες προεκτάσεις για την κλιματική δράση, περιλαμβάνοντας περιβαλλοντικούς και κλιματικούς περιορισμούς. Ο Πίνακας 4.6 συνοψίζει τις σχετικές επιστημονικές δημοσιεύσεις της βιβλιογραφίας, μαζί με το πεδίο εφαρμογής τους και μία ένδειξη ρητής αναφοράς στην κλιματική πολιτική.

Πίνακας 4.6 Επισκόπηση δημοσιεύσεων κλιματικής πολιτικής στη βιβλιογραφία AX, αναφορικά με το πεδίο εφαρμογής τους και τις ρητές προεκτάσεις για την κλιματική πολιτική (M = Μετριασμός, A = Προσαρμογή).

Δημοσίευση	Πεδίο εφαρμογής							
	Αναβάθμιση κτιρίων	Σχεδιασμός ηλεκτροπαραγωγής	Εμπορία ρύπων	E&A στην Ενέργεια	Καθαρή βιομηχανία	Γεωργία & δασοκομία	Πράσινες μεταφορές	Διαχείριση υδάτινων πόρων
(Adabi et al., 2016)		✓						
(Albrecht, 2007)		✓						
(Allan et al., 2011)		✓						
(Arnesano et al., 2012)		✓	✓					
(Awerbuch & Berger, 2003)		✓						
(Awerbuch et al., 2006)		✓						
(Awerbuch, 2000)		✓						
(Awerbuch, 2006)		✓						
(Baker & Solak, 2011) ^M		✓		✓				
(Bar-Lev & Kratz, 1976)		✓						
(Barron et al., 2014) ^M		✓		✓				
(Bhattacharya & Kojima, 2012)		✓						
(Buurman & Babovic, 2016) ^A								✓
(Chalvatzis & Rubel, 2015)		✓						
(Crowe & Parker, 2008) ^A						✓		
(Cucchiella et al., 2017)		✓						
(Delarue et al., 2011) ^M		✓						
(Flues et al., 2014)		✓	✓					
(Fuss et al., 2012) ^M		✓						

Δημοσίευση	Πεδίο εφαρμογής							
	Αναβάθμιση κτιρίων	Σχεδιασμός ηλεκτροπαραγωγής	Εμπορία ρύπων	Ε&Α στην Ενέργεια	Καθαρή βιομηχανία	Γεωργία & δάσοςομία	Πράσινες μεταφορές	Διαχείριση υδάτινων πόρων
(Hua et al., 2015) ^A								✓
(Jansen et al., 2006)		✓						
(Laurikka & Springer, 2003) ^M	✓	✓	✓	✓				
(Lemoine et al., 2012) ^M				✓				
(Lintunen & Uusivuori, 2016) ^M		✓				✓		
(Liu & Wu, 2007)		✓						
(Luo & Wu, 2016) ^M			✓					
(Marinoni et al., 2011) ^A								✓
(Marrero et al., 2015)		✓					✓	
(McLoughlin & Bazilian, 2006)		✓						
(Mitter et al., 2015) ^A						✓		
(Narita & Klepper, 2016)		✓		✓				
(Nazari et al., 2015) ^A		✓						
(Oda & Akimoto, 2011)		✓		✓				
(Pugh et al., 2011) ^M	✓	✓		✓	✓		✓	
(Romejko & Nakano, 2017) ^M							✓	
(Roques et al., 2008)		✓						
(Santos-Alamillos et al., 2017)		✓						
(Seo & Mendelsohn, 2007) ^A						✓		
(Shahnazari et al., 2017)		✓		✓				
(Shakouri et al., 2015)	✓	✓						
(Siddiqui et al., 2016)		✓						
(Springer, 2003) ^M		✓						
(Torani et al., 2016)		✓		✓				
(van Asseldonk & Langeveld, 2007) ^A						✓		
(Westner & Madlener, 2010)	✓	✓						
(White, 2007)		✓						
(Zhou et al., 2010) ^M		✓						
(Zhu & Fan, 2010)		✓						
(Zhu & Fan, 2011)		✓		✓				
(Ziegler et al., 2012)		✓						
(Zon & Fuss, 2006) ^M		✓						
Huang & Wu, 2008)		✓						
Muñoz et al., 2009)		✓						

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.7, οι περισσότερες μελέτες στη σχετική βιβλιογραφία αξιοποιούν τη Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου (ΣΘΧ) (Markowitz, 1952) ή την Real Options Analysis (Dixit and Pindyck, 1994). Ξεφεύγοντας από τις παραδοσιακές μεθόδους, άλλες γνωστές προσεγγίσεις χρηματοοικονομικής, εμπορίας και αξιολόγησης μετοχών που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία περιλαμβάνουν το μοντέλο βελτιστοποίησης χαρτοφυλακίου Black-Litterman (Black and Litterman, 1992), το μοντέλο Clay-Clay Vintage (Den Hartog and Tjan, 1980), την Random Walk Theory (Cootner,

1964), και το μοντέλο Capital Asset Pricing (Sharpe, 1964· και Lintner, 1965). Οι υπόλοιπες κυρίως περιλαμβάνουν προσεγγίσεις μαθηματικού προγραμματισμού, όπως για παράδειγμα στοχαστικό (π.χ. Flues et al., 2014) και τετραγωνικό προγραμματισμό (π.χ. Lue and Wu, 2007)· μεταευσριστικές, όπως τον αλγόριθμο Artificial Bee Colony (Adabi et al., 2016)· και στατιστικές μεθόδους, όπως την πολυωνυμική λογιστική παλινδρόμηση (Seo and Mendelsohn, 2007). Πέραν των διαδεδομένων μεθοδολογιών βελτιστοποίησης χαρτοφυλακίου, ορισμένοι ερευνητές χρησιμοποίησαν διαφορετικές προσεγγίσεις κατανομής περιουσιακών στοιχείων στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια. Για παράδειγμα, οι Barron et al. (2014) χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο με προϋπολογιστικούς περιορισμούς για την ελαχιστοποίηση του αναμενόμενου κοινωνικού κόστους, επιλέγοντας το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο E&A, και το σύγκριναν με ένα συνολικό μοντέλο βελτιστοποίησης δύο σταδίων, το οποίο όχι μόνο κατανέμει τον προϋπολογισμό βέλτιστα αλλά χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα προσδιορισμού του βέλτιστου μεγέθους του συνολικού προϋπολογισμού E&A.

Μία σημαντική διάσταση της AX, η οποία ενδεχομένως εμποδίζει την περαιτέρω διάχυσή της σε αυτό το πεδίο, βρίσκεται στον προσδιορισμό των χρηματοοικονομικών περιουσιακών στοιχείων προς επένδυση. Όπως σημειώνει ο Liu (1999), τα στοιχεία αυτά είναι τυχαίες μεταβλητές με μία πιθανοτική κατανομή επί των πιθανών αποδόσεών τους, ένας γραμμικός συνδυασμός των οποίων αποτελεί ένα χαρτοφυλάκιο. Δεδομένης της δυσκολίας χαρακτηρισμού οποιουδήποτε μέτρου πολιτικής ως τέτοιο περιουσιακό στοιχείο, οι περισσότερες εφαρμογές σε αυτό το πεδίο έχουν αναμενόμενα εστιάσει στην αξιολόγηση επενδύσεων αντί άλλων μέτρων πολιτικής· αυτό εξηγεί γιατί τα προβλήματα ηλεκτροπαραγωγής διαμορφώνουν την πλειοψηφία των εφαρμογών αυτών. Ωστόσο, ορισμένες μελέτες επίσης καταπιάστηκαν με άλλα μη επενδυτικά περιουσιακά στοιχεία, όπως τα χρηματοοικονομικά κίνητρα (π.χ. κυβερνητικά συμβόλαια από τους Roques et al., 2008· και επιδοτήσεις από τους Bhattacharya and Kojima, 2012), οι φόροι εκπομπών άνθρακα (Awerbuch, 2000· Zhu and Fan, 2010· και Lintunen and Uusivuori, 2016), και τα οφέλη εμπορίας εκπομπών (Siddiqui et al., 2016).

Το πιο κεντρικό κομμάτι της AX είναι η διαδικασία μοντελοποίησης του προβλήματος. Αυτή περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της συνάρτησης χρησιμότητας ή αξίας (αντικειμενική συνάρτηση), η βελτιστοποίηση της οποίας πρέπει να επιτευχθεί για να εξασφαλιστεί το εύρος (σύννορο) των ικανών χαρτοφυλακίων, καθώς και οι περιορισμοί στους οποίους αυτή η συνάρτηση υπόκειται. Η συντριπτική πλειοψηφία των δημοσιεύσεων της ανασκόπησης αξιοποιούν μεθοδολογικές προσεγγίσεις βασισμένες σε συναρτήσεις ελαχιστοποίησης κόστους ή κινδύνου, παρότι ένας μεγάλος αριθμός εξ αυτών χρησιμοποιούν περισσότερες από μία συναρτήσεις σε διαφορετικά στάδια. Λιγότερες εφαρμογές αποσκοπούν στη μεγιστοποίηση κέρδους ή απόδοσης, αντί της ελαχιστοποίησης κόστους—ορισμένοι ερευνητές προτείνουν ότι η μεγιστοποίηση της απόδοσης είναι το ακριβές αντίστροφο της ελαχιστοποίησης κόστους (π.χ. Awerbuch and Berger, 2003), ενώ άλλοι ορίζουν τις δύο έννοιες ως μη απαραίτητα ταυτόσημες εφόσον καθοριστούν σωστά (Jansen et al., 2006). Αναφορικά με τους περιορισμούς, παρότι εντοπίστηκαν επτά κατηγορίες (χρηματοοικονομικοί, περιβαλλοντικοί ή κλιματικοί, γεωγραφικοί, πολιτικοί, ρυθμιστικοί ή πολιτικοί, τεχνολογικοί, και χρονικοί), αυτοί φαίνονται να ποικίλλουν σημαντικά. Οι πιο κοινότεροι αφορούν προϋπολογιστικούς ή αγοραίους περιορισμούς, ανώτατα όρια τεχνολογικών μεριδίων στα ενεργειακά μείγματα, περιορισμούς εκπομπών, περιορισμούς που έχουν τεθεί από κοινοτικές (ΕΕ) οδηγίες και εθνικές πολιτικές, χρονικούς ορίζοντες, και συνδυασμούς γεωγραφικών αποστάσεων.

Τέλος, ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό της AX—και ίσως αυτό με τα μεγαλύτερα οφέλη για την κλιματική αλλαγή και τη χάραξη σχετικής πολιτικής—συνδέεται με την έμφυτη δυνατότητά της να

διαχειρίζεται τους κινδύνους και τις αβεβαιότητες. Πέραν της καθιερωμένης ενσωμάτωσης του ρίσκου στην μεθοδολογία της ΣΘΧ, πολλοί ερευνητές επιχείρησαν να ελαχιστοποιήσουν τον κίνδυνο ως μέρος της αντικειμενικής τους συνάρτησης, ή μέσω του εργαλείου υπό όρους αξίας σε κίνδυνο (Conditional Value-at-Risk ή CVaR), δηλαδή του αναμενόμενου μέσου ελλείμματος (π.χ. [Nazari et al., 2015](#)). Η επικρατέστερη μέθοδος αξιολόγησης της αβεβαιότητας στην ΑΧ είναι η χρήση διαφορετικών σεναρίων που καθοδηγούν τη διαδικασία μοντελοποίησης. Για παράδειγμα, οι [Fuss et al. \(2012\)](#) αξιοποίησαν τα ΔΚΜ ([O'Neill et al., 2014](#)), ενώ οι [Marinoni et al. \(2011\)](#) και [Hua et al. \(2015\)](#) υπέθεσαν διαφορετικά σενάρια κλιματικής αλλαγής για την ανάλυση χαρτοφυλακίων πολιτικών προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Μία ευρέως διαδεδομένη προσέγγιση διαχείρισης αβεβαιότητας είναι και η ανάλυση Monte Carlo, η οποία (σε αντίθεση με την ανάλυση σεναρίων) αποδίδει τυχαίες τιμές από πιθανοτικές κατανομές για πολλαπλές μεταβλητές, προκειμένου να παράγει πολυάριθμους συνδυασμούς, έναντι όλων εκ των οποίων το μοντέλο δοκιμάζεται προκειμένου να βρεθεί το πλέον εύρωστο σύνολο χαρτοφυλακίων.

Ο [Πίνακας 4.7](#) συνοψίζει τις μεθοδολογικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία της κλιματικής πολιτικής, με τη φύση των περιουσιακών στοιχείων που μοντελοποιούνται, τις αντικειμενικές συναρτήσεις, τον τύπο των περιορισμών στους οποίους υπόκεινται αυτές οι συναρτήσεις, καθώς και τη μεθοδολογία αξιολόγησης της αβεβαιότητας.

Πέραν των μεθοδολογικών προεκτάσεων για την ΑΧ, μόνο ένα μικρό πλήθος μελετών την συνδύασαν με άλλα εργαλεία. Συγκεκριμένα, ορισμένες αναλύσεις γεωργικών και δασοκομικών εφαρμογών χρησιμοποίησαν διαφορετικά πλαίσια αγροτικής-γεωργικής μοντελοποίησης και προσομοίωσης (π.χ. [Crowe and Parker, 2008](#), [Mitter et al., 2015](#), και [van Asseldonk and Langeveld, 2007](#)). Τέλος, οι [Luo and Wu \(2016\)](#) χρησιμοποίησαν το μοντέλο GARCH για να εξετάσουν τις μεταβλητές συσχετίσεις στις ευρωπαϊκές, κινεζικές και αμερικανικές αγορές εμπορίας ρύπων, πετρελαίου και μετοχών, ενώ οι [Marinoni et al. \(2011\)](#) χρησιμοποίησαν ΠΣΥΑ και ΣΘΧ για τον προσδιορισμό βέλτιστου χαρτοφυλακίου παρεμβάσεων για δεδομένο προϋπολογισμό. Αξίζει να σημειωθεί ότι δύο δημοσιεύσεις της βιβλιογραφίας χρησιμοποίησαν την ΑΧ συνδυαστικά με κάποιο ΜΟΑ: οι [Pugh et al. \(2011\)](#) χρησιμοποίησαν τεχνολογικά σενάρια από το μοντέλο GCAM, ενώ οι [Baker and Solak \(2011\)](#) χρησιμοποίησαν αποτελέσματα των μοντέλων DICE2007 και MiniCAM (που στη συνέχεια μετεξελίχθηκε στο GCAM).

Πίνακας 4.7 Επισκόπηση προσεγγίσεων AX, περιουσιακών στοιχείων (F = Χρηματοδοτικά κίνητρα, I = Επενδύσεις, P = Πολιτικές, T = Φόροι, O = Άλλα), αντικειμενικών συναρτήσεων, περιορισμών (ECO = Οικονομικοί, ENV = Περιβαλλοντικοί ή Κλιματικοί, GEO = Γεωγραφικοί, POL = Πολιτικοί, REG = Ρυθμιστικοί, TECH = Τεχνολογικοί, TIME = Χρονικοί) και μεθόδων διαχείρισης αβεβαιότητας στη βιβλιογραφία της κλιματικής πολιτικής.

Προσεγγίσεις	Δημοσίευση	Περιουσιακά στοιχεία	Αντικειμενική συνάρτηση	Περιορισμοί							Αβεβαιότητα
				ECO	ENV	GEO	POL	REG	TECH	TIME	
Black-Litterman	(Arnesano et al., 2012)	P	Ελαχιστοποίηση κόστους	✓							
Capital Asset Pricing	(Albrecht, 2007)	I	Ελαχιστοποίηση κινδύνου								
	(Marrero et al., 2015)	I, P	Ελαχιστοποίηση κόστους & κινδύνου						✓		
Clay-Clay-Vintage	(Zon & Fuss, 2006)	I	Ελαχιστοποίηση κόστους & κινδύνου		✓			✓	✓		
ΣΘΧ	(Allan et al., 2011)	I	Ελαχιστοποίηση κόστους & κινδύνου						✓		Σενάρια
	(Awerbuch & Berger, 2003)	P	Ελαχιστοποίηση κόστους	✓				✓			Σενάρια
	(Awerbuch et al., 2006)	I	Μεγιστοποίηση διαφοροποίησης & ισχύος	✓							
				Ελαχιστοποίηση κινδύνου							
	(Awerbuch, 2006)	P	Ελαχιστοποίηση κόστους				✓	✓	✓		
	(Bar-Lev & Kratz, 1976)	I	Ελαχιστοποίηση κόστους & κινδύνου	✓	✓	✓	✓	✓			
	(Bhattacharya & Kojima, 2012)	F, I	Ελαχιστοποίηση κινδύνου					✓			
	(Chalvatzis & Rubel, 2015)	I	Ελαχιστοποίηση κινδύνου							✓	
(Crowe & Parker, 2008)	O	Ελαχιστοποίηση κινδύνου	✓	✓							
(Cucchiella et al., 2017)	I	Ελαχιστοποίηση κινδύνου,	✓					✓			

Προσεγγίσεις	Δημοσίευση	Περιουσιακά στοιχεία	Αντικειμενική συνάρτηση	Περιορισμοί						Αβεβαιότητα	
				ECO	ENV	GEO	POL	REG	TECH		TIME
	(Delarue et al., 2011)	I	μεγιστοποίηση κέρδους Ελαχιστοποίηση κόστους					✓		✓	
	(Hua et al., 2015)	I	Ελαχιστοποίηση κινδύνου	✓							Σενάρια
	(Jansen et al., 2006)	I	Ελαχιστοποίηση κόστους & κινδύνου	✓	✓						
	(Liu & Wu, 2007)	I	Ελαχιστοποίηση κινδύνου, μεγιστοποίηση κέρδους								
	(Luo & Wu, 2016)	I, P	Ελαχιστοποίηση κινδύνου	✓							Σενάρια, CVaR
	(Marinoni et al., 2011)	I	Μεγιστοποίηση κέρδους	✓	✓	✓			✓		Σενάρια
	(Marrero et al., 2015)	I, P	Ελαχιστοποίηση κόστους & κινδύνου						✓		
	(McLohglin & Bazilian, 2006)	P	Ελαχιστοποίηση κόστους						✓		
	(Mitter et al., 2015)	P	Μεγιστοποίηση κέρδους			✓					Σενάρια
	(Nazari et al., 2015)	I, P	Ελαχιστοποίηση κόστους						✓		CVaR
	(Roques et al., 2008)	F, I	Μεγιστοποίηση κέρδους								Monte Carlo
	(Santos-Alamillos et al., 2017)	I	Ελαχιστοποίηση κινδύνου						✓	✓	Σενάρια
	(Shakouri et al., 2015)	I	Μεγιστοποίηση κέρδους & ισχύος, ελαχιστοποίηση κινδύνου			✓					
	(van Asseldonk & Langeveld, 2007)	O	Μεγιστοποίηση παραγωγής		✓	✓					Σενάρια
	(Westner & Madlener, 2010)	I, P	Μεγιστοποίηση κέρδους, ελαχιστοποίηση κινδύνου					✓	✓		Monte Carlo

Προσεγγίσεις	Δημοσίευση	Περιουσιακά στοιχεία	Αντικειμενική συνάρτηση	Περιορισμοί						Αβεβαιότητα
				ECO	ENV	GEO	POL	REG	TECH	
	(White, 2007)	I	Ελαχιστοποίηση κόστους & κινδύνου		✓				✓	
	(Zhu & Fan, 2010)	I, T	Ελαχιστοποίηση κόστους		✓					Σενάρια
	(Huang & Wu, 2008)	I	Ελαχιστοποίηση κόστους & κινδύνου					✓	✓	
Multi-Criteria Diversity Analysis	(Awerbuch et al., 2006)	P	Ελαχιστοποίηση κόστους				✓	✓	✓	
Random Walk Theory	(Ziegler et al., 2012)	I	Μεγιστοποίηση κέρδους, ελαχιστοποίηση κινδύνου						✓	Cholesky αποσύνθεση
Real Options Analysis	(Buurman & Babovic, 2016)	I, P	Ελαχιστοποίηση κόστους	✓						
	(Fuss et al., 2012)	I	Ελαχιστοποίηση κόστους & κινδύνου						✓	Σενάρια, Monte Carlo, CVaR
	(Narita & Klepper, 2016)	I	Μεγιστοποίηση κέρδους	✓	✓				✓	✓
	(Nazari et al., 2015)	I, P	Ελαχιστοποίηση κόστους						✓	CVaR
	(Oda & Akimoto, 2011)	I	Μεγιστοποίηση κέρδους	✓				✓	✓	✓
	(Shahnazari et al., 2017)		Μεγιστοποίηση κέρδους, ελαχιστοποίηση κινδύνου	✓				✓		Σενάρια, Monte Carlo, CVaR
	(Torani et al., 2016)	F, I, T	Ελαχιστοποίηση κόστους	✓				✓	✓	✓
	(Zhou et al., 2010)	I	Μεγιστοποίηση κέρδους	✓				✓	✓	Σενάρια, Monte Carlo
	(Zhu & Fan, 2011)	I	Μεγιστοποίηση κέρδους	✓				✓	✓	✓
										Σενάρια, Monte Carlo

Προσεγγίσεις	Δημοσίευση	Περιουσιακά στοιχεία	Αντικειμενική συνάρτηση	Περιορισμοί						Αβεβαιότητα	
				ECO	ENV	GEO	POL	REG	TECH		TIME
Άλλες	(Adabi et al., 2016)	I	Ελαχιστοποίηση κινδύνου					✓			
	(Awerbuch, 2000)	I, T	Μεγιστοποίηση κέρδους	✓							
	(Baker & Solak, 2011)	I	Ελαχιστοποίηση κόστους	✓						Monte Carlo	
	(Bar-Lev & Kratz, 1976)	I	Ελαχιστοποίηση κόστους & κινδύνου	✓	✓	✓	✓	✓			
	(Barron et al., 2014)	I	Ελαχιστοποίηση κοινωνικού κόστους, Βελτιστοποίηση προϋπολογισμού	✓			✓				
	(Flues et al., 2014)	I	Ελαχιστοποίηση κόστους					✓			
	(Laurikka & Springer, 2003)	I	Ελαχιστοποίηση εκπομπών	✓							
	(Lemoine et al., 2012)	P	Ελαχιστοποίηση κόστους		✓					Σενάρια	
	(Lintunen & Uusivuori, 2016)	T	Ελαχιστοποίηση κόστους	✓	✓						
	(Liu & Wu, 2007)	I	Μεγιστοποίηση κέρδους, ελαχιστοποίηση κινδύνου								
	(Pugh et al., 2011)	I	Ελαχιστοποίηση κόστους	✓	✓					✓	Σενάρια, Monte Carlo
	(Romejko & Nakano, 2017)	I	Ελαχιστοποίηση κόστους						✓		
	(Seo & Mendelsohn, 2017)	I	Μεγιστοποίηση κέρδους	✓	✓						Σενάρια
	(Siddiqui et al., 2016)	P	Ελαχιστοποίηση κοινωνικού κόστους	✓					✓		Σενάρια

4.6 Συμπεράσματα

Η επίτευξη μεταβάσεων σε κοινωνίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα αποτελεί μία ιδιαίτερα σύνθετη, πολυδιάστατη διεργασία που δεν περιλαμβάνει απλώς την ανάπτυξη μακροπρόθεσμων κοινωνικοοικονομικών μονοπατιών και μονοπατιών συγκεντρώσεων, αλλά απαιτεί και την αξιολόγηση των μέτρων, στρατηγικών και μιγμάτων πολιτικής που μπορούν να προάγουν αυτά τα μονοπάτια με τρόπο εύρωστο, κοινωνικά αποδεκτό και οικονομικά βιώσιμο. Επομένως, η χάραξη κλιματικής πολιτικής οφείλει να περιλαμβάνει εξίσου ποικίλα επιστημονικά πεδία· σε αυτήν την κατεύθυνση, οι περισσότερες επιστημονικές μελέτες προς υποστήριξη κλιματικής πολιτικής χρησιμοποιούν ΜΟΑ, τα οποία ωστόσο χαρακτηρίζονται από σημαντικές αδυναμίες. Υπάρχουν εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων που μπορούν να ανταποκριθούν σε αυτές τις αδυναμίες, οι οποίες συνοψίζονται (α) στην μικρή συμμετοχή εμπειρογνομώνων και άμεσα ενδιαφερόμενων φορέων και (β) στην περιορισμένη δυνατότητα διαχείρισης και αξιολόγησης των κινδύνων και των αβεβαιοτήτων, και επομένως δύνανται να υποστηρίξουν τη διεργασία χάραξης πολιτικής μέσω της ολοκλήρωσής τους με τα ΜΟΑ. Το παρόν κεφάλαιο επιχειρεί τη βιβλιογραφική ανασκόπηση τριών τέτοιων εργαλείων, των ΑΓΧ, ΠΣΥΑ και ΑΧ, και διερευνά την υφιστάμενη σχέση τους με πραγματικά προβλήματα του χώρου της κλιματικής πολιτικής. Τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης συνηγορούν στην άποψη ότι η διαμόρφωση κλιματικής πολιτικής μπορεί να επωφεληθεί σημαντικά από ολοκληρωμένες προσεγγίσεις, στις οποίες διαφορετικές μεθοδολογίες βασισμένες στα συγκεκριμένα εργαλεία δύνανται να συμπληρώσουν η μία την άλλη, προκειμένου να δώσουν εύρωστα αποτελέσματα που χαίρουν ευρείας αποδοχής και εμπιστοσύνης.

Καθώς αυτά τα εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων ενσωματώνονται στη διαδικασία υποστήριξης της διαμόρφωσης κλιματικής πολιτικής, οι φορείς χάραξης πολιτικής εμπλέκονται ολοένα και περισσότερο στις επιστημονικές διεργασίες, ενώ τα επιστημονικά αποτελέσματα φιλτράρονται και δοκιμάζονται υπό εξωγενείς κινδύνους, οδηγώντας σε πιο αποτελεσματικές και εύρωστες συστάσεις πολιτικής.

Ο ισχυρισμός αυτός μένει να αποδειχθεί στις εφαρμογές του προτεινόμενου επιστημονικού υποδείγματος, στα [Κεφάλαια 8 – 12](#).

4.7 Βιβλιογραφία

- Adabi, F., Mozafari, B., Ranjbar, A. M., & Soleymani, S. (2016). Applying portfolio theory-based modified ABC to electricity generation mix. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 80, 356-362.
- Agrawala, S., Bosello, F., Carraro, C., de Bruin, K., De Cian, E., Dellink, R., & Lanzi, E. (2010). Plan or react? Analysis of adaptation costs and benefits using integrated assessment models. *OECD Environment Working Papers*, (23), 0_1.
- Albrecht, J. (2007). The future role of photovoltaics: A learning curve versus portfolio perspective. *Energy Policy*, 35(4), 2296-2304.
- Allan, G., Eromenko, I., McGregor, P., & Swales, K. (2011). The regional electricity generation mix in Scotland: A portfolio selection approach incorporating marine technologies. *Energy Policy*, 39(1), 6-22.

- Almaraz, S. D. L., Azzaro-Pantel, C., Montastruc, L., Pibouleau, L., & Senties, O. B. (2013). Assessment of mono and multi-objective optimization to design a hydrogen supply chain. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(33), 14121-14145.
- AlSabbagh, M., Siu, Y. L., Guehneemann, A., & Barrett, J. (2016). Integrated approach to the assessment of CO₂ e-mitigation measures for the road passenger transport sector in Bahrain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Amer, M., Daim, T. U., & Jetter, A. (2016). Technology roadmap through fuzzy cognitive map-based scenarios: the case of wind energy sector of a developing country. *Technology Analysis & Strategic Management*, 28(2), 131-155.
- Amer, M., Jetter, A., & Daim, T. (2011). Development of fuzzy cognitive map (FCM)-based scenarios for wind energy. *International Journal of Energy Sector Management*, 5(4), 564-584.
- Anezakis, V. D., Dermetzis, K., Iliadis, L., & Spartalis, S. (2016, September). Fuzzy Cognitive Maps for Long-Term Prognosis of the Evolution of Atmospheric Pollution, Based on Climate Change Scenarios: The Case of Athens. In *International Conference on Computational Collective Intelligence* (pp. 175-186). Springer International Publishing.
- Antunes, C. H., Martins, A. G., & Brito, I. S. (2004). A multiple objective mixed integer linear programming model for power generation expansion planning. *Energy*, 29(4), 613-627.
- Arnesano, M., Carlucci, A. P., & Laforgia, D. (2012). Extension of portfolio theory application to energy planning problem—The Italian case. *Energy*, 39(1), 112-124.
- Ashnani, M. H. M., Miremadi, T., Johari, A., & Danekar, A. (2015). Environmental impact of alternative fuels and vehicle technologies: a life cycle assessment perspective. *Procedia Environmental Sciences*, 30, 205-210.
- Auvinen, H., Ruutu, S., Tuominen, A., Ahlqvist, T., & Oksanen, J. (2015). Process supporting strategic decision-making in systemic transitions. *Technological Forecasting and Social Change*, 94, 97-114.
- Awerbuch, S. (2000). Investing in photovoltaics: risk, accounting and the value of new technology. *Energy Policy*, 28(14), 1023-1035.
- Awerbuch, S. (2006). Portfolio-based electricity generation planning: policy implications for renewables and energy security. *Mitigation and adaptation strategies for Global Change*, 11(3), 693-710.
- Awerbuch, S., & Berger, M. (2003). Applying portfolio theory to EU electricity planning and policy making. In IAEA/EET Working Paper No. 03, EET.
- Awerbuch, S., Stirling, A., Jansen, J. C., Beurskens, L. W., Karyl, B. L., & David, L. B. (2006). Full-spectrum portfolio and diversity analysis of energy technologies. *Managing Enterprise Risk*, 202-222.
- Baker, E., & Solak, S. (2011). Climate change and optimal energy technology R&D policy. *European Journal of Operational Research*, 213(2), 442-454.
- Baležentis, T., & Streimikiene, D. (2017). Multi-criteria ranking of energy generation scenarios with Monte Carlo simulation. *Applied Energy*, 185, 862-871.
- Barker, T., & Zagame, P. (1995). E3ME: An Energy-Environment-Economy Model for Europe. Brüssel, European Commission.
- Barker, T., Pan, H., Köhler, J., Warren, R., & Winne, S. (2006). Decarbonizing the global economy with induced technological change: scenarios to 2100 using E3MG. *The Energy Journal*, 241-258.
- Bar-Lev, D., & Katz, S. (1976). A portfolio approach to fossil fuel procurement in the electric utility industry. *The Journal of Finance*, 31(3), 933-947.
- Barron, R., Djimadoubaye, N., & Baker, E. (2014). How grid integration costs impact the optimal R&D portfolio into electricity supply technologies in the face of climate change. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 7, 22-29.
- Batubara, M., Purwanto, W. W., & Fauzi, A. (2016). Proposing a decision-making process for the development of sustainable oil and gas resources using the petroleum fund: A case study of the East Natuna gas field. *Resources Policy*, 49, 372-384.

- Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European journal of Operational research*, 200(1), 198-215.
- Belton, V., & Stewart, T. (2002). *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Springer Science & Business Media.
- Benestad, R. E., Nuccitelli, D., Lewandowsky, S., Hayhoe, K., Hygen, H. O., van Dorland, R., & Cook, J. (2016). Learning from mistakes in climate research. *Theoretical and Applied Climatology*, 126(3-4), 699-703.
- Bhattacharya, A., & Kojima, S. (2012). Power sector investment risk and renewable energy: A Japanese case study using portfolio risk optimization method. *Energy Policy*, 40, 69-80.
- Biloslavo, R., & Dolinšek, S. (2010). Scenario planning for climate strategies development by integrating group Delphi, AHP and dynamic fuzzy cognitive maps. *Foresight*, 12(2), 38-48.
- Biloslavo, R., & Grebenc, A. (2012). Integrating group Delphi, analytic hierarchy process and dynamic fuzzy cognitive maps for a climate warning scenario. *Kybernetes*, 41(3/4), 414-428.
- Black, F., & Litterman, R. (1992). Global portfolio optimization. *Financial analysts journal*, 48(5), 28-43.
- Blechinger, P. F. H., & Shah, K. U. (2011). A multi-criteria evaluation of policy instruments for climate change mitigation in the power generation sector of Trinidad and Tobago. *Energy Policy*, 39(10), 6331-6343.
- Bollen, J. C., & Gielen, A. M. (1999). Economic impacts of multilateral emission reduction policies: simulations with WorldScan. In *International Environmental Agreements on Climate Change* (pp. 155-167). Springer Netherlands.
- Borges, P. C., & Villavicencio, A. (2004). Avoiding academic and decorative planning in GHG emissions abatement studies with MCDA: The Peruvian case. *European Journal of Operational Research*, 152(3), 641-654.
- Bosello, F., De Cian, E., Eboli, F., & Parrado, R. (2009). Macro-economic assessment of climate change impacts: a regional and sectoral perspective. *Impacts of Climate Change and Biodiversity Effects*. Final report of the CLIBIO project, European Investment Bank, University Research Sponsorship Programme.
- Branco, D. A. C., Rathmann, R., Borba, B. S. M., de Lucena, A. F. P., Szklo, A., & Schaeffer, R. (2012). A multicriteria approach for measuring the carbon-risk of oil companies. *Energy Strategy Reviews*, 1(2), 122-129.
- Brand, B., & Missaoui, R. (2014). Multi-criteria analysis of electricity generation mix scenarios in Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 251-261.
- Brans, J. P., Vincke, P., & Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European journal of operational research*, 24(2), 228-238.
- Brown, S. M. (1992). Cognitive mapping and repertory grids for qualitative survey research: some comparative observations. *Journal of Management Studies*, 29(3), 287-307.
- Brundtland Commission (1987). *Our common future: The World Commission on Environment and Development*. Oxford University Press. United Nations. ISBN: 019282080X.
- Buonanno, P., Carraro, C., & Galeotti, M. (2003). Endogenous induced technical change and the costs of Kyoto. *Resource and Energy economics*, 25(1), 11-34.
- Buurman, J., & Babovic, V. (2016). Adaptation Pathways and Real Options Analysis: An approach to deep uncertainty in climate change adaptation policies. *Policy and Society*, 35(2), 137-150.
- Büyüközkan, G., & Güteryüz, S. (2017). Evaluation of Renewable Energy Resources in Turkey using an integrated MCDM approach with linguistic interval fuzzy preference relations. *Energy*, 123, 149-163.
- Büyüközkan, G., & Karabulut, Y. (2017). Energy project performance evaluation with sustainability perspective. *Energy*, 119, 549-560.
- Carraro, C., Galeotti, M., & Gallo, M. (1996). Environmental taxation and unemployment: some evidence on the 'double dividend hypothesis' in Europe. *Journal of Public Economics*, 62(1), 141-181.
- Ceccato, L. (2012). *Three Essays on participatory processes and Integrated Water Resource Management in developing countries*.

- Çelik, F. D., Ozesmi, U., & Akdogan, A. (2005). Participatory ecosystem management planning at tuzla lake (Turkey) using fuzzy cognitive mapping. arXiv preprint q-bio/0510015.
- Chalabi, Z., & Kovats, S. (2014). Tools for developing adaptation policy to protect human health. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 19(3), 309-330.
- Chalvatzis, K. J., & Rubel, K. (2015). Electricity portfolio innovation for energy security: The case of carbon constrained China. *Technological Forecasting and Social Change*, 100, 267-276.
- Chang, P. L., Hsu, C. W., & Lin, C. Y. (2012). Assessment of hydrogen fuel cell applications using fuzzy multiple-criteria decision making method. *Applied energy*, 100, 93-99.
- Chen, L., & Pan, W. (2015). A BIM-integrated Fuzzy Multi-criteria Decision Making Model for Selecting Low-Carbon Building Measures. *Procedia Engineering*, 118, 606-613.
- Christen, B., Kjeldsen, C., Dalgaard, T., & Martin-Ortega, J. (2015). Can fuzzy cognitive mapping help in agricultural policy design and communication?. *Land Use Policy*, 45, 64-75.
- Cootner, P. H. (1964). The random character of stock market prices.
- Cowan, K., Daim, T., & Anderson, T. (2010). Exploring the impact of technology development and adoption for sustainable hydroelectric power and storage technologies in the Pacific Northwest United States. *Energy*, 35(12), 4771-4779.
- Crowe, K. A., & Parker, W. H. (2008). Using portfolio theory to guide reforestation and restoration under climate change scenarios. *Climatic Change*, 89(3), 355-370.
- Cucchiella, F., Gastaldi, M., & Trosini, M. (2017). Investments and cleaner energy production: A portfolio analysis in the Italian electricity market. *Journal of Cleaner Production*, 142, 121-132.
- Cutz, L., Haro, P., Santana, D., & Johnsson, F. (2016). Assessment of biomass energy sources and technologies: The case of Central America. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1411-1431.
- Dace, E., & Blumberga, D. (2016). How do 28 European Union Member States perform in agricultural greenhouse gas emissions? It depends on what we look at: Application of the multi-criteria analysis. *Ecological Indicators*, 71, 352-358.
- de Bremond, A., & Engle, N. L. (2014). Adaptation policies to increase terrestrial ecosystem resilience: potential utility of a multicriteria approach. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 19(3), 331-354.
- de Bruin, K., Dellink, R. B., Ruijs, A., Bolwidt, L., van Buuren, A., Graveland, J., De Groot, R.S., Kuikman, P.J., Reinhard, S., Roetter, R.P., & Tassone, V. C. (2009). Adapting to climate change in The Netherlands: an inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives. *Climatic change*, 95(1), 23-45.
- Delarue, E., De Jonghe, C., Belmans, R., & D'haeseleer, W. (2011). Applying portfolio theory to the electricity sector: Energy versus power. *Energy Economics*, 33(1), 12-23.
- Den Hartog, H., & Tjan, H. S. (1980). A clay-clay vintage model approach for sectors of industry in Netherlands. *De Economist*, 128(2), 129-188.
- Di Lullo, G., Zhang, H., & Kumar, A. (2016). Evaluation of uncertainty in the well-to-tank and combustion greenhouse gas emissions of various transportation fuels. *Applied Energy*, 184, 413-426.
- Diakoulaki, D., Antunes, C. H., & Gomes Martins, A. (2005). MCDA and energy planning. Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys, 859-890.
- Diakoulaki, D., Georgiou, P., Tourkoulas, C., Georgopoulou, E., Lalas, D., Mirasgedis, S., & Sarafidis, Y. (2007). A multicriteria approach to identify investment opportunities for the exploitation of the clean development mechanism. *Energy Policy*, 35(2), 1088-1099.
- Dickerson, J. A., & Kosko, B. (1994). Virtual worlds as fuzzy cognitive maps. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 3(2), 173-189.
- Dixit, A. K., & Pindyck, R. S. (1994). *Investment under uncertainty*. Princeton university press.
- Doukas, H. (2013). Modelling of linguistic variables in multicriteria energy policy support. *European Journal of Operational Research*, 227(2), 227-238.

- Doukas, H., Nikas, A., González-Eguino, M., Arto, I., & Anger-Kraavi, A. (2018). From integrated to integrative: Delivering on the Paris Agreement. *Sustainability*, 10(7), 2299.
- Doukas, H., Patlitzianas, K. D., & Psarras, J. (2006). Supporting sustainable electricity technologies in Greece using MCDM. *Resources Policy*, 31(2), 129-136.
- Doumpos, M., & Zopounidis, C. (2011). Preference disaggregation and statistical learning for multicriteria decision support: A review. *European Journal of Operational Research*, 209(3), 203-214.
- Dowlatabadi, H. (1995). Integrated assessment models of climate change: An incomplete overview. *Energy Policy*, 23(4), 289-296.
- Dowlatabadi, H. (1998). Sensitivity of climate change mitigation estimates to assumptions about technical change. *Energy Economics*, 20(5), 473-493.
- Dowlatabadi, H. (2000). Bumping against a gas ceiling. *Climatic Change*, 46(3), 391-407.
- Durbach, I. N., & Stewart, T. J. (2012). Modeling uncertainty in multi-criteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 223(1), 1-14.
- Eden, C., & Ackermann, F. (1998). *Strategy making: The journey of strategic management*. Sage, London
- Eden, C., & Ackermann, F. (2006). Where next for problem structuring methods. *J Oper Res Soc*, 57, 766-768.
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Minx, C. J., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., & Brunner, S. (2014). Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambridge, UK.
- Edmonds, J., & Reiley, J. M. (1985). *Global Energy-Assessing the Future*.
- Fishbone, L. G., & Abilock, H. (1981). Markal, a linear-programming model for energy systems analysis: Technical description of the bnl version. *International journal of Energy research*, 5(4), 353-375.
- Flues, F., Löschel, A., Lutz, B. J., & Schenker, O. (2014). Designing an EU energy and climate policy portfolio for 2030: Implications of overlapping regulation under different levels of electricity demand. *Energy Policy*, 75, 91-99.
- Fozer, D., Sziraky, F. Z., Racz, L., Nagy, T., Tarjani, A. J., Toth, A. J., Haaz, E., Benko, T. & Mizsey, P. (2017). Life cycle, PESTLE and Multi-Criteria Decision Analysis of CCS process alternatives. *Journal of Cleaner Production*.
- Fuss, S., Szolgayová, J., Khabarov, N., & Obersteiner, M. (2012). Renewables and climate change mitigation: Irreversible energy investment under uncertainty and portfolio effects. *Energy Policy*, 40, 59-68.
- Füssel, H. (2010). Modeling impacts and adaptation in global IAMs. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(2), 288-303.
- Georgakellos, D. A. (2012). Climate change external cost appraisal of electricity generation systems from a life cycle perspective: the case of Greece. *Journal of Cleaner production*, 32, 124-140.
- Georgopoulou, E., Sarafidis, Y., Mirasgedis, S., Zaimi, S., & Lalas, D. P. (2003). A multiple criteria decision-aid approach in defining national priorities for greenhouse gases emissions reduction in the energy sector. *European Journal of Operational Research*, 146(1), 199-215.
- Ghaderi, S. F., Azadeh, A., Nokhandan, B. P., & Fathi, E. (2012). Behavioral simulation and optimization of generation companies in electricity markets by fuzzy cognitive map. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 4635-4646.
- Ghafghazi, S., Sowlati, T., Sokhansanj, S., & Melin, S. (2010). A multicriteria approach to evaluate district heating system options. *Applied Energy*, 87(4), 1134-1140.
- Giordano, R., Passarella, G., & Vurro, M. (2010). Fuzzy cognitive maps for conflict analysis and dissolution in drought risk management. In *Plurimondi. An International Forum for Research and Debate on Human Settlements* (Vol. 4, No. 7).
- Goulder, L. H. (1995). Environmental taxation and the double dividend: a reader's guide. *International tax and public finance*, 2(2), 157-183.

- Govindan, K., & Jepsen, M. B. (2016). ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 1-29.
- Gray, S. A., Gray, S., Cox, L. J., & Henly-Shepard, S. (2013). Mental modeler: a fuzzy-logic cognitive mapping modeling tool for adaptive environmental management. In *System Sciences (HICSS)*, 2013 46th Hawaii International Conference on (pp. 965-973). IEEE.
- Gray, S. A., S. Gray, J. L. De Kok, A. E. R. Helfgott, B. O'Dwyer, R. Jordan, and A. Nyaki. (2015). Using fuzzy cognitive mapping as a participatory approach to analyze change, preferred states, and perceived resilience of social-ecological systems. *Ecology and Society* 20(2).
- Gray, S. R. J., Gagnon, A. S., Gray, S. A., O'Dwyer, B., O'Mahony, C., Muir, D., Devoy, R.J.N., Falaleeva, M. and Gault, J. (2014). Are coastal managers detecting the problem? Assessing stakeholder perception of climate vulnerability using Fuzzy Cognitive Mapping. *Ocean & Coastal Management*, 94, 74-89.
- Greco, S., Ehrgott, M. & Figueira, J.R., 2016 (Eds). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, Volumes 1 & 2, Second Edition, International Series in Operations Research & Management Science, Springer.
- Hainoun, A., Aldin, M. S., & Almoustafa, S. (2010). Formulating an optimal long-term energy supply strategy for Syria using MESSAGE model. *Energy policy*, 38(4), 1701-1714.
- Hedenus, F., Azar, C., & Lindgren, K. (2005). Induced technological change in a limited foresight optimization model.
- Hellsmark, H., & Jacobsson, S. (2009). Opportunities for and limits to academics as system builders—the case of realizing the potential of gasified biomass in Austria. *Energy Policy*, 37(12), 5597-5611.
- Heo, E., Kim, J., & Boo, K. J. (2010). Analysis of the assessment factors for renewable energy dissemination program evaluation using fuzzy AHP. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2214-2220.
- Hobbs, B. F., Ludsin, S. A., Knight, R. L., Ryan, P. A., Biberhofer, J., & Ciborowski, J. J. (2002). Fuzzy cognitive mapping as a tool to define management objectives for complex ecosystems. *Ecological Applications*, 12(5), 1548-1565.
- Hope, C. (2006). The marginal impact of CO₂ from PAGE2002: An integrated assessment model incorporating the IPCC's five reasons for concern. *Integrated assessment*, 6(1), 19-56.
- Hsueh, S. L. (2015). Assessing the effectiveness of community-promoted environmental protection policy by using a Delphi-fuzzy method: A case study on solar power and plain afforestation in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 1286-1295.
- Hua, S., Liang, J., Zeng, G., Xu, M., Zhang, C., Yuan, Y., Li, X., Li, P., Liu, J., & Huang, L. (2015). How to manage future groundwater resource of China under climate change and urbanization: An optimal stage investment design from modern portfolio theory. *Water research*, 85, 31-37.
- Huang, S. C., Lo, S. L., & Lin, Y. C. (2013). Application of a fuzzy cognitive map based on a structural equation model for the identification of limitations to the development of wind power. *Energy policy*, 63, 851-861.
- Huang, Y. H., & Wu, J. H. (2008). A portfolio risk analysis on electricity supply planning. *Energy policy*, 36(2), 627-641.
- Huff, A. S. (1990). *Mapping strategic thought*. John Wiley & Sons.
- Humpenöder, F., Schaldach, R., Cikovani, Y., & Schebek, L. (2013). Effects of land-use change on the carbon balance of 1st generation biofuels: An analysis for the European Union combining spatial modeling and LCA. *Biomass and bioenergy*, 56, 166-178.
- Jacquet-Lagrange, E., & Siskos, Y. (2001). Preference disaggregation: 20 years of MCDA experience. *European Journal of Operational Research*, 130(2), 233-245.
- Jansen, J. C., Beurskens, L., & Van Tilburg, X. (2006). Application of portfolio analysis to the Dutch generating mix. Energy research Center at the Netherlands (ECN) report C-05-100.
- Javid, R. J., Nejat, A., & Hayhoe, K. (2014). Selection of CO₂ mitigation strategies for road transportation in the United States using a multi-criteria approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 960-972.

- Jayaraman, R., Colapinto, C., La Torre, D., & Malik, T. (2015). Multi-criteria model for sustainable development using goal programming applied to the United Arab Emirates. *Energy Policy*, 87, 447-454.
- Jebaraj, S., & Iniyar, S. (2006). A review of energy models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(4), 281-311.
- Jetter, A., & Schweinfort, W. (2011). Building scenarios with Fuzzy Cognitive Maps: An exploratory study of solar energy. *Futures*, 43(1), 52-66.
- Jun, K. S., Chung, E. S., Kim, Y. G., & Kim, Y. (2013). A fuzzy multi-criteria approach to flood risk vulnerability in South Korea by considering climate change impacts. *Expert Systems with Applications*, 40(4), 1003-1013.
- Kafetzis, A., McRoberts, N., & Mouratiadou, I. (2010). Using fuzzy cognitive maps to support the analysis of stakeholders' views of water resource use and water quality policy. In *Fuzzy Cognitive Maps* (pp. 383-402). Springer Berlin Heidelberg.
- Karakosta, C., Doukas, H., & Psarras, J. (2009). Directing clean development mechanism towards developing countries' sustainable development priorities. *Energy for Sustainable Development*, 13(2), 77-84.
- Karavas, C. S., Kyriakarakos, G., Arvanitis, K. G., & Papadakis, G. (2015). A multi-agent decentralized energy management system based on distributed intelligence for the design and control of autonomous polygeneration microgrids. *Energy Conversion and Management*, 103, 166-179.
- Kaya, T., & Kahraman, C. (2011). Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 6577-6585.
- Kayikci, Y., & Stix, V. (2014). Causal mechanism in transport collaboration. *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1561-1575.
- Kelly, D. L., & Kolstad, C. D. (1999). Integrated assessment models for climate change control. *International yearbook of environmental and resource economics*, 2000, 171-197.
- Klein, S. J., & Whalley, S. (2015). Comparing the sustainability of US electricity options through multi-criteria decision analysis. *Energy Policy*, 79, 127-149.
- Konidari, P., & Mavrakakis, D. (2007). A multi-criteria evaluation method for climate change mitigation policy instruments. *Energy Policy*, 35(12), 6235-6257.
- Kontogianni, A., Papageorgiou, E., Salomatina, L., Skourtos, M., & Zanou, B. (2012). Risks for the Black Sea marine environment as perceived by Ukrainian stakeholders: A fuzzy cognitive mapping application. *Ocean & coastal management*, 62, 34-42.
- Kontogianni, A., Tourkolias, C., & Papageorgiou, E. I. (2013). Revealing market adaptation to a low carbon transport economy: tales of hydrogen futures as perceived by fuzzy cognitive mapping. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(2), 709-722.
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of man-machine studies*, 24(1), 65-75.
- Kottas, T. L., Boutalis, Y. S., & Karlis, A. D. (2006). New maximum power point tracker for PV arrays using fuzzy controller in close cooperation with fuzzy cognitive networks. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 21(3), 793-803.
- Kouvaritakis, N., Soria, A., & Isoard, S. (2000). Modelling energy technology dynamics: methodology for adaptive expectations models with learning by doing and learning by searching. *International Journal of Global Energy Issues*, 14(1-4), 104-115.
- Kouvaritakis, N., Soria, A., Isoard, S., & Thonet, C. (2000). Endogenous learning in world post-Kyoto scenarios: application of the POLES model under adaptive expectations. *International Journal of Global Energy Issues*, 14(1-4), 222-248.
- Kratena, K., & Streicher, G. (2009). Macroeconomic input-output modelling: structures, functional forms and closure rules. *International Input-Output Association Working Paper WPIOX*, 09-009.
- Kurosawa, A., Yagita, H., Zhou, W., Tokimatsu, K., & Yanagisawa, Y. (1999). Analysis of carbon emission stabilization targets and adaptation by integrated assessment model. *The Energy Journal*, 157-175.

- Kyriakarakos, G., Dounis, A. I., Arvanitis, K. G., & Papadakis, G. (2012). A fuzzy cognitive maps-petri nets energy management system for autonomous polygeneration microgrids. *Applied Soft Computing*, 12(12), 3785-3797.
- Kyriakarakos, G., Patlitzianas, K., Damasiotis, M., & Papastefanakis, D. (2014). A fuzzy cognitive maps decision support system for renewables local planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 209-222.
- Lai, X., Ye, Z., Xu, Z., Holmes, M. H., & Lambright, W. H. (2012). Carbon capture and sequestration (CCS) technological innovation system in China: Structure, function evaluation and policy implication. *Energy policy*, 50, 635-646.
- Lai, Y. J., Liu, T. Y., & Hwang, C. L. (1994). Topsis for MODM. *European Journal of Operational Research*, 76(3), 486-500.
- Laurikka, H., & Springer, U. (2003). Risk and return of project-based climate change mitigation: a portfolio approach. *Global Environmental Change*, 13(3), 207-217.
- Le Teno, J. F., & Mareschal, B. (1998). An interval version of PROMETHEE for the comparison of building products' design with ill-defined data on environmental quality. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 522-529.
- Lejour, A., Veenendaal, P., Verweij, G., & van Leeuwen, N. (2006). WorldScan; a model for international economic policy analysis (No. 111). CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis.
- Lemoine, D. M., Fuss, S., Szolgayova, J., Obersteiner, M., & Kammen, D. M. (2012). The influence of negative emission technologies and technology policies on the optimal climate mitigation portfolio. *Climatic change*, 113(2), 141-162.
- Lintner, J. (1965). The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets. *The review of economics and statistics*, 13-37.
- Lintunen, J., & Uusivuori, J. (2016). On the economics of forests and climate change: Deriving optimal policies. *Journal of Forest Economics*, 24, 130-156.
- Liu, L. (1999). Approximate portfolio analysis. *European Journal of Operational Research*, 119(1), 35-49.
- Liu, M., & Wu, F. F. (2007). Portfolio optimization in electricity markets. *Electric Power systems research*, 77(8), 1000-1009.
- Lopolito, A., Nardone, G., Prosperi, M., Sisto, R., & Stasi, A. (2011). Modeling the bio-refinery industry in rural areas: A participatory approach for policy options comparison. *Ecological Economics*, 72, 18-27.
- Luo, C., & Wu, D. (2016). Environment and economic risk: An analysis of carbon emission market and portfolio management. *Environmental research*, 149, 297-301.
- Luthra, S., Mangla, S. K., & Kharb, R. K. (2015). Sustainable assessment in energy planning and management in Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 58-73.
- Madlener, R., Antunes, C. H., & Dias, L. C. (2009). Assessing the performance of biogas plants with multi-criteria and data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 197(3), 1084-1094.
- Maimoun, M., Madani, K., & Reinhart, D. (2016). Multi-level multi-criteria analysis of alternative fuels for waste collection vehicles in the United States. *Science of the Total Environment*, 550, 349-361.
- Mallampalli, V. R., Mavrommati, G., Thompson, J., Duvencek, M., Meyer, S., Ligmann-Zielinska, A., Druschke, C. G., Hychka, K., Kenney, M. A., Kok, K. and Borsuk, M. E. (2016). Methods for translating narrative scenarios into quantitative assessments of land use change. *Environmental Modelling & Software*, 82, 7-20.
- Manne, A. S., & Richels, R. G. (2005). MERGE: an integrated assessment model for global climate change. In *Energy and environment* (pp. 175-189). Springer US.
- Marinoni, O., Adkins, P., & Hajkowitz, S. (2011). Water planning in a changing climate: Joint application of cost utility analysis and modern portfolio theory. *Environmental Modelling & Software*, 26(1), 18-29.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The journal of finance*, 7(1), 77-91.
- Marrero, G. A., Puch, L. A., & Ramos-Real, F. J. (2015). Mean-variance portfolio methods for energy policy risk management. *International Review of Economics & Finance*, 40, 246-264.

- Marttunen, M., Lienert, J., & Belton, V. (2017). Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations. *European Journal of Operational Research*, 263(1), 1-17.
- Masui, T. (2005). "Policy Evaluations under Environmental Constraints Using a Computable General Equilibrium Model." *European Journal of Operational Research* 166 (3): 843-855.
- Mattsson, N., & Wene, C. O. (1997). Assessing new energy technologies using an energy system model with endogenized experience curves. *International journal of energy research*, 21(4), 385-393.
- McLoughlin, E., & Bazilian, M. (2006). Application of Portfolio Analysis to the Irish Generating Mix in 2020.
- Meliadou, A., Santoro, F., Nader, M. R., Dagher, M. A., Al Indary, S., & Salloum, B. A. (2012). Prioritising coastal zone management issues through fuzzy cognitive mapping approach. *Journal of environmental management*, 97, 56-68.
- Messner, S. (1997). Endogenized technological learning in an energy systems model. *Journal of Evolutionary Economics*, 7(3), 291-313.
- Michailidou, A. V., Vlachokostas, C., & Moussiopoulos, N. (2016). Interactions between climate change and the tourism sector: Multiple-criteria decision analysis to assess mitigation and adaptation options in tourism areas. *Tourism Management*, 55, 1-12.
- Miettinen, P., & Hämäläinen, R. P. (1997). How to benefit from decision analysis in environmental life cycle assessment (LCA). *European Journal of operational research*, 102(2), 279-294.
- Miller, K. A., & Belton, V. (2014). Water resource management and climate change adaptation: a holistic and multiple criteria perspective. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 19(3), 289-308.
- Mitter, H., Heumesser, C., & Schmid, E. (2015). Spatial modeling of robust crop production portfolios to assess agricultural vulnerability and adaptation to climate change. *Land Use Policy*, 46, 75-90.
- Moallemi, E. A., de Haan, F. J., Webb, J. M., George, B. A., & Aye, L. (2017). Transition dynamics in state-influenced niche empowerments: Experiences from India's electricity sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 116, 129-141.
- Mohamadabadi, H. S., Tichkowsky, G., & Kumar, A. (2009). Development of a multi-criteria assessment model for ranking of renewable and non-renewable transportation fuel vehicles. *Energy*, 34(1), 112-125.
- Montanari, R. (2004). Environmental efficiency analysis for enel thermo-power plants. *Journal of cleaner production*, 12(4), 403-414.
- Mourhir, A., Rachidi, T., Papageorgiou, E. I., Karim, M., & Alaoui, F. S. (2016). A cognitive map framework to support integrated environmental assessment. *Environmental Modelling & Software*, 77, 81-94.
- Mun, J. (2002). *Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions* (Vol. 137). John Wiley & Sons.
- Munda, G. (2005). Multiple criteria decision analysis and sustainable development. In *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys* (pp. 953-986). Springer New York.
- Mundaca, L., Neij, L., Worrell, E., & McNeil, M. (2010). Evaluating energy efficiency policies with energy-economy models. *Annual review of environment and resources*, 35, 305-344.
- Muñoz, J. I., de la Nieta, A. A. S., Contreras, J., & Bernal-Agustín, J. L. (2009). Optimal investment portfolio in renewable energy: The Spanish case. *Energy Policy*, 37(12), 5273-5284.
- Nair, A. & K. Singh, P. (2014). Perception Analysis of Climate Related Impacts Faced by Agricultural Communities Using Fuzzy Cognitive Mapping Approach. *Indian Climate Research Network*.
- Narita, D., & Klepper, G. (2016). Economic incentives for carbon dioxide storage under uncertainty: A real options analysis. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 53, 18-27.
- Natarajan, R., Subramanian, J., & Papageorgiou, E. I. (2016). Hybrid learning of fuzzy cognitive maps for sugarcane yield classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 147-157.
- Nazari, M. S., Maybee, B., Whale, J., & McHugh, A. (2015). Climate policy uncertainty and power generation investments: A real options-CVaR portfolio optimization approach. *Energy Procedia*, 75, 2649-2657.

- Neves, L. P., Martins, A. G., Antunes, C. H., & Dias, L. C. (2008). A multi-criteria decision approach to sorting actions for promoting energy efficiency. *Energy Policy*, 36(7), 2351-2363.
- Nikas, A., & Doukas, H. (2016). Developing Robust Climate Policies: A Fuzzy Cognitive Map Approach. In *Robustness Analysis in Decision Aiding, Optimization, and Analytics* (pp. 239-263). Springer International Publishing.
- Nikas, A., Doukas, H., Lieu, J., Alvarez Tinoco, R., Charisopoulos, V., Charisopoulos, V., & van der Gaast, W. (2017). Managing stakeholder knowledge for the evaluation of innovation systems in the face of climate change. *Journal of Knowledge Management*, 21(5), 1013-1034.
- Nikas, A., Doukas, H., Siskos, E., & Psarras, J. (2018). International Cooperation for Clean Electricity: A UTASTAR Application in Energy Policy. In *Preference Disaggregation in Multiple Criteria Decision Analysis* (pp. 163-186). Springer, Cham.
- Nordhaus, W. D. (1994). *Managing the global commons: the economics of climate change* (Vol. 31). Cambridge, MA: MIT press.
- Nordhaus, W. D. (2008). *A question of balance: Weighing the options on global warming policies*. Yale University Press.
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K. L., Hallegatte, S., Carter, T. R., Marthur, R. & van Vuuren, D. P. (2014). A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122(3), 387-400.
- Oda, J., & Akimoto, K. (2011). An analysis of CCS investment under uncertainty. *Energy Procedia*, 4, 1997-2004.
- Olazabal, M., & Pascual, U. (2016). Use of fuzzy cognitive maps to study urban resilience and transformation. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 18, 18-40.
- Oliveira, C., & Antunes, C. H. (2004). A multiple objective model to deal with economy–energy–environment interactions. *European Journal of Operational Research*, 153(2), 370-385.
- Onar, S. C., Oztaysi, B., Otay, İ., & Kahraman, C. (2015). Multi-expert wind energy technology selection using interval-valued intuitionistic fuzzy sets. *Energy*, 90, 274-285.
- Onu, P. U., Quan, X., Xu, L., Orji, J., & Onu, E. (2017). Evaluation of sustainable acid rain control options utilizing a fuzzy TOPSIS multi-criteria decision analysis model frame work. *Journal of Cleaner Production*, 141, 612-625.
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European journal of operational research*, 156(2), 445-455.
- Ortiz R. & Markandya A. (2010). *Literature Review of Integrated Impact Assessment Models of Climate Change with Emphasis on Damage Functions*. Barcelona, Spain: BC3 Working paper series 2009-06.
- Ortolani, L., McRoberts, N., Dendoncker, N., & Rounsevell, M. (2010). Analysis of farmers' concepts of environmental management measures: an application of cognitive maps and cluster analysis in pursuit of modelling agents' behaviour. In *Fuzzy Cognitive Maps* (pp. 363-381). Springer Berlin Heidelberg.
- Özesmi, U. (2006). *Ecosystems in the mind: Fuzzy cognitive maps of the Kizilirmak Delta Wetlands in Turkey*. arXiv preprint q-bio/0603022.
- Özesmi, U. (2006). *Fuzzy cognitive maps of local people impacted by dam construction: Their demands regarding resettlement*. arXiv preprint q-bio/0601032.
- Özesmi, U., and Özesmi, S. (2003), "A Participatory Approach to Ecosystem Conservation: Fuzzy Cognitive Maps and Stakeholder Group Analysis in Uluabat Lake, Turkey," *Environmental Management*, 31(4), 518–531
- Papadopoulos, A., & Karagiannidis, A. (2008). Application of the multi-criteria analysis method Electre III for the optimisation of decentralised energy systems. *Omega*, 36(5), 766-776.
- Papageorgiou, E. I., Markinos, A. T., & Gemtos, T. A. (2011). Fuzzy cognitive map based approach for predicting yield in cotton crop production as a basis for decision support system in precision agriculture application. *Applied Soft Computing*, 11(4), 3643-3657.

- Papageorgiou, E., & Kontogianni, A. (2012). Using fuzzy cognitive mapping in environmental decision making and management: a methodological primer and an application. INTECH Open Access Publisher.
- Papapostolou, A., Karakosta, C., Marinakis, V., & Flamos, A. (2016). Assessment of RES cooperation framework between the EU and North Africa: A multicriteria approach based on UTASTAR. *International Journal of Energy Sector Management*, 10(3), 402-426.
- Papapostolou, A., Karakosta, C., Nikas, A., & Psarras, J. (2017). Exploring opportunities and risks for RES-E deployment under Cooperation Mechanisms between EU and Western Balkans: A multi-criteria assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 519-530.
- Parrado, R., & De Cian, E. (2014). Technology spillovers embodied in international trade: Intertemporal, regional and sectoral effects in a global CGE framework. *Energy Economics*, 41, 76-89."
- Parson, E. A., & Fisher-Vanden, A. K. (1997). Integrated assessment models of global climate change. *Annual Review of Energy and the Environment*, 22(1), 589-628.
- Paul, S., Sarkar, B., & Bose, P. K. (2015). Eclectic decision for the selection of tree borne oil (TBO) as alternative fuel for internal combustion engine. *Renewable and sustainable energy reviews*, 48, 256-263.
- Peng, Z., Wu, L., & Chen, Z. (2016). Research on Steady States of Fuzzy Cognitive Map and its Application in Three-Rivers Ecosystem. *Sustainability*, 8(1), 40.
- Perkoulidis, G., Papageorgiou, A., Karagiannidis, A., & Kalogirou, S. (2010). Integrated assessment of a new Waste-to-Energy facility in Central Greece in the context of regional perspectives. *Waste Management*, 30(7), 1395-1406.
- Phillips, L. D., & Bana e Costa, C. A. (2007). Transparent prioritisation, budgeting and resource allocation with multi-criteria decision analysis and decision conferencing. *Annals of Operations Research*, 154(1), 51-68.
- Pilavachi, P. A., Stephanidis, S. D., Pappas, V. A., & Afgan, N. H. (2009). Multi-criteria evaluation of hydrogen and natural gas fuelled power plant technologies. *Applied Thermal Engineering*, 29(11), 2228-2234.
- Promentilla, M. A. B., Aviso, K. B., & Tan, R. R. (2014). A group fuzzy analytic network process to prioritize low carbon energy systems in the Philippines. *Energy Procedia*, 61, 808-811.
- Pugh, G., Clarke, L., Marlay, R., Kyle, P., Wise, M., McJeon, H., & Chan, G. (2011). Energy R&D portfolio analysis based on climate change mitigation. *Energy Economics*, 33(4), 634-643.
- Rajaram, T., & Das, A. (2010). Modeling of interactions among sustainability components of an agro-ecosystem using local knowledge through cognitive mapping and fuzzy inference system. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1734-1744.
- Ramazankhani, M. E., Mostafaeipour, A., Hosseinasab, H., & Fakhrzad, M. B. (2016). Feasibility of geothermal power assisted hydrogen production in Iran. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(41), 18351-18369.
- Rana, A., & Morita, T. (2000). Scenarios for greenhouse gas emission mitigation: a review of modeling of strategies and policies in integrated assessment models. *Environmental Economics and Policy Studies*, 3(2), 267-289.
- Reckien, D. (2014). Weather extremes and street life in India—Implications of Fuzzy Cognitive Mapping as a new tool for semi-quantitative impact assessment and ranking of adaptation measures. *Global Environmental Change*, 26, 1-13.
- Ren, J., & Lützen, M. (2015). Fuzzy multi-criteria decision-making method for technology selection for emissions reduction from shipping under uncertainties. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 40, 43-60.
- Ribeiro, F., Ferreira, P., & Araújo, M. (2013). Evaluating future scenarios for the power generation sector using a Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) tool: The Portuguese case. *Energy*, 52, 126-136.
- Rojas-Zerpa, J. C., & Yusta, J. M. (2015). Application of multicriteria decision methods for electric supply planning in rural and remote areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 557-571.
- Romejko, K., & Nakano, M. (2017). Portfolio analysis of alternative fuel vehicles considering technological advancement, energy security and policy. *Journal of Cleaner Production*, 142, 39-49.

- Roques, F. A., Newbery, D. M., & Nuttall, W. J. (2008). Fuel mix diversification incentives in liberalized electricity markets: A Mean-Variance Portfolio theory approach. *Energy Economics*, 30(4), 1831-1849.
- Roth, S., Hirschberg, S., Bauer, C., Burgherr, P., Dones, R., Heck, T., & Schenler, W. (2009). Sustainability of electricity supply technology portfolio. *Annals of Nuclear Energy*, 36(3), 409-416.
- Roy, B. (1985). *Méthodologie multicritère d' aide à la décision*. Economica.
- Roy, B. (1990). Decision-aid and decision-making. *European Journal of Operational Research*, 45(2-3), 324-331.
- Roy, B., & Vanderpooten, D. (1997). An overview on "The European school of MCDA: Emergence, basic features and current works". *European Journal of Operational Research*, 99(1), 26-27.
- Roy, B., Présent, D. M., & Silhol, D. (1986). A programming method for determining which Paris metro stations should be renovated. *European Journal of Operational Research*, 24(2), 318-334.
- Røyne, F., Penaloza, D., Sandin, G., Berlin, J., & Svanström, M. (2016). Climate impact assessment in life cycle assessments of forest products: implications of method choice for results and decision-making. *Journal of Cleaner Production*, 116, 90-99.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1), 9-26.
- Sacchelli, S. (2014). Social Acceptance Optimization of Biomass Plants: A Fuzzy Cognitive Map and Evolutionary Algorithm Application. *CHEMICAL ENGINEERING*, 37.
- Sadeghi, A., Larimian, T., & Molabashi, A. (2012). Evaluation of renewable energy sources for generating electricity in province of Yazd: a fuzzy MCDM approach. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 62, 1095-1099.
- Sakthivel, G., Ilangkumaran, M., & Gaikwad, A. (2015). A hybrid multi-criteria decision modeling approach for the best biodiesel blend selection based on ANP-TOPSIS analysis. *Ain Shams Engineering Journal*, 6(1), 239-256.
- Samarasinghe, S., & Strickert, G. (2013). Mixed-method integration and advances in fuzzy cognitive maps for computational policy simulations for natural hazard mitigation. *Environmental modelling & software*, 39, 188-200.
- San Cristóbal, J. R. (2012). A goal programming model for environmental policy analysis: Application to Spain. *Energy Policy*, 43, 303-307.
- Sano, F., Akimoto, K., Homma, T., & Tomoda, T. (2005). Analysis of technological portfolios for CO₂ stabilizations and effects of technological changes.
- Santos-Alamillos, F. J., Thomaidis, N. S., Usaola-García, J., Ruiz-Arias, J. A., & Pozo-Vázquez, D. (2017). Exploring the mean-variance portfolio optimization approach for planning wind repowering actions in Spain. *Renewable Energy*, 106, 335-342.
- Schneider, S. H. (1997). Integrated assessment modeling of global climate change: Transparent rational tool for policy making or opaque screen hiding value-laden assumptions?. *Environmental Modeling and Assessment*, 2(4), 229-249.
- Schwanitz, V. J. (2013). Evaluating integrated assessment models of global climate change. *Environmental modelling & software*, 50, 120-131.
- Scricciu, S. Ş., & Chalabi, Z. (2014). Climate policy planning and development impact assessment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(3), 255-260.
- Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz, S. E., Gezder, V., & Şengül, A. B. (2015). Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey. *Renewable Energy*, 75, 617-625.
- Seo, S. N., & Mendelsohn, R. O. (2007). Climate change adaptation in Africa: a microeconomic analysis of livestock choice.
- Shahnazari, M., McHugh, A., Maybee, B., & Whale, J. (2017). Overlapping carbon pricing and renewable support schemes under political uncertainty: Global lessons from an Australian case study. *Applied Energy*, 200, 237-248.

- Shakouri, M., Lee, H. W., & Choi, K. (2015). PACPIM: new decision-support model of optimized portfolio analysis for community-based photovoltaic investment. *Applied Energy*, 156, 607-617.
- Sharpe, W. F. (1964). Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *The journal of finance*, 19(3), 425-442.
- Shiau, T. A., & Liu, J. S. (2013). Developing an indicator system for local governments to evaluate transport sustainability strategies. *Ecological indicators*, 34, 361-371.
- Shmelev, S. E., & van den Bergh, J. C. (2016). Optimal diversity of renewable energy alternatives under multiple criteria: An application to the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 679-691.
- Shreve, C. M., & Kelman, I. (2014). Does mitigation save? Reviewing cost-benefit analyses of disaster risk reduction. *International journal of disaster risk reduction*, 10, 213-235.
- Siddiqui, A. S., Tanaka, M., & Chen, Y. (2016). Are targets for renewable portfolio standards too low? The impact of market structure on energy policy. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 328-341.
- Singh, P. K., & Nair, A. (2014). Livelihood vulnerability assessment to climate variability and change using fuzzy cognitive mapping approach. *Climatic Change*, 127(3-4), 475-491.
- Siskos, Y., Grigoroudis, E., & Matsatsinis, N. F. (2005). UTA methods. In *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys* (pp. 297-334). Springer New York.
- Soderholm P. (2007). *Modelling the Economic Costs of Climate Policy*. Lulea University of Technology.
- Soler, L. S., Kok, K., Camara, G., & Veldkamp, A. (2012). Using fuzzy cognitive maps to describe current system dynamics and develop land cover scenarios: a case study in the Brazilian Amazon. *Journal of Land Use Science*, 7(2), 149-175.
- Springer, U. (2003). Can the risks of the Kyoto mechanisms be reduced through Portfolio diversification? Evidence from the Swedish AIJ Program. *Environmental and Resource Economics*, 25(4), 501-513.
- Stach, W., Kurgan, L., & Pedrycz, W. (2010). Expert-based and computational methods for developing fuzzy cognitive maps. In *Fuzzy Cognitive Maps* (pp. 23-41). Springer Berlin Heidelberg.
- Stamford, L., & Azapagic, A. (2014). Life cycle sustainability assessment of UK electricity scenarios to 2070. *Energy for Sustainable Development*, 23, 194-211.
- Stanton, E., Ackerman, F., & Kartha, S. (2009). Inside the integrated assessment models: Four issues in climate economics. *Climate and Development*, 1(2), 166-184.
- Stern, N. H. (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge University Press.
- Streimikiene, D., & Baležentis, T. (2013). Multi-criteria assessment of small scale CHP technologies in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 183-189.
- Streimikiene, D., & Baležentis, T. (2013). Multi-objective ranking of climate change mitigation policies and measures in Lithuania. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 144-153.
- Streimikiene, D., Baležentis, T., Krisciukaitienė, I., & Baležentis, A. (2012). Prioritizing sustainable electricity production technologies: MCDM approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3302-3311.
- Štreimikienė, D., Šliogerienė, J., & Turskis, Z. (2016). Multi-criteria analysis of electricity generation technologies in Lithuania. *Renewable Energy*, 85, 148-156.
- Sullivan, P., Krey, V., & Riahi, K. (2013). Impacts of considering electric sector variability and reliability in the MESSAGE model. *Energy Strategy Reviews*, 1(3), 157-163."
- Talaei, A., Ahadi, M. S., & Maghsoudy, S. (2014). Climate friendly technology transfer in the energy sector: A case study of Iran. *Energy Policy*, 64, 349-363.
- Theodorou, S., Florides, G., & Tassou, S. (2010). The use of multiple criteria decision making methodologies for the promotion of RES through funding schemes in Cyprus, A review. *Energy Policy*, 38(12), 7783-7792.
- Tol, R. S. (1997). On the optimal control of carbon dioxide emissions: an application of FUND. *Environmental Modeling and Assessment*, 2(3), 151-163.
- Tol, R. S. (2012). A cost-benefit analysis of the EU 20/20/2020 package. *Energy Policy*, 49, 288-295.

- Torani, K., Rausser, G., & Zilberman, D. (2016). Innovation subsidies versus consumer subsidies: A real options analysis of solar energy. *Energy Policy*, 92, 255-269.
- Tsai, W. H., Yang, C. H., Chang, J. C., & Lee, H. L. (2014). An Activity-Based Costing decision model for life cycle assessment in green building projects. *European Journal of Operational Research*, 238(2), 607-619.
- Tsoutsos, T., Drandaki, M., Frantzeskaki, N., Iosifidis, E., & Kiosses, I. (2009). Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete. *Energy Policy*, 37(5), 1587-1600.
- Ulutaş, B. H. (2005). Determination of the appropriate energy policy for Turkey. *Energy*, 30(7), 1146-1161.
- Vahabzadeh, A. H., Asiaei, A., & Zailani, S. (2015). Green decision-making model in reverse logistics using FUZZY-VIKOR method. *Resources, Conservation and Recycling*, 103, 125-138.
- Vaillancourt, K., & Waaub, J. P. (2004). Equity in international greenhouse gases abatement scenarios: A multicriteria approach. *European Journal of Operational Research*, 153(2), 489-505.
- Van Asseldonk, M. A., & Langeveld, J. W. A. (2007). Coping with climate change in agriculture: A portfolio analysis. Seminar Paper.
- Van den Bergh, J. C. (2004). Optimal climate policy is a utopia: from quantitative to qualitative cost-benefit analysis. *Ecological economics*, 48(4), 385-393.
- Van den Bergh, J. C. J. M., & Botzen, W. J. W. (2015). Monetary valuation of the social cost of CO₂ emissions: a critical survey. *Ecological Economics*, 114, 33-46.
- van Vliet, M., Kok, K., & Veldkamp, T. (2010). Linking stakeholders and modellers in scenario studies: The use of Fuzzy Cognitive Maps as a communication and learning tool. *Futures*, 42(1), 1-14.
- Vanwindekens, F. M., Stilmant, D., & Baret, P. V. (2013). Development of a broadened cognitive mapping approach for analysing systems of practices in social-ecological systems. *Ecological modelling*, 250, 352-362.
- Vassilides, J. M., & Jensen, O. P. (2016). Fuzzy cognitive mapping in support of integrated ecosystem assessments: Developing a shared conceptual model among stakeholders. *Journal of environmental management*, 166, 348-356.
- Voinov, A., & Bousquet, F. (2010). Modelling with stakeholders. *Environmental Modelling & Software*, 25(11), 1268-1281.
- Volkart, K., Bauer, C., Burgherr, P., Hirschberg, S., Schenler, W., & Spada, M. (2016). Interdisciplinary assessment of renewable, nuclear and fossil power generation with and without carbon capture and storage in view of the new Swiss energy policy. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 54, 1-14.
- Vörös, J. (1986). Portfolio analysis—an analytic derivation of the efficient portfolio frontier. *European journal of operational research*, 23(3), 294-300.
- Watkiss, P., Downing, T., & Dyszynski, J. (2010). AdaptCost Project: Analysis of the Economic Costs of Climate Change Adaptation in Africa. UNEP, Nairobi.
- Wei, Y. M., Mi, Z. F., & Huang, Z. (2015). Climate policy modeling: An online SCI-E and SSCI based literature review. *Omega*, 57, 70-84.
- Westner, G., & Madlener, R. (2010). The benefit of regional diversification of cogeneration investments in Europe: A mean-variance portfolio analysis. *Energy Policy*, 38(12), 7911-7920.
- White, B. (2007). A mean-variance portfolio optimization of California's generation mix to 2020: Achieving California's 33 percent renewable portfolio standard goal. Draft Consultant Report.
- Wildenberg, M., Bachhofer, M., Adamescu, M., De Blust, G., Diaz-Delgado, R., Isak, K., Skov, F., & Varjopuro, R. (2010). Linking thoughts to flows-Fuzzy cognitive mapping as tool for integrated landscape modelling. In *Proceedings of the 2010 International Conference on integrative landscape modeling: linking environmental, social and computer science* (Vol. 3, p. 5).
- Worrell, E., Ramesohl, S., & Boyd, G. (2004). Advances in energy forecasting models based on engineering economics. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 29, 345-381.

- Xu, B., Nayak, A., Gray, D., & Ouenniche, J. (2016). Assessing energy business cases implemented in the North Sea Region and strategy recommendations. *Applied Energy*, 172, 360-371.
- Yap, H. Y., & Nixon, J. D. (2015). A multi-criteria analysis of options for energy recovery from municipal solid waste in India and the UK. *Waste Management*, 46, 265-277.
- Zhang, H., Song, J., Su, C., & He, M. (2013). Human attitudes in environmental management: Fuzzy Cognitive Maps and policy option simulations analysis for a coal-mine ecosystem in China. *Journal of environmental management*, 115, 227-234.
- Zhao, Z. Y., Zhu, J., & Zuo, J. (2014). Sustainable development of the wind power industry in a complex environment: a flexibility study. *Energy Policy*, 75, 392-397.
- Zhou, W., Zhu, B., Fuss, S., Szolgayová, J., Obersteiner, M., & Fei, W. (2010). Uncertainty modeling of CCS investment strategy in China's power sector. *Applied Energy*, 87(7), 2392-2400.
- Zhu, L., & Fan, Y. (2010). Optimization of China's generating portfolio and policy implications based on portfolio theory. *Energy*, 35(3), 1391-1402.
- Zhu, L., & Fan, Y. (2011). A real options-based CCS investment evaluation model: Case study of China's power generation sector. *Applied Energy*, 88(12), 4320-4333.
- Ziegler, D., Schmitz, K., & Weber, C. (2012). Optimal electricity generation portfolios. *Computational Management Science*, 9(3), 381-399.
- Zon, A. V., & Fuss, S. (2006). Irreversible investment under uncertainty in electricity generation: A clay-clay-vintage portfolio approach with an application to climate change policy in the UK (No. 035). United Nations University-Maastricht Economic and Social Research Institute on Innovation and Technology (MERIT).

5ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑΣ ΥΠΟ ΤΟ ΠΡΙΣΜΑ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

5.1 Εισαγωγή

Η μεταμόρφωση των κοινωνιών σε χαμηλών εκπομπών, κλιματικά ανθεκτικά συστήματα, αποτελεί έναν σύνθετο και πολυδιάστατο χώρο προβλήματος, δεδομένου ότι επηρεάζει άμεσα τους ανθρώπους και τους οργανισμούς εντός των συστημάτων αυτών. Η αντικατάσταση συμβατικών τεχνολογιών και συμπεριφορών με φιλικές προς το κλίμα λύσεις δύνανται να επιφέρουν στις κοινωνίες κοινωνικοοικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, αλλά μπορούν παράλληλα να έχουν και αρνητικές επιπτώσεις, όπως π.χ. απώλειες θέσεων εργασίας, απαιτήσεις επενδύσεων ή απαιτούμενες εισαγωγές πόρων, οι οποίες είναι πιθανό να αποτελέσουν τροχοπέδη ως προς την επιθυμητή αλλαγή. Επιπλέον, περιοχές, χώρες, πόλεις ή οικονομικοί τομείς ενδέχεται να χαρακτηρίζονται από κάποιο βαθμό απραξίας. Για παράδειγμα, νέες ή εν εξελίξει επενδύσεις σε συμβατικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από λιγνίτη ή πετρέλαιο είναι πιθανό να «κλειδώσουν» μερικώς ένα σύστημα σε εξαρτώμενη από ορυκτά καύσιμα παραγωγή ενέργειας για δεκαετίες. Επομένως, η καταγραφή των δυναμικών αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στους «φορείς» του συστήματος και τις θεσμικές διαδικασίες και πολιτικές, και η εύρεση τρόπων ενίσχυσης της κοινωνικής αποδοχής λύσεων χαμηλών εκπομπών αποτελούν κρίσιμη διάσταση των επιθυμητών αλλαγών. Ως εκ τούτου, απαιτείται μία σειρά αντίστοιχων μεθόδων και εργαλείων αξιολόγησης των συστημάτων καινοτομίας ως προς τη δυνατότητά τους να επιτύχουν τους επιθυμητούς μετασχηματισμούς.

Σχετικές μέθοδοι και εργαλεία υπάρχουν στη βιβλιογραφία και εφαρμόζονται ήδη σε αυτόν τον χώρο προβλήματος. Για παράδειγμα, το πλαίσιο των Συστημάτων Καινοτομίας (ΣΚ) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει πώς διάφορες συμφωνίες μεταξύ διασυνδεδεμένων φορέων, οργανισμών, μέτρων πολιτικής και υπηρεσιών οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα, αναμενόμενα ή μη. Μία συγκεκριμένη προσέγγιση για την λεπτομερή περιγραφή ενός συστήματος, σε όρους διευκολυντικού (ή παρακωλυτικού) περιβάλλοντος, φορέων και υποστηρικτικών υπηρεσιών του συστήματος, αποτελεί η ΧΣ, όπως αυτή προτάθηκε αρχικά από τους Albu and Griffith (2005). Η Χαρτογράφηση Συστημάτων (ΧΣ), ως τεχνική οπτικής απεικόνισης της γνώσης των εμπειρογνομώνων, φέρει κοινά με την Χαρτογράφηση Ιδεών (Trochim, 1989), επιτρέποντας όμως περισσότερη ελευθερία πέραν της αυστηρής δομής κόμβων-ακμών (Kim et al., 2003), καθώς και τη Γνωστική Χαρτογράφηση (Axelrod, 1976), χωρίς ωστόσο να εμμένει απαραίτητα στις αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των εννοιών (Kwong and Lee, 2009). Σε αντίθεση και με τις δύο προαναφερθείσες τεχνικές, η ΧΣ βασίζεται σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και δομικά στοιχεία του συστήματος, αλλά προσφέρει ελευθερία

αναφορικά με τον τύπο των εννοιών και τη φύση των σχέσεων που αναπτύσσουν αυτές οι έννοιες μεταξύ τους. Οι χάρτες συστήματος συμβάλλουν στον προσδιορισμό των εννοιολογικών ορίων του υπό διερεύνηση συστήματος και στον εντοπισμό παρελθοντικών και παροντικών διασυνδέσεων, καθώς επίσης διευκολύνουν την ανάπτυξη μελλοντικών μονοπατιών, μέσω της κατανόησης των τρόπων με τους οποίους οι υπηρεσίες, οι υποδομές ή τα νέα μίγματα κλιματικών πολιτικών εν τέλει προάγουν ή παρεμποδίζουν τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής ή τις δράσεις προσαρμογής σε αυτήν.

Στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης, μια συμμετοχική προσέγγιση συμβάλλει στην αντιμετώπιση της συμπεριφοράς κοινωνικών ομάδων που εμπλέκονται σε ένα σύστημα (Lagabrielle et al., 2010), καθώς και των πιθανών αντιδράσεών τους σε αλλαγές που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή καθώς και από τις δράσεις για τον μετριασμό της ή την προσαρμογή σε αυτήν (π.χ. μέτρα, φόροι, επιδοτήσεις, κλπ.). Έπειτα από δεκαετίες αξιολόγησης της κλιματικής πολιτικής αυστηρά μεταξύ επιστημόνων και ερευνητών που συμμετέχουν σε διαδικασίες μοντελοποίησης, η εμπλοκή των ενδιαφερόμενων φορέων και η συμμετοχική μοντελοποίηση σε αυτόν τον χώρο προβλήματος έχουν αρχίσει να διαμορφώνουν μία νέα επιστημονική πρακτική (Voinov and Bousquet, 2010). Υπό αυτό το πρίσμα, ένα δυνατό σημείο της ΧΣ έγκειται στο γεγονός ότι στοχευμένα διευκολύνει τις συμμετοχικές αναλύσεις, προκειμένου να κινητοποιηθεί η «κρυφή» γνώση των εμπειρογνομόνων και των ενδιαφερόμενων φορέων σχετικά με τον τρόπο που βλέπουν, βιώνουν και αντιλαμβάνονται τα συστήματά «τους», και στη συνέχεια κωδικοποιεί διαφανώς αυτή τη γνώση σε μία οπτική αναπαράσταση των συστημάτων. Ωστόσο, ένα αδύνατο σημείο της αποτελεί το γεγονός ότι οι χάρτες συστημάτων μπορούν εύκολα να καταστούν πολύπλοκοι, ενώ άπαξ και σχεδιαστούν είναι σχετικά δύσκολο να τροποποιηθούν, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται γενικής χρήσης λογισμικά απεικόνισης. Με τέτοιου είδους συμβατικές τεχνικές, συνήθως καθίσταται δύσκολη η καταγραφή πληροφοριών και γνώσεων που αποκτήθηκαν μέσω της εμπλοκής των ενδιαφερομένων. Επιπλέον, όταν ο στόχος μιας μελέτης μέτρων πολιτικής είναι η αξιολόγηση πολλαπλών μονοπατιών προς ένα μέλλον χαμηλών εκπομπών άνθρακα (π.χ. σε επίπεδο οικονομικού τομέα), τότε είναι επιθυμητή η ΧΣ για κάθε ένα μονοπάτι και η σύγκριση των μονοπατιών μεταξύ τους. Η αυτοματοποίηση της ΧΣ, επομένως, αποτελεί σημαντικό πυλώνα βελτίωσης της ποιότητας της συμμετοχικής ανάλυσης συστημάτων και της σύγκρισης διαφορετικών επιλογών κλιματικής δράσης. Ωστόσο, εξ όσων γνωρίζουμε, δεν υφίστανται εξειδικευμένες εφαρμογές λογισμικού που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από ερευνητές ή/και αποφασίζοντες για την υλοποίηση της ΧΣ.

Σκοπό αυτού του κεφαλαίου, επομένως, αποτελεί όχι μόνο ο καθορισμός του πλαισίου της ΧΣ για τη διερεύνηση της δυναμικής των συστημάτων καινοτομίας, αναφορικά με τις πολιτικές μετριασμού ή προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, αλλά και η εισαγωγή ενός Εργαλείου Χαρτογράφησης για την Αξιολόγηση των Συστημάτων Καινοτομίας (MATISE), δηλαδή ενός εργαλείου ειδικά σχεδιασμένου για την ΧΣ με τρόπο δομημένο, συνεκτικό και διαφανή. Συγκεκριμένα, το MATISE αποτελεί ένα καινοτόμο εργαλείο, το οποίο χρησιμοποιεί την ΧΣ ως μία αναλυτική προσέγγιση υποστήριξης αποφάσεων, ενώ παράλληλα αντιμετωπίζει τις αδυναμίες των έως τώρα μη εξειδικευμένων εφαρμογών χαρτογράφησης. Το εργαλείο επιτρέπει στον ερευνητή να κωδικοποιεί τις πληροφορίες που παρέχουν οι εμπειρογνώμονες και λοιποί ενδιαφερόμενοι φορείς σε μία αυστηρά δομημένη μορφή, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε οπτικό χάρτη με σαφώς διακεκριμένα στοιχεία του συστήματος, διαθέτοντας παράλληλα έναν αριθμό αλγορίθμων βελτιστοποίησης τοπολογίας για ένα βελτιωμένο οπτικό αποτέλεσμα. Επιτρέπει επίσης την πραγματοποίηση της αντίστροφης διαδικασίας, μέσω της εισαγωγής χαρτών συστημάτων και της μετατροπής τους σε δομημένους πίνακες, επιτρέποντας έτσι στον εκάστοτε αναλυτή τη δημιουργία, επεξεργασία και υλοποίηση σε οποιαδήποτε μορφή, ανάλογα με τις προτιμήσεις και τις ισχύουσες συνθήκες, και επομένως την εύκολη εποπτεία και τη δυναμική

ενημέρωση μεγάλων και σύνθετων χαρτών. Το προτεινόμενο πλαίσιο επιτρέπει, τέλος, την παραγωγή δομημένων χαρτών συστημάτων, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψιν τις διαφοροποιήσεις εντός διαφορετικών συστημάτων· έτσι, οι χάρτες μπορούν να αποτελέσουν ένα αποτελεσματικό εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων στη διατομεακή ή/και πολυεθνική μάθηση και ανάλυση.

Η επόμενη ενότητα εισάγει το θεωρητικό υπόβαθρο της ΧΣ, προκειμένου να διερευνηθεί τους τρόπους με τους οποίους αντιμετωπίζονται τα κενά των υφιστάμενων αναλυτικών εργαλείων και συμπληρώνεται το πλαίσιο των ΣΚ. Επιπλέον διενεργείται μία συνοπτική βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τις εφαρμογές ΧΣ, ώστε να εξεταστεί πώς οι χάρτες συστημάτων, ως αναλυτικό εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων, έχουν συνεισφέρει στη μελέτη μεγάλου εύρους προβλημάτων, ιδιαίτερα στο πλαίσιο της βιώσιμης διαβίωσης, της ανάπτυξης τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών άνθρακα και του προσδιορισμού μιγμάτων πολιτικής. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το μεθοδολογικό πλαίσιο για τη χρήση των χαρτών συστήματος και του MATISE, για την αξιολόγηση συστημάτων καινοτομίας για την κλιματική αλλαγή, σε όρους προσδιορισμού εννοιολογικών ορίων και αποτύπωσης δυναμικών αλληλεπιδράσεων για περαιτέρω ανάλυση. Έπειτα, παρουσιάζεται λεπτομερώς το αναπτυγμένο λογισμικό, αναφορικά με τις προδιαγραφές, τη ροή εργασιών και τη συνεισφορά του στο προτεινόμενο πλαίσιο, μέσω παραδειγμάτων βασισμένων σε μελέτες του βρετανικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας βασισμένου στην πυρηνική ενέργεια. Τέλος, εξάγονται συμπεράσματα και προτείνονται προοπτικές όσον αφορά τη δυνατότητα επέκτασης και τις περαιτέρω χρήσεις του MATISE, ως μέρος ενός ολοκληρωμένου πλαισίου ή ως βάσης τεχνικών ημιποσοτικής μοντελοποίησης.

5.2 Τα Συστήματα Καινοτομίας

Η ιδέα περί σύνθετων συστημάτων σε επιστημονικές και κοινωνικές μελέτες οδήγησε τους ερευνητές να εστιάσουν όχι μόνο στα δομικά στοιχεία ενός συγκεκριμένου συστήματος, αλλά και στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών. Επομένως, η δυναμική ενός συστήματος, παρότι πολύπλοκη, μπορεί να εξηγηθεί από την άθροιση των μερών μέσα στις μονάδες ανάλυσης, δηλαδή τη δομή του συστήματος (π.χ. άτομα, κύτταρα, μεμονωμένα πρόσωπα, κοινωνικά συστήματα, συστήματα παραγωγής κλπ.) και τις πολλαπλές αλληλεπιδράσεις και αλληλεξαρτήσεις που αναπτύσσονται εντός του συστήματος (Boulding, 1956· von Bertalanffy, 1950· Wells, 2012). Η Θεωρία Συστημάτων έχει εφαρμοστεί σε πολλά ερευνητικά πεδία προκειμένου να γεφυρώσει τον διεπιστημονικό διάλογο μεταξύ ανεξαρτητών ερευνητικών πεδίων, καθώς και εντός της περιοχής της επιστήμης συστημάτων. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση του πλαισίου ΣΚ, το οποίο χρησιμοποιείται για την εύρεση και περιγραφή των τρόπων με τους οποίους διάφορες συμφωνίες μεταξύ διασυνδεδεμένων οικονομικών φορέων και οργανισμών οδηγούν σε οικονομικές επιδόσεις (Freeman, 1995).

Η προσέγγιση των ΣΚ αποτέλεσε μεγάλο βήμα προς την κατανόηση της οικονομικής ανάπτυξης και τεχνολογικής αλλαγής των εθνών (Freeman, 1987· Lundvall, 1992· Nelson, 1993). Με άλλα λόγια, η προσέγγιση ΣΚ μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμη στη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο τα άτομα μιας κοινωνίας δρουν ξεχωριστά αλλά και συλλογικά σε διαφορετικές μορφές συνάθροισης. Για παράδειγμα, οι προσεγγίσεις ΣΚ μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ κοινωνικών συστημάτων (π.χ. οργανισμών, κοινοτήτων, κλπ.), τα οποία είναι διανεμημένα σε διάφορες τοποθεσίες (π.χ. πόλεις, έθνη, περιοχές κλπ.), και φυσικών/τεχνητών αντικειμένων/τεχνολογιών, οδηγώντας σε αλλαγές στο γενικότερο ανθρώπινο σύστημα. Η πολυπλοκότητα αυτών των συστημάτων μπορεί να εξηγηθεί μερικώς από αλληλοσυνδεδεμένα

ενσωματωμένα υποσυστήματα. Για παράδειγμα, ένα έθνος αποτελείται από διαφορετικές υποομάδες οντοτήτων, οι οποίες αποτελούν ή/και εργάζονται σε πολλαπλούς οργανισμούς (εταιρείες, πανεπιστήμια, κυβερνητικούς φορείς, ΜΚΟ, κλπ.) που βρίσκονται ή/και δραστηριοποιούνται σε διαφορετικές περιοχές και επίπεδα.

Το πλαίσιο των ΣΚ μπορεί να ακολουθήσει δύο προοπτικές (Soumonni, 2013):

- ο τη στενή προοπτική, η οποία εστιάζει σε δείκτες χαρτογράφησης της εθνικής ειδίκευσης και απόδοσης αναφορικά με την καινοτομία και τις προσπάθειες E&A, και
- ο την διευρυμένη προοπτική, η οποία αφορά σε άλλους παράγοντες και διαδικασίες, όπως η οικονομία, η εκπαίδευση, οι θεσμικές δομές, οι κοινωνικοί θεσμοί, οι υποδομές κλπ., ιδιαίτερα αναφορικά με τον αντίκτυπό τους στις διαδικασίες μάθησης και δημιουργίας ικανοτήτων (Lundvall et al., 2009).

Ωστόσο, η σχέση αιτίου-αποτελέσματος των εισόδων και των εξόδων, η οποία οδηγεί στην απόδοση του συστήματος, εξακολουθεί να είναι ελάχιστα κατανοητή. Επιπλέον, αυτό θα εξακολουθήσει να ισχύει δεδομένου ότι δεν υπάρχουν αρχές και νόμοι στη γενικότερη θεωρία συστημάτων (von Bertalanffy, 1950) που να εξηγούν την πολυπλοκότητα των ενσωματωμένων (υπό-)συστημάτων. Ένας από τους κύριους λόγους είναι η έλλειψη εργαλείων για την αναγνώριση και μέτρηση της πολυπλοκότητας των πολλαπλών αλληλεπιδράσεων των φορέων που παρεμβαίνουν και επηρεάζουν τη δυναμική της απόδοσης του συστήματος. Το ίδιο ισχύει και για φαινόμενα στα οποία οι γενικές αρχές μπορούν να περιγραφούν με συνηθισμένη γλώσσα, αλλά δεν μπορούν να διατυπωθούν με μαθηματικούς όρους (von Bertalanffy, 1950). Παρόλα αυτά, υφίστανται ορισμένα αξιώματα που αφορούν στα πολύπλοκα δυναμικά συστήματα, τα οποία δύνανται να παρατηρηθούν και να διερευνηθούν με επίκεντρο την κοινωνική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα, όπως οι βρόγχοι ανατροφοδότησης και τα δίκτυα (Wells, 2012). Η αλληλεπίδραση των βασικών μονάδων μπορεί να εξεταστεί ανεξάρτητα από αυτές καθαυτές· παράλληλα, μπορεί να είναι χρήσιμη η μελέτη των αλληλεξαρτήσεων και αλληλεπιδράσεων αυτών των μονάδων και της αόριστα ονομαζόμενης «ολότητας» (von Bertalanffy, 1950).

Ο πολλαπλασιασμός των διαφορετικών πλαισίων ΣΚ, στην προσπάθεια θέσπισης των ορίων ενός συστήματος καινοτομίας, εξακολουθεί να αποτελεί πρόβλημα της προσέγγισης και γενικότερα των πολύπλοκων συστημάτων αναφορικά με τον προσδιορισμό της μονάδας ανάλυσης. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τη μελέτη της οικονομικής ανάπτυξης ηπειρωτικών, εθνικών και τοπικών συστημάτων καινοτομίας (Freeman, 2002), τον προσδιορισμό περιφερειακών συστημάτων καινοτομίας (π.χ. Asheim and Gertler, 2005· Asheim and Isaksen, 1997· Cooke, 1992· Cooke, 2001· Cooke, 2002· και Cooke, 2004), τη σύγκριση της ανάπτυξης μικρών χωρών (Padilla-Pérez and Gaudin, 2014· Padilla-Pérez et al., 2009), τον προσδιορισμό και την ανάλυση τομεακών συστημάτων καινοτομίας και παραγωγής (Breschi and Malerba, 1997· Malerba, 2002· Malerba, 2005), την αναγνώριση και ανάλυση τεχνολογικών συστημάτων καινοτομίας (Carlsson and Jacobson, 1997· Carlsson and Jacobsson, 1997· Carlsson and Stankiewicz, 1991) και κοινωνικοτεχνικών συστημάτων (π.χ. Geels, 2004· Hobday, 1998· και Hobday et al., 2000), τον προσδιορισμό συστημάτων μάθησης (Niosi, 2002· Niosi, 2011) και την αναγνώριση και ανάλυση πηγών περιφερειακών δυνατοτήτων (Alvarez Tinoco, 2011).

Ιδιαίτερα σχετικά με την ανάπτυξη πολιτικών καινοτομίας, το πλαίσιο των Τεχνολογικών Συστημάτων Καινοτομίας (ΤΣΚ) αποδείχθηκε καθοριστικής σημασίας για την ενημέρωση ενός ευρέος φάσματος προβλημάτων, συμπεριλαμβανομένης της παγκόσμιας περιβαλλοντικής βιωσιμότητας (Bergek et al.,

2015). Ένα ΤΣΚ διαθέτει δομή προσδιορισμένη από ένα σύνολο συστατικών και δομικών στοιχείων, συμπεριλαμβανομένων των φορέων, τεχνολογιών, δικτύων και θεσμών που συμβάλλουν στην ανάπτυξη ενός τεχνολογικού τομέα (Bergek et al., 2008). Οι φορείς περιλαμβάνουν οργανισμούς, όπως επιχειρήσεις σε ολόκληρη την αλυσίδα αξιών, πανεπιστήμια και ερευνητικά ινστιτούτα, δημόσιους οργανισμούς, ισχυρές οργανώσεις ενδιαφέροντος (π.χ. ενώσεις βιομηχανιών και μη εμπορικές οργανώσεις), επιχειρηματικούς επενδυτές, οργανισμούς προτυποποίησης κλπ. Τα δίκτυα εστιάζονται σε ανταλλαγή γνώσεων και μάθησης και μεταφορά τεχνογνωσίας και πόρων, ενώ επιδιώκουν να επηρεάσουν την πολιτική ατζέντα (συνασπισμοί υποστήριξης). Οι θεσμοί αποτελούνται από την παράδοση, τις νόρμες, τους νόμους και τους κανονισμούς που υπερισχύουν σε ένα σύστημα για μια χρονική περίοδο (Bergek et al., 2008).

Μία από τις υποθέσεις των ΤΣΚ και γενικότερα των ΣΚ αποτελεί η σύνδεση της κύριας λειτουργίας τους με την υποστήριξη της συλλογικής ανάπτυξης ικανοτήτων των φορέων για την παραγωγή, διάχυση και χρήση γνώσεων και τεχνολογιών (π.χ. φυσικά αντικείμενα, οργανωτική τεχνογνωσία, κλπ.). Στη συνέχεια, οι ικανότητες αντιπροσωπεύουν την ευχέρεια του συστήματος να αναπαράγει οικονομική αξία (Carlsson et al., 2002), και εν τέλει οικονομική ανάπτυξη (Edquist, 2005). Επομένως, η ανάλυση ΣΚ μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση δομών συστημάτων, περιεχομένων και αλληλεπιδράσεων που οδηγούν σε αλλαγές.

Οι έννοιες των ΣΚ φέρουν σημαντικούς περιορισμούς, καθώς δεν υφίσταται επί του παρόντος κάποιος σαφής προσδιορισμός των καθοριστικών παραγόντων της καινοτομίας (Chaminade and Edquist, 2005), ενώ παράλληλα τα ΣΚ αποτελούν ένα στατικό πλαίσιο που δεν δίνει αρκετή έμφαση στις αλληλεπιδράσεις των φορέων σε μικρο-επίπεδο (Hekkert et al., 2007). Για την επίλυση αυτών των προβλημάτων και για την κατανόηση μέσω της δομής του συστήματος (π.χ. φορείς, δίκτυα, θεσμοί κλπ.) και των από κάτω προς τα πάνω (bottom-up) αλληλεπιδράσεων, η μεθοδολογία ΧΣ που περιγράφεται παρακάτω δύναται να συμβάλει στον προσδιορισμό των ορίων των ΣΚ για την κλιματική αλλαγή και στην κωδικοποίηση σημαντικών δυναμικών αλληλεπιδράσεων εντός του συστήματος, οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως σημείο εκκίνησης για περαιτέρω ανάλυση στην αξιολόγηση ή ανάπτυξη πιθανών μονοπατιών.

5.3 Χαρτογράφηση Συστημάτων

Η συγκεκριμένη ενότητα πραγματοποιεί μία εισαγωγή της επίσημης πρώτης τεκμηριωμένης αναφοράς της ΧΣ στη βιβλιογραφία καθώς και μία επισκόπηση του συνόλου των ερευνητικών προσπαθειών όπου το εργαλείο έχει εφαρμοστεί. Η συγκεκριμένη βιβλιογραφική επισκόπηση περιορίζεται στις λίγες τεκμηριωμένες μελέτες και δεν περιλαμβάνει επαγγελματικές εφαρμογές που δεν καταγράφονται συστηματικά εξαιτίας της πιθανής ευρείας εφαρμογής σε ποικίλους τομείς και γεωγραφικές περιοχές.

Η ΧΣ, αρχικά ορισμένη ως «χαρτογράφηση αγορών», αναπτύχθηκε από τους Albu and Griffith (2005) το 2002, σε μία ημερίδα με προσωπικό της Practical Action από την Αφρική, τη Λατινική Αμερική και τη Νότια Ασία. Έκτοτε, εφαρμόστηκε σε εύρος έργων και προγραμμάτων, με επίκεντρο την βελτίωση της βιώσιμης διαβίωσης του φτωχού αγροτικού πληθυσμού. Η χαρτογράφηση, ως εργαλείο εμπλοκής των ενδιαφερόμενων μερών, συνεισέφερε στην καλύτερη κατανόηση της πολυπλοκότητας των σχέσεων μεταξύ αγροτικών δραστηριοτήτων, αλλαγών στην αγροτική οικονομία και φτώχειας στις αναπτυσσόμενες χώρες. Προκειμένου να βελτιωθούν τέτοιου είδους αλυσίδες αγορών, οι Albu and

Griffith (2005) πρότειναν μια προσέγγιση ενθάρρυνσης του «αλφαριθμητισμού αγοράς» (market literacy) των ενδιαφερομένων σε αγροτικές περιοχές των αναπτυσσόμενων χωρών.

Κύριος στόχος ήταν η παροχή στους εμπλεκόμενους φορείς μιας γενικής κατανόησης της αγοραστικής αλυσίδας για τις επιχειρήσεις τους και η αναγνώριση φορέων με τους οποίους θα μπορούσαν να συνεργαστούν ή να συναγωνιστούν. Η χαρτογράφηση αγορών προοριζόταν ως ένα εννοιολογικό πλαίσιο για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τους υπεύθυνους αναπτυξιακού σχεδιασμού προκειμένου να εδραιωθεί ένα εμπορικό και θεσμικό περιβάλλον για την υποστήριξη δραστηριοτήτων παραγωγών μικρής κλίμακας. Δεύτερο στόχο αποτέλεσε η ενεργοποίηση μίας συμμετοχικής διαδικασίας ανάμεσα σε επαγγελματίες για την επικοινωνία των χαρακτηριστικών της αγοραστικής αλυσίδας, καθώς και του θεσμικού περιβάλλοντος και των αναγκών σε υπηρεσίες. Έχοντας υπόψη αυτούς τους δύο σκοπούς, η έννοια της χαρτογράφησης αγορών αναπτύχθηκε με τρία βασικά στοιχεία: την αλυσίδα αξιών (δηλαδή, την αλυσίδα των οικονομικών ενδιαφερομένων που κατέχουν ένα έργο όσο αυτό κινείται από τους πρωτογενείς παραγωγούς στους τελικούς καταναλωτές), τους παρόχους υπηρεσιών (επιχειρηματικών ή επέκτασης που υποστηρίζουν τις διαδικασίες αγοράς) και ένα ενεργό επιχειρησιακό περιβάλλον (όπως η υποδομή και οι πολιτικές, οι θεσμοί και οι διαδικασίες που διαμορφώνουν το περιβάλλον αγοράς) (Practical Action Consulting, 2009).

Η χαρτογράφηση αγοράς των Albu και Griffith στόχευε στη βελτίωση της γνώσης της αλυσίδας αγοράς του φτωχού αγροτικού πληθυσμού, με ιδιαίτερη έμφαση στη γεωργία, ενώ έχει εφαρμοστεί σε μελέτες του συγκεκριμένου τομέα. Σε αυτήν την κατεύθυνση, οι Bürli et al. (2008) πραγματοποίησαν μια ανάλυση αλυσίδας αξιών χρησιμοποιώντας την χαρτογράφηση αγοράς, προκειμένου να προωθήσουν συστήματα αγροτικής παραγωγής, στοχεύοντας στην άμβλυση της φτώχειας, διατηρώντας παράλληλα τους φυσικούς πόρους. Παρόμοια εφαρμογή συναντάται στη μελέτη των Giuliani et al. (2009), όπου η προσέγγιση της χαρτογράφησης αποτελεί τον πυρήνα της ανάλυσης της αγοραστικής αλυσίδας παραγωγής σιταριού ως μέσο διαβίωσης των ορεινών κοινοτήτων της Τουρκίας, στοχεύοντας στην επισκόπηση πιθανών ευκαιριών αγοράς για την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας. Οι Byrnie et al. (2013) συνέκριναν μία απλοποιημένη έκδοση της χαρτογράφησης αγοράς, το Emergency Market Mapping and Analysis toolkit (Albu, 2010), με το πλαίσιο αξιολόγησης ασφάλειας ενός συστήματος Seed System Security Assessment (Sperling, 2008). Τέλος, η χαρτογράφηση αγοράς των Albu και Griffith χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση της αλυσίδας αξιών στον τομέα κηπευτικής της Μοζαμβίκης (Fink, 2014).

Η ΧΣ έχει επιπλέον εφαρμοστεί σε πλήθος ερευνητικών έργων, σε ένα ευρύτερο φάσμα οικονομικών τομέων και γεωγραφικών περιοχών. Για παράδειγμα, το χρηματοδοτούμενο από την ΕΕ έργο ENTTRANS (2006-2007) μελέτησε τα συστήματα αγορών αναφορικά με ενεργειακές τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών σε πέντε χώρες: Χιλή, Κίνα, Ισραήλ, Κένυα και Ταϊλάνδη (van der Gaast et al., 2009). Στο πρώτο στάδιο του έργου οι ενδιαφερόμενοι είχαν προτεραιοποιήσει τεχνολογικές επιλογές για την επίτευξη μακροπρόθεσμων εγχώριων ενεργειακών στόχων, με τις λιγότερες δυνατές εκπομπές άνθρακα. Κατόπιν προτεραιοποίησης, οι συγκεκριμένες επιλογές αξιολογήθηκαν αναφορικά με τις ανάγκες κάθε χώρας για την κατάλληλη τεχνολογική εφαρμογή στην επιθυμητή κλίμακα, προκειμένου να επιτευχθεί η τοπική ανάπτυξη και οι κλιματικοί στόχοι. Η εφαρμογή του εργαλείου χαρτογράφησης αγοράς έδωσε τη δυνατότητα στους ενδιαφερόμενους της κάθε μελέτης του ENTTRANS να αναδείξουν τις αλυσίδες αξιών του ενεργειακού τομέα, σχετικές ενεργειακές και κλιματικές πολιτικές, και τον βαθμό στον οποίο τα νομικά, χρηματοπιστωτικά και εκπαιδευτικά συστήματα των χωρών θα μπορούσαν να υποστηρίξουν την επιτυχή υλοποίηση των τεχνολογικών επιλογών στην επιθυμητή κλίμακα. Και σε αυτή την περίπτωση, το εργαλείο υποστήριξε τη συλλογή γνώσης για τους υπεύθυνους

πολιτικής χάραξης για την υλοποίηση πιο ενημερωμένων παρεμβάσεων, ενώ παράλληλα χρησίμευσε στους ενδιαφερομένους ως εργαλείο ανταλλαγής συμμετοχικής γνώσης για την καλύτερη κατανόηση των σχετικών λειτουργικών συστημάτων και των αντιλήψεών τους (Flamos and Begg, 2010, Karakosta et al., 2010).

Μια τεράστια εφαρμογή της χαρτογράφησης αγοράς ως αναλυτικό, συμμετοχικό εργαλείο αποτέλεσε το πρώτο έργο παγκόσμιας Αξιολόγησης Τεχνολογικών Αναγκών (ATA) χρηματοδοτούμενο από το Παγκόσμιο Ταμείο Προστασίας του Περιβάλλοντος και υλοποιούμενο από τη συνεργασία μεταξύ του Περιβαλλοντικού Προγράμματος του ΟΗΕ και του Πολυτεχνείου της Δανίας κατά την περίοδο 2009-2013 (UNFCCC, 2013). Οι ATA αποτελούν συμμετοχικές διαδικασίες που έχουν ως στόχο την υποστήριξη χωρών χαμηλού ή μέτριου εισοδήματος να προτεραιοποιήσουν τεχνολογίες μετριασμού ή/και προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, σε εθνικό επίπεδο. Οι τεχνολογίες αυτές στη συνέχεια αξιολογούνται από χώρες ή/και ενδιαφερόμενα μέρη ενός οικονομικού τομέα, έχοντας ως στόχο την αναγνώριση εμποδίων στην υλοποίησή τους στην εκάστοτε χώρα και στην εύρεση λύσεων για την άρση αυτών των εμποδίων. Για την ανάλυση εμποδίων, το εγχειρίδιο για τις ATA (Dougherty and Fencl, 2009) προτείνει την χαρτογράφηση αγοράς, με άμεση αναφορά στους Albu and Griffith (2005) και με την ίδια προσέγγιση τριών επιπέδων: διευκολυντικό περιβάλλον, αλυσίδα αξιών αγοράς και υποστηρικτικές υπηρεσίες. Από τις 31 χώρες χαμηλού και μέτριου εισοδήματος που υλοποίησαν ATA υπό το έργο αυτό, πάνω από 20 ανέφεραν ότι χρησιμοποίησαν την χαρτογράφηση αγορών ως εργαλείο για τον χαρακτηρισμό των σχετικών συστημάτων αγοράς και την αναγνώριση εμποδίων εντός του συστήματος (TEC, 2014).

Ένα ακόμα παράδειγμα εφαρμογής της χαρτογράφησης αγορών εμφανίζεται στο χρηματοδοτούμενο από την ΕΕ έργο APRAISE (2014), το οποίο είχε ως στόχο την επεξήγηση των διαφορών μεταξύ των προσδοκώμενων και παρατηρούμενων στρατηγικών περιβαλλοντικής πολιτικής σε διάφορα ΚΜ της ΕΕ. Οι πιθανές διαφοροποιήσεις αναλύθηκαν στη συνέχεια, εστιάζοντας σε τρεις επεξηγηματικούς παράγοντες:

- αλλαγές στο πλαίσιο των πολιτικών (π.χ. αντίκτυποι μιας ύφεσης, πράσινοι κυβερνητικοί συνασπισμοί, τεχνολογική πρόοδος κλπ.),
- αλλαγές στη διαδικασία υλοποίησης των πολιτικών, και
- συνέπειες πολιτικών που αλληλοεπιδρούν με άλλες πολιτικές.

Τέλος, το έργο BIOTEAM αποτελεί άλλο ένα παράδειγμα Ευρωπαϊκού έργου (Bioteam, 2016) που εφαρμόζει την χαρτογράφηση αγορών για τη βελτιστοποίηση των μονοπατιών προς την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της βιώσιμης βιοενέργειας σε πολλά ΚΜ της ΕΕ. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε για την καλύτερη κατανόηση και περιγραφή των δυναμικών των συστημάτων αγοράς, μέσα στα οποία λειτουργούν τα μονοπάτια βιοενέργειας. Το έργο αξιολόγησε τον αντίκτυπο παραγόντων αγοράς και πολιτικής σε επιλεγμένα μονοπάτια, σε συνδυασμό με τις αλληλεπιδράσεις των ενδιαφερομένων φορέων, ενώ παράλληλα αναγνώρισε διαταραχές και εμπόδια που αντιμετωπίστηκαν από τα συστήματα αγοράς. Προτάσεις που βασίστηκαν σε τέτοιου είδους αναλύσεις είχαν ως στόχο να βοηθήσουν τους υπεύθυνους φορείς χάραξης πολιτικής προς την ενίσχυση του σχεδιασμού και της αποτελεσματικότητας μεμονωμένων οργάνων πολιτικής ή πακέτων πολιτικών και στην βελτίωση της άμβλυνσης των αντιδράσεων των ενδιαφερομένων.

Στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής, η χαρτογράφηση αγορών μετατρέπεται σε ΧΣ, δεδομένου ότι ο όρος «αγορά» μπορεί να αποδώσει ακούσια έμφαση στην αλυσίδα εφοδιασμού ή την οικονομία, ενώ παράλληλα η μεθοδολογία καθορίζεται πλέον στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής και πολιτικής. Λαμβάνεται υπόψη μια ευρύτερη προοπτική μέσω της προσέγγισης χαρτογράφησης, προκειμένου να αντιμετωπιστεί η πολυπλοκότητα εντός των συστημάτων καινοτομίας. Η επόμενη ενότητα παρουσιάζει τον τρόπο εφαρμογής της ΧΣ ως αναλυτικό εργαλείο για τη διερεύνηση ΣΚ για την κλιματική αλλαγή.

5.4 Η ΧΣ ως ερευνητικό εργαλείο για την κλιματική πολιτική

Μία από τις προκλήσεις της ανάλυσης των τεχνο-κοινωνικο-οικονομικών πτυχών της κλιματικής αλλαγής αποτελεί η κλίμακα και η πολυπλοκότητα γνωστών και αγνώστων προβλημάτων που διασχίζουν τα εθνικά σύνορα και διασταυρώνονται μεταξύ οικονομικών τομέων. Οι χάρτες συστημάτων μπορούν να βοηθήσουν στον καθορισμό των ορίων μιας μελέτης ή μονάδας ανάλυσης, στην αναγνώριση των κύριων στοιχείων ενός συστήματος και των δυναμικών του. Δεν αποτελεί εργαλείο για όλες τις χρήσεις, αλλά ένα συστηματικό, ευέλικτο εργαλείο που λαμβάνει υπόψη του το μοναδικό δομικό πλαίσιο και τις διαφορετικές κλίμακες κάθε συστήματος καινοτομίας για την κλιματική αλλαγή σε επίπεδο νοικοκυριών, οικονομικού τομέα, τοπικό, εθνικό, περιφερειακό ή/και παγκόσμιο.

Προβλέπονται ποικίλες εφαρμογές της ΧΣ στην έρευνα για την κλιματική αλλαγή και δράση που περιλαμβάνουν:

- τον προσδιορισμό εννοιολογικών ορίων του υπό μελέτη συστήματος, και
- την καταγραφή παρελθοντικών και παροντικών δυναμικών αλληλεπιδράσεων που συνδράμουν στην ανάλυση των υφιστάμενων συστημάτων και θέτουν το πλαίσιο για την πιθανή ανάπτυξη νέων μονοπατιών.

Ενδέχεται να είναι δύσκολο να προσδιοριστούν τα όρια πολύπλοκων συστημάτων, ιδιαίτερα όσον αφορά συστήματα τεχνολογικής καινοτομίας για την κλιματική αλλαγή, τα οποία περιλαμβάνουν πολλαπλούς οικονομικούς ή τεχνολογικούς τομείς, όπως για παράδειγμα τα συστήματα βιομάζας, τα οποία αφορούν συστήματα ενέργειας, τροφίμων και επεξεργασίας νερού. Ως εκ τούτου, προτείνονται αρκετά κύρια στοιχεία ως πλαίσιο προσδιορισμού των ορίων πολύπλοκων συστημάτων, υιοθετώντας ορισμένα στοιχεία από τους χάρτες αγοράς των Albu και Griffith.

1. Κύκλος ζωής ενός ΤΣΚ: Πρόκειται για την ανάλυση του κύκλου ζωής ή μία «από τη γέννηση έως το θάνατο» προσέγγιση, η οποία λαμβάνει υπόψη ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού ενός τεχνολογικού συστήματος για την κλιματική αλλαγή. Το τεχνολογικό σύστημα μπορεί να οριστεί από τον εκάστοτε τομέα και περιλαμβάνει τόσο τους ενδιαφερόμενους φορείς (π.χ. εταιρείες), όσο και τις διαδικασίες. Για παράδειγμα, ο κύκλος ζωής του βρετανικού ΤΣΚ για τον τομέα παραγωγής ηλεκτρισμού από πυρηνική ενέργεια θα περιλάμβανε: εξόρυξη πόρων, μεταφορά, κατασκευαστές αντιδραστήρων και άλλων δομικών στοιχείων, εταιρείες ανάπτυξης πυρηνικών έργων, γεννήτριες ηλεκτρικής ενέργειας, εγκαταστάσεις διαχείρισης αποβλήτων, αποθήκευσης και διανομής, τελικούς καταναλωτές και διεργασίες απόσυρσης. Ο κύκλος ζωής ενός ΤΣΚ είναι ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο για τον σχεδιασμό των ορίων του συστήματος, δεδομένου ότι άλλα στοιχεία του συστήματος αναγνωρίζονται σύμφωνα με τη σχέση τους με τον κύκλο ζωής του ΤΣΚ.

2. Διευκολυντικό/παρακωλυτικό περιβάλλον: Περιλαμβάνει παράγοντες που επηρεάζουν θετικά ή αρνητικά την ανάπτυξη ενός ΤΣΚ και περιέχει:
- a. Μίγμα πολιτικών: οι κύριες (υπό-)εθνικές και περιφερειακές πολιτικές που επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την ανάπτυξη ενός ΤΣΚ. Οι πολιτικές μπορεί να επηρεάσουν μέρος ή το σύνολο του κύκλου ζωής ενός ΤΣΚ. Ο προσδιορισμός του μίγματος πολιτικών αποτελεί σημαντική διαδικασία που μπορεί να βοηθήσει τους φορείς χάραξης πολιτικής και άλλους ενδιαφερόμενους φορείς να κατανοήσουν πώς οι πολιτικές αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, έχοντας ως πιθανό αποτέλεσμα τη δημιουργία συνεργειών ή ακούσιων συγκρούσεων συμφερόντων· η συγκεκριμένη πτυχή παραβλέπεται ιδιαίτερα συχνά και πρέπει να τονιστεί περαιτέρω κατά τη διαδικασία χάραξης πολιτικής. Παραδείγματα στη βιβλιογραφία περιλαμβάνουν παραγωγικές συνέργειες ή παρεμποδιστικές συγκρούσεις κατά την ανάμιξη διαφορετικών μέτρων ενεργειακής πολιτικής (Oikonomou et al., 2014), και οργάνων εμπορίας εκπομπών (Boots et al., 2001), ή ακόμα κατά την ενσωμάτωση ενεργειακών μέτρων με μέτρα κλιματικής δράσης (Oikonomou et al., 2010). Για τον τομέα πυρηνικής ενέργειας, συγκεκριμένα στο Ηνωμένο Βασίλειο, βασικές πολιτικές θα αποτελούσαν η Μεταρρύθμιση της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, η Πυρηνική Βιομηχανική Στρατηγική, η διαδικασία Αξιολόγησης Γενικού Σχεδιασμού και η νομοθεσία του βρετανικού σχεδιασμού.
 - b. Ευρύτερο πλαίσιο: παράγοντες του ευρύτερου πλαισίου ενδέχεται να υπάρχουν σε εθνικό, περιφερειακό ή διεθνές επίπεδο. Προκειμένου να μειωθεί η πολυπλοκότητα ενός χάρτη συστήματος, προτείνεται να αναγνωρίζονται μόνο οι παράγοντες-κλειδιά (π.χ. οικονομικοί, κοινωνικοί, πολιτικοί, περιβαλλοντικοί και τεχνολογικοί παράγοντες) που έχουν ισχυρή επιρροή στο σύνολο ή σε μέρος του ΤΣΚ. Στο παράδειγμα της πυρηνικής ενέργειας στο Ηνωμένο Βασίλειο, τέτοιοι παράγοντες θα ήταν η στήριξη της πολιτικής σκηνής.
 - c. Θεσμοί: είναι απαραίτητο να αναγνωριστούν οι βασικοί θεσμοί (π.χ. φορείς χάραξης πολιτικών) και οι αντίστοιχοι οργανισμοί (π.χ. Υπουργείο Ενέργειας) που επηρεάζουν έντονα μέρος ή το σύνολο του ΤΣΚ. Επίσης, είναι σημαντικό να αναγνωριστούν μεμονωμένα οι ενδιαφερόμενοι φορείς, εφόσον τέτοιου είδους λεπτομέρεια απαιτείται για την ανάλυση, αλλά κάτι τέτοιο αυξάνει σημαντικά το μέγεθος του χάρτη και άρα την πολυπλοκότητα του, ενώ καλό είναι αυτό να συμβαίνει μόνο αν οι ενδιαφερόμενοι φορείς συναινούν στον προσδιορισμό τους εντός του συστήματος. Παραδείγματα επίσημων θεσμών περιλαμβάνουν την βιομηχανία, το ρυθμιστικό πλαίσιο, την πολιτική σκηνή, το χρηματοοικονομικό περιβάλλον, τα εκπαιδευτικά ιδρύματα, το νομικό σύστημα και τα μέσα μαζικής επικοινωνίας. Ανεπίσημοι θεσμοί μπορεί να περιλαμβάνουν τοπικά ήθη και έθιμα, πολιτισμικά στοιχεία, παραδόσεις, νόρμες κλπ. Για παράδειγμα, στον βρετανικό τομέα πυρηνικής ενέργειας, αναγνωρίζονται επίσημα εξειδικευμένα ιδρύματα εκπαίδευσης, δεδομένου ότι αυτά τροφοδοτούν υψηλά καταρτισμένους εργαζόμενους στην πυρηνική, πολιτική και στρατιωτική ατζέντα.
 - d. Υποδομές: περιέχει φυσικές υποδομές που υποστηρίζουν τον κύκλο ζωής του ΤΣΚ που απαιτείται για την υποστήριξη του συστήματος. Για παράδειγμα, στον βρετανικό τομέα πυρηνικής ενέργειας, το δίκτυο αποτελεί σημαντική υποδομή για την διάθεση του ηλεκτρικού ρεύματος στους τελικούς καταναλωτές.

3. Υποστηρικτικές υπηρεσίες: περιλαμβάνει υπηρεσιακά συστήματα υποστήριξης που βρίσκονται εκτός του κύκλου ζωής του ΤΣΚ, αλλά που είναι πολύ βασικά για την διευκόλυνση του ΤΣΚ. Αυτοί οι οργανισμοί μπορεί να περιλαμβάνουν τράπεζες, εταιρείες συμβούλων κλπ.

Ο προσδιορισμός της δυναμικής του συστήματος εξαρτάται από την ερευνητική ερώτηση ή την κατεύθυνση της έρευνας. Παραδείγματα δυναμικών περιλαμβάνουν κινδύνους, παράγοντες διευκόλυνσης, εμπόδια, διαδικασίες μάθησης κλπ. και μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με συγκεκριμένες ερευνητικές ερωτήσεις. Προτείνεται ο σχηματισμός ενός σαφούς ερευνητικού ερωτήματος προκειμένου αυτό να καθοδηγήσει την ανάπτυξη του χάρτη συστήματος, δεδομένου ότι μία ερευνητική ερώτηση μπορεί να αλλάξει θεμελιωδώς το αφήγημα που παρουσιάζει ένας χάρτης συστήματος. Για παράδειγμα, σε ένα βρετανικό ΤΣΚ πυρηνικής ενέργειας, η ερευνητική ερώτηση «ποια στοιχεία ή αλληλεπιδράσεις στο σύστημα πυρηνικής ενέργειας αποτελούν παράγοντες διευκόλυνσης ή εμπόδια στην υποστήριξη της ανάπτυξης της ηλεκτροπαραγωγής από την πυρηνική ενέργεια στο Ηνωμένο Βασίλειο;» θα οδηγήσει σε έναν χάρτη συστήματος που εξερευνά τις θετικές επιδράσεις που υποστηρίζουν τον τομέα πυρηνικής ενέργειας ή τις αρνητικές αλληλεπιδράσεις που δημιουργούν εμπόδια στην ανάπτυξη του τομέα. Με άλλα λόγια, αυτό το ερώτημα θα είχε ως αποτέλεσμα ένα χάρτη σημαντικά διαφορετικό από έναν άλλο χάρτη που θα αφορούσε στο ερώτημα «ποιες αλληλεπιδράσεις εντός του τομέα πυρηνικής ενέργειας αποτελούν κίνδυνο για την ανάπτυξη ενός βιώσιμου, χαμηλών εκπομπών άνθρακα τομέα ηλεκτρικής ενέργειας στο Ηνωμένο Βασίλειο;». Η συγκεκριμένη ερώτηση θα μπορούσε να ερμηνευτεί και ως κατά πόσο ο τομέας πυρηνικής ενέργειας συμβάλλει στη βιωσιμότητα. Οι θετικές αλληλεπιδράσεις θα αφορούσαν αυτές τις σχέσεις που μειώνουν τους κινδύνους και, δεδομένου ότι τα πυρηνικά απόβλητα αποτελούν μακροπρόθεσμους κινδύνους για τη βιώσιμη ανάπτυξη, θα αφορούσαν σχέσεις που αναστέλλουν την ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας. Αντίθετα, οι αρνητικές αλληλεπιδράσεις θα αφορούσαν τις σχέσεις που συνδέονται με οικονομικά κίνητρα και άλλες πολιτικές που ενθαρρύνουν την ανάπτυξη βιώσιμης ανανεώσιμης ενέργειας, αντί άλλων που θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως κίνδυνοι για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Τέλος, οι χάρτες συστημάτων δύνανται να συνεισφέρουν στην ανάλυση υφιστάμενων μονοπατιών προκειμένου να συμβάλουν στην ενημέρωση νέων/μελλοντικών μονοπατιών (π.χ. μονοπατιών χαμηλών εκπομπών άνθρακα), μέσω της αναγνώρισης από τους εμπειρογνώμονες των δυναμικών εντός του ΤΣΚ που απαιτούνται για ένα εφικτό μελλοντικό μονοπάτι, συμπεριλαμβανομένων των απαραίτητων διαδικασιών ή της υποστήριξης για την τεχνολογική καινοτομία, των λειτουργιών και αλληλεπιδράσεών τους εντός του πλαισίου της αγοράς, και του ρόλου των μέτρων πολιτικής. Ένας τέτοιος χάρτης συστήματος θα ήταν προοπτικός και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως συμπληρωματικό εργαλείο των ΜΟΑ. Ένας προοπτικός χάρτης θα μπορούσε να προτείνει τις αλληλεπιδράσεις, τους θεσμούς ή τις διαδικασίες μάθησης που απαιτούνται για την επίτευξη ενός μονοπατιού χαμηλών εκπομπών άνθρακα, όπως προτείνεται από ένα πρότυπο σενάριο ποσοτικών δεδομένων ή ποιοτικού αφηγήματος.

Εν κατακλείδι, οι χάρτες συστημάτων μπορούν να αναπτυχθούν με υψηλή λεπτομέρεια και πολυπλοκότητα, με βάση την εμπλοκή των ενδιαφερομένων φορέων ή/και άλλη (δευτερεύουσα) έρευνα. Από την άλλη, ένας χάρτης μπορεί να είναι σχετικά συνοπτικός, παρουσιάζοντας λίγες αλλά σημαντικές αλληλεπιδράσεις, ώστε να επικοινωνήσει ένα συγκεκριμένο μήνυμα. Ανάλογα με το κοινό και τον ερευνητικό σκοπό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εμπλοκή των ενδιαφερομένων, ώστε να υπάρξει καλύτερη κατανόηση των δυναμικών του συστήματος, ως αναλυτικό εργαλείο κωδικοποίησης της εισόδου από τους ενδιαφερόμενους και ερευνητικών αποτελεσμάτων, ή ως οπτικό βοήθημα για την παρουσίαση προς τους αποφασίζοντες (μέρους) ενός πολύπλοκου συστήματος με πιο εύπεπτο τρόπο.

Το εργαλείο δεν επιχειρεί να αντικαταστήσει ή υποκαταστήσει ποιοτικά ερευνητικά εργαλεία και αποτελέσματα (π.χ. εκθέσεις, ερευνητικά άρθρα κλπ.), αλλά σκοπεύει να συμπληρώσει ερευνητικές μεθόδους και να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο υποστήριξης έρευνας ή/και εμπλοκής εμπειρογνομόνων.

5.5 Το εργαλείο MATISE

5.5.1 Εισαγωγή στο MATISE

Επειδή το μεθοδολογικό πλαίσιο της χαρτογράφησης αγοράς προτάθηκε από τους Albu and Griffith (2006), έχει εφαρμοσθεί πολλές φορές σε διαφορετικά πλαίσια απόφασης. Ωστόσο, δεν έχει αναπτυχθεί έως τώρα ένα πλαίσιο ή εξειδικευμένο εργαλείο για την υποστήριξη της διαδικασίας χαρτογράφησης και της οπτικοποίησης/απεικόνισης των χαρτών. Υπάρχει πλήθος εργαλείων οπτικοποίησης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτήν την κατεύθυνση, όπως το εργαλείο μοντελοποίησης γνωστικής χαρτογράφησης ασαφούς λογικής Mental Modeler (Gray et al., 2013) ή εφαρμογές γραφικών και ανάπτυξης διαγραμμάτων, όπως τα Microsoft Visio και PowerPoint. Ωστόσο, αυτές οι εφαρμογές δεν σχεδιάστηκαν ειδικά για τον σκοπό της ΧΣ και απαιτούν σημαντικές τροποποιήσεις προκειμένου να οδηγήσουν στην πλήρη ανάπτυξη ενός χάρτη συστήματος και των λεπτομερών στοιχείων του.

Επίσης, η ΧΣ βασίζεται στην υπόθεση ότι οι συμμετοχικές διαδικασίες μπορούν να κινητοποιήσουν ένα ευρύ φάσμα επαγγελματικής ή μη γνώσης που διαθέτουν εμπειρογνώμονες σε μία αγορά, έναν οικονομικό τομέα ή μία χώρα υπό εξέταση. Καθώς ενσωματώνονται πολλοί εμπειρογνώμονες, η διαδικασία χαρτογράφησης οφείλει να καταγράφει διαφορετικές ή ακόμη και συγκρουόμενες απόψεις, εμπειρίες, δεδομένα κλπ. Ως εκ τούτου, η ΧΣ αποτελεί μία πολύ έντονη, χρονοβόρα διαδικασία που συνήθως διαιρείται σε πολυάριθμα βήματα και απαιτεί ad hoc τροποποιήσεις για κάθε αλλαγή του χάρτη συστήματος, όπως η προσθήκη/διαγραφή/επανατοποθέτηση δομικών στοιχείων (φορείς, πολιτικές και λοιποί παράγοντες) και οι σχετικές τους διαδράσεις εντός του συστήματος. Κατά την κατασκευή ενός χάρτη συστήματος, ολόκληρη αυτή η διαδικασία συνήθως πραγματοποιείται στο χαρτί ή σε κάποιο λογισμικό σχεδίασης, περιορίζοντας έτσι τις διαστάσεις του χάρτη. Αυτό σημαίνει ότι, καθώς η πολυπλοκότητα του χάρτη συστήματος (ή οποιαδήποτε οπτική αναπαράσταση ενός μεγάλου συστήματος) αυξάνεται, η ενσωμάτωση αλλαγών και η οπτική επίβλεψη του μοντέλου γίνονται ολοένα και πιο δύσκολες: όταν έστω και ένα ή δύο στοιχεία του συστήματος προστίθενται, αφαιρούνται ή τροποποιούνται/μετατίθενται, τότε η ανακατασκευή του χάρτη είναι απαραίτητη ώστε ο χάρτης να χωρέσει στον «καμβά» και ταυτόχρονα να παραμείνει κατανοητός· με τη χρήση συμβατικών εργαλείων, αυτό θα απαιτούσε επανασχεδίαση του χάρτη.

Για τους λόγους αυτούς, σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε ένα καινοτόμο εργαλείο ειδικά για τους σκοπούς της ΧΣ. Το MATISE εισάγει μία νέα, δομημένη μορφή αναπαράστασης του συστήματος, με την χρησιμοποίηση πρώτα μίας διεπαφής ενός πίνακα υπολογιστικού φύλλου (π.χ. Microsoft Excel), ο οποίος στη συνέχεια δύναται να μετατραπεί εύκολα σε έναν χάρτη συστήματος, επιτρέποντας στον αναλυτή να κατασκευάσει, τροποποιήσει και εργαστεί σε οποιαδήποτε μορφή (δομημένη ή οπτική), ανάλογα με τις προτιμήσεις του, και επομένως να επιβλέπει μεγάλους, σύνθετους χάρτες συστήματος.

5.5.2 Εννοιολογικό πλαίσιο

Το MATISE αποτελεί μία εφαρμογή στη MATLAB, αποσκοπώντας στη διευκόλυνση της ταχείας κατασκευής, τροποποίησης και οπτικοποίησης ενός μοντέλου. Διαχειρίζεται δομημένη είσοδο με τη μορφή ενός Excel υπολογιστικού φύλλου (XLS ή XLSX) ή αρχείων Graph Modelling Language (GML). Παρέχεται ένα φιλικό προς τον χρήστη γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη (GUI), επιτρέποντας στον χρήστη να δημιουργήσει ή να τροποποιήσει μοντέλα συστημάτων μέσω αυτών. Η MATLAB επιλέχθηκε ως η πλατφόρμα υλοποίησης επειδή χαρακτηρίζεται από ταχεία πρωτοτυποποίηση, εκτενή τεκμηρίωση και ευρεία διαθεσιμότητα ανάμεσα σε ερευνητικές κοινότητες ανά τον κόσμο.

Τόσο αρχεία XLS (ή XLSX) όσο και αρχεία GML μπορούν να εισαχθούν ως είσοδοι στο MATISE, ενώ και οι δύο τύποι αρχείων μπορούν να εξαχθούν ως έξοδοι, καθιστώντας το εργαλείο ως γέφυρα μεταξύ μορφών αναπαράστασης (Εικόνα 5.1). Ωστόσο, το MATISE αρχικά αναπτύχθηκε για τη διευκόλυνση της κατασκευής χαρτών συστημάτων μέσω ενός δομημένου υπολογιστικού φύλλου, επιτρέποντας τον αναλυτή να αναγνωρίσει βασικά δομικά στοιχεία του συστήματος (συμπεριλαμβανομένων των ομάδων δομικών στοιχείων που περιγράφονται σε προηγούμενες ενότητες, όπως ο κύκλος ζωής του ΤΣΚ, το ευρύτερο πλαίσιο, το διευκολυντικό/παρακωλυτικό περιβάλλον και οι υποστηρικτικές υπηρεσίες), έννοιες/κόμβοι (μεμονωμένες περιστάσεις μέσα στις ομάδες των δομικών στοιχείων, όπως οργανισμοί, μέτρα/στρατηγικές πολιτικής, κλπ.), και σχέσεις μεταξύ αυτών, καθώς και να προσδιορίζει τον βαθμό σημαντικότητας των σχέσεων και να παρέχει μία σύντομη λογική περιγραφή για τις σχέσεις αυτές.



Εικόνα 5.1 Το MATISE χρησιμοποιείται ως γέφυρα μεταξύ της δομημένης μορφής και της οπτικής αναπαράστασης.

Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο για το εργαλείο περιλαμβάνει την κατασκευή του XLS/XLSX μοντέλου στο Microsoft Excel, την εισαγωγή και την τροποποίηση του μοντέλου στο MATISE, και την εξαγωγή του οπτικού αποτελέσματος του χάρτη συστήματος σε ένα μοντέλο GML (Εικόνα 5.2).

5.5.3 Ροή εργασιών

Το εργαλείο μπορεί να διαχειριστεί μία επιλογή από διαφορετικές μορφές εισόδου που δύνανται να αναπαραστήσουν μοντέλα συστημάτων. Προς το παρόν, οι υποστηριζόμενοι τύποι αρχείων είναι:

- Matlab (MAT)
- Microsoft Excel (XLS, XLSX)
- Graph Modelling Language (GML)

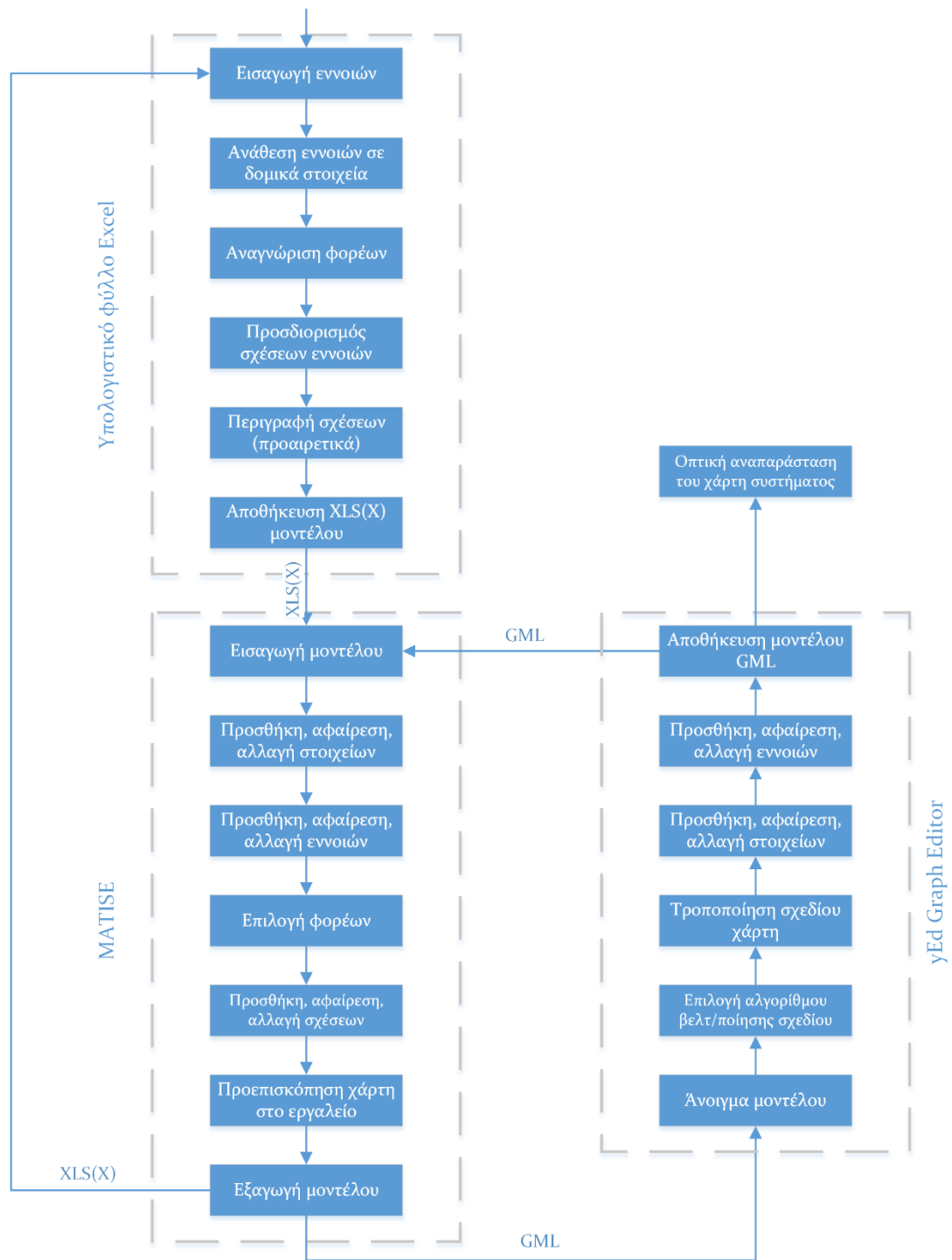
Οι ίδιοι τύποι αρχείων μπορούν να εξαχθούν από το εργαλείο. Λειτουργίες ανάγνωσης και δημιουργίας MAT και XLSX αρχείων ήταν ήδη διαθέσιμες στη MATLAB. Για τα αρχεία GML, προγραμματίστηκε ένας προσαρμοσμένος συντακτικός αναλυτής που ακολουθεί αυστηρά τις προδιαγραφές GML, βάσει κανονικών παραστάσεων.

Εσωτερικά, το MATISE δημιουργεί ένα λεξικό που περιλαμβάνει όλες τις χαρτογραφήσεις εννοιών-δομικών στοιχείων και εννοιών-φορέων για το μοντέλο που επεξεργάζεται. Οι σχέσεις μεταξύ των εννοιών αποθηκεύονται σε έναν πίνακα που προσομοιάζει έναν (σταθμισμένο) πίνακα γειτνίασης, χρησιμοποιώντας αριθμητικές τιμές για την αναπαράσταση διαφορετικών ειδών σχέσεων. Θετικές/αρνητικές τιμές υποδεικνύουν θετικά/αρνητικά συσχετισμένα ζευγάρια, ενώ η απόλυτη τιμή αντιστοιχεί τον βαθμό στον οποίον οι δύο έννοιες συνδέονται (Εικόνα 5.3). Ένας επιπλέον πίνακας δημιουργείται επίσης για να αποθηκεύονται ετικέτες/περιγραφές σχέσεων.

Ο χρήστης μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει το γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη για να τροποποιήσει γρήγορα τους πίνακες γειτνίασης ή/και ετικετών, να προσθέσει, μετονομάσει ή διαγράψει έννοιες και δομικά στοιχεία, να αναγνωρίσει φορείς, κλπ. Παρέχεται επίσης η δυνατότητα προεπισκόπησης του τελικού χάρτη συστήματος, η οποία παράγεται με τη χρήση συναρτήσεων γραφικών παραστάσεων που διατίθενται από την τυπική εγκατάσταση της MATLAB (Εικόνα 5.2).

Οι έννοιες αναπαρίστανται ως κόμβοι, ενώ τα δομικά στοιχεία μετατρέπονται σε ομαδικούς κόμβους που περιλαμβάνουν υποσύνολα εννοιών. Οι έννοιες που αναγνωρίζονται ως ενδιαφερόμενοι/εμπλεκόμενοι φορείς έχουν ελλειπτικό σχήμα, ενώ όλες οι άλλες έχουν ορθογώνιο. Οι σχέσεις μεταξύ των εννοιών αναπαρίστανται ως ακμές, χρησιμοποιώντας διαφορετικά σχέδια (χρώματα, συμπαγείς ή διακεκομμένες γραμμές, κλπ.) για να υποδείξουν διαφορετικούς τύπους διάδρασης (Ενότητα 5.5.5).

Η οπτικοποίηση καθίσταται εφικτή μέσω της GML, η οποία χρησιμοποιείται εσωτερικά από τον yEd Graph Editor, ελεύθερα διαθέσιμο σχεδιαστικό λογισμικό. Ο yEd μπορεί να χειριστεί αποτελεσματικά τύπους αρχείων GML, ενώ παρέχει αλγορίθμους βελτιστοποίησης σχεδίου (δηλαδή, την αυτοματοποιημένη διάταξη των δομικών στοιχείων, κόμβων και ακμών) που αποδεικνύονται ιδιαίτερα εύχρηστοι στην περίπτωση των πολυσύνθετων χαρτών, όπως συμβαίνει συνήθως και με τους χάρτες συστήματος. Επίσης, επιτρέπει την εύκολη εξαγωγή του χάρτη σε διάφορες επεκτάσεις αρχείων, όπως γνωστούς τύπους εικόνας και HTML.



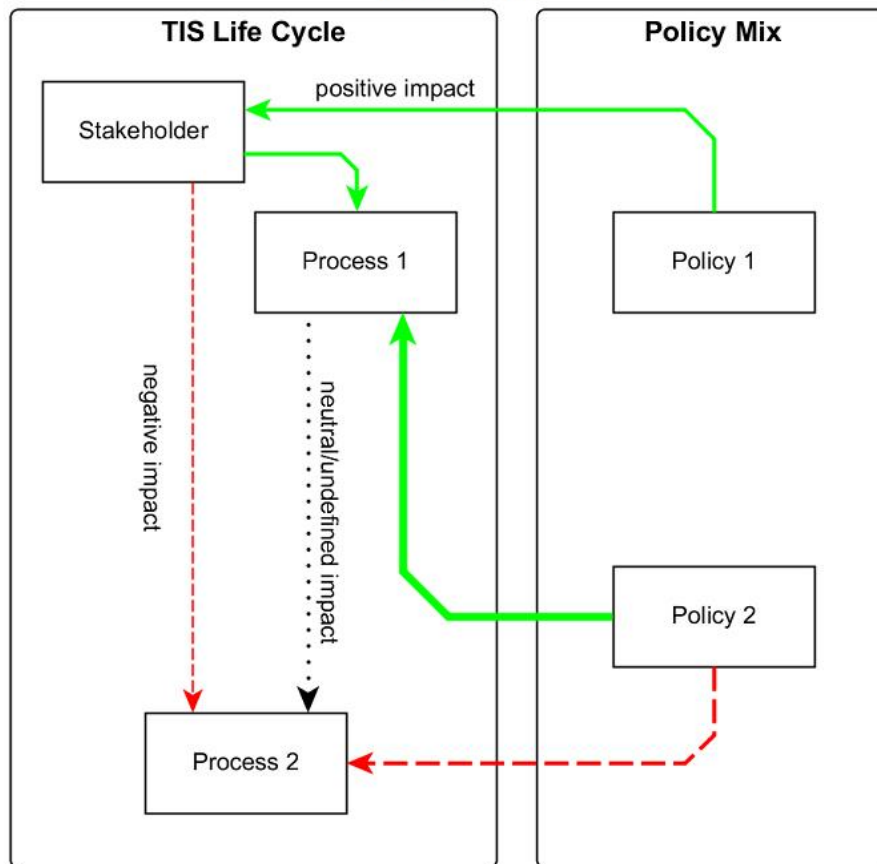
Εικόνα 5.2 Διάγραμμα ροής του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου.

	A	B	C	D	E	F
1	GROUP [please insert the corresponding group of the concept underneath, in Row 1]	TIS Life Cycle	TIS Life Cycle	TIS Life Cycle	Policy Mix	Policy Mix
2	CONCEPT [please insert market map concepts in both Row 2 & Column A]	Process 1	Stakeholder	Process 2	Policy 1	Policy 2
3	Process 1			0		
4	Stakeholder	2		-1		
5	Process 2					
6	Policy 1		2			
7	Policy 2	4		-2		
8						

(a) Adjacency matrix

	A	B	C	D	E	F
1	GROUP [updated automatically, based on the ADJACENCY MATRIX (mandatory) sheet]	TIS Life Cycle	TIS Life Cycle	TIS Life Cycle	Policy Mix	Policy Mix
2	CONCEPT [updated automatically, based on the ADJACENCY MATRIX (mandatory) sheet]	Process 1	Stakeholder	Process 2	Policy 1	Policy 2
3	Process 1			neutral/undefined impact		
4	Stakeholder			negative impact		
5	Process 2					
6	Policy 1		positive impact			
7	Policy 2					
8						

(b) Label matrix



(c) System map

Εικόνα 5.3 Παράδειγμα οπτικοποίησης της εισόδου του χρήστη από (a) τον πίνακα γειτνίασης και (b) τον πίνακα ετικετών στον (c) τελικό χάρτη συστήματος.

5.5.4 Επεκτασιμότητα και διαθεσιμότητα κώδικα

Η βάση του κώδικα μπορεί εύκολα να επεκταθεί με επιπλέον συντακτικούς αναλυτές για την υποστήριξη άλλων τύπων αρχείων, όπως GraphML, ο οποίος όχι μόνο ενσωματώνει τις ίδιες πληροφορίες για τη δομή του δικτύου που περιλαμβάνει η GML αλλά αποθηκεύει και πληροφορίες ακριβούς διάταξης στον χώρο για κάθε στοιχείο. Η βασική λειτουργικότητα του εργαλείου έχει υλοποιηθεί με λειτουργικές μονάδες ξεχωριστές από το μέρος που διαχειρίζεται το γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη, έτσι ώστε διάφορες επεκτάσεις να μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα στη βάση του κώδικα. Το MATISE είναι ελεύθερο λογισμικό ανοικτού κώδικα.

5.5.5 Τεχνικές δυνατότητες και χαρακτηριστικά

Για την διευκόλυνση του χρήστη να εισάγει πληροφορίες στο MATISE, ένα φιλικό προς τον χρήστη πρότυπο έχει δημιουργηθεί στο Microsoft Excel, με τρεις καρτέλες (μέρος του οποίου παρουσιάζεται στην [Εικόνα 5.4](#)). Η πρώτη καρτέλα περιλαμβάνει τον χάρτη σχέσεων, ο οποίος είναι τετραγωνικός που σημαίνει ότι όλες οι έννοιες του χάρτη συστήματος που περιλαμβάνονται στην πρώτη γραμμή (Γραμμή 2) αντιγράφονται στην πρώτη στήλη (Στήλη Α). Για παράδειγμα, έννοιες της Στήλης Α αναγράφονται με την ίδια σειρά στη Γραμμή 2, ώστε να εκφράζονται πλήρως οι σχέσεις που προκύπτουν μεταξύ των διαφόρων εννοιών του χάρτη συστήματος. Στον τετραγωνικό πίνακα, επομένως, οποιαδήποτε υπόδειξη ως προς την ύπαρξη μίας σχέσης σε ένα κελί σημαίνει ότι η έννοια της γραμμής που αντιστοιχεί στο κελί επιδρά στην έννοια της στήλης που αντιστοιχεί στο ίδιο κελί. Πρέπει να σημειωθεί ότι η έντονη γραφή στην πρώτη στήλη υποδηλώνει ότι η εν λόγω έννοια αντιστοιχεί σε φορέα εντός του συστήματος που μελετάται.

GROUP [please insert the corresponding group of the concept underneath, in Row 1]	Electricity Supply Chain	Electricity Supply Chain	Electricity Supply Chain	Electricity Supply Chain	Electricity Supply Chain	Electricity Supply Chain	Electricity Supply Chain	Electricity Supply Chain	Electricity Supply Chain
CONCEPT [please insert market map concepts in both Row 2 & Column A]	Waste handling facility 1: Sellafield	Waste handling facility 3: All other reactor sites	Enduser (consumers)	Resource extraction	Transportation	Electricity generator: EDF	Distribution: National Grid	Enduser: high-voltage industrial consumers	Storage: Sellafield
Waste handling facility 1: Sellafield									0
Waste handling facility 3: All other reactor sites									
Enduser (consumers)									
Resource extraction					0				
Transportation						0			
Electricity generator: EDF	0	0					0		
Distribution: National Grid			0					0	
Enduser: high-voltage industrial consumers									
Storage: Sellafield									

Εικόνα 5.4 Μέρος του προτύπου Excel που δημιουργήθηκε για να διευκολύνεται η δημιουργία ενός μοντέλου.

Η γραμμή που βρίσκεται πάνω από την πρώτη γραμμή του τετραγωνικού πίνακα (δηλαδή η Γραμμή 1) φυλάσσεται για την αναγραφή των δομικών στοιχείων του χάρτη. Στην αρχική μορφή του, το πλαίσιο ΧΣ περιλαμβάνει έξι δομικά στοιχεία (κύκλος ζωής ΤΣΚ, μίγμα πολιτικής, ευρύτερο πλαίσιο, θεσμοί, υποδομές, και υποστηρικτικές υπηρεσίες) του περιβάλλοντος ενός συστήματος, όπως περιγράφεται παραπάνω. Το MATISE, ωστόσο, επιτρέπει στον χρήστη να εισάγει όσα δομικά στοιχεία επιθυμεί/κρίνει απαραίτητα ώστε να περιγράψει επαρκώς το σύστημα υπό μελέτη.

Προσδιορίζονται τρεις διαφορετικοί τύποι σχέσεων για τους χάρτες συστημάτων καινοτομίας για την κλιματική αλλαγή: θετικές, αρνητικές και ουδέτερες ή απροσδιόριστες. Οι θετικές σχέσεις υποδηλώνουν μία συνολικά θετική επίδραση της έννοιας γραμμής επί της έννοιας στήλης του κελιού

και αναπαρίστανται μέσω αριθμών στην κλίμακα {1, 2, 3, 4, 5}, η οποία αντιστοιχεί στην ποιοτική κλίμακα σημαντικότητας {πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή, πολύ υψηλή}. αυτοί οι αριθμοί, μαζί με κάθε άλλη πληροφορία συστήματος, μπορεί να προκύψει από τη συμμετοχή των εμπειρογνομόνων στη διαδικασία και αναπαρίστανται με ακμές διαφορετικού πάχους στον χάρτη. Έτσι, όσο πιο μεγάλη είναι η απόλυτη τιμή του αριθμού που ορίζεται για μία σχέση, τόσο πιο μεγάλο θα είναι το πάχος της ακμής που αναπαριστά τη σχέση αυτή. Για παράδειγμα και ανάλογα με την ερευνητική ερώτηση, μία θετική σχέση στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής από πυρηνική ενέργεια θα μπορούσε να υποδηλώνει ότι μία σχέση μεταξύ δύο εννοιών (π.χ. φορέων ή πολιτικών) ενδεχομένως συμβάλλει θετικά (ή προάγει/διευκολύνει) στην ανάπτυξη του πυρηνικού ενεργειακού συστήματος. Αντίστοιχα, αρνητικές σχέσεις δηλώνονται με αριθμούς της κλίμακας {-1, -2, -3, -4, -5} και, στην περίπτωση του πυρηνικού ενεργειακού τομέα, θα υποδείκνυαν ότι μία αλληλεπίδραση έχει αρνητική επίπτωση (ή παρεμποδίζει/παρακωλύει) στην ανάπτυξη του τομέα. Τέλος, μηδενικές τιμές υποδεικνύουν ουδέτερες ή απροσδιόριστες σχέσεις μεταξύ των εμπλεκόμενων εννοιών (δηλαδή ενδέχεται να είναι και θετικές και αρνητικές, αλλά οι εμπειρογνώμονες να μη δύνανται να συμφωνήσουν στο πρόσημο με σιγουριά).

Σε όρους οπτικής αναπαράστασης, οι θετικές σχέσεις αναπαρίστανται από πράσινες, συμπαγείς ακμές μεταβλητού πάχους, οι αρνητικές από κόκκινες, διακεκομμένες (παύλες) ακμές μεταβλητού πάχους, και οι ουδέτερες/απροσδιόριστες από μαύρες διακεκομμένες (σημεία) ακμές σταθερού πάχους τριών pixel.

Προαιρετικά, ο χρήστης μπορεί να αξιοποιήσει και τον πίνακα ετικετών, στη δεύτερη καρτέλα του αρχείου εισόδου Excel, και να αναθέσει μικρές λεκτικές περιγραφές για την περιγραφή των σχέσεων που ορίζει. Το κείμενο θα εμφανίζεται στον χάρτη μόνο εφόσον έχει ορισθεί η κατάλληλη σχέση. Αυτή η δυνατότητα του MATISE δύναται να διευκολύνει τις συμμετοχικές διαδικασίες, καθώς σε μία ομαδική συζήτηση οι εμπειρογνώμονες ενδέχεται να διαφωνούν επί των τιμών: π.χ. ορισμένοι μπορεί να θεωρούν ότι μία λύση χαμηλών εκπομπών άνθρακα έχει αρνητική επίδραση στους δείκτες απασχόλησης σε τομείς που βασίζονται σε συμβατικά ορυκτά καύσιμα, ενώ άλλοι ίσως κρίνουν ότι η εν λόγω λύση θα οδηγήσει σε νέες θέσεις εργασίας στην έρευνα, ανάπτυξη και διάχυση καθαρών τεχνολογιών· ως ομάδα, οι εμπειρογνώμονες ενδέχεται να καταλήξουν σε μία τιμή, όμως η ετικέτα βοηθά στην αποθήκευση όλων των απόψεων, τις οποίες οι φορείς χάραξης πολιτικής μπορούν να συμβουλευτούν κατά την αξιοποίηση του χάρτη. Ένα παράδειγμα του πώς οι πληροφορίες που εισάγονται στους δύο πίνακες οπτικοποιούνται στο MATISE παρουσιάζεται στην [Εικόνα 5.3](#).

Τέλος, η τρίτη καρτέλα του προτύπου Excel περιλαμβάνει έναν οδηγό χρήσης με συγκεκριμένες οδηγίες για την αξιοποίηση του προτύπου.

Μετά τη δημιουργία του μοντέλου XLS/XLSX, το MATISE μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίβλεψη, τροποποίηση και μετατροπή του μοντέλου σε GML ([Εικόνα 5.2](#)). Συγκεκριμένα, το εργαλείο επιτρέπει:

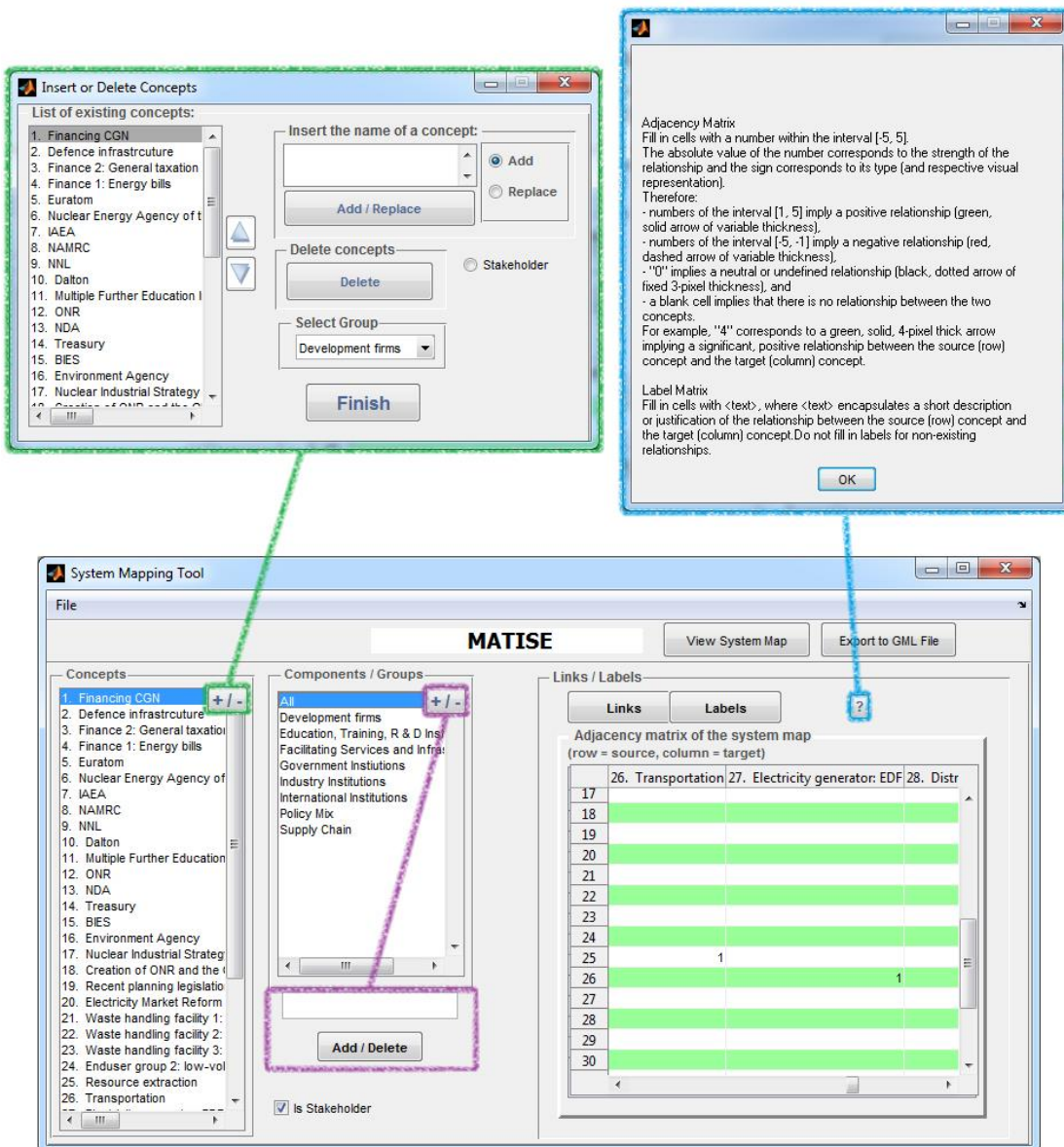
- Δημιουργία μοντέλου μέσα από το εργαλείο
- Εισαγωγή μοντέλου Excel (XLS/XLSX)
- Προσθήκη, διαγραφή ή τροποποίηση δομικών στοιχείων
- Προσθήκη, διαγραφή ή τροποποίηση εννοιών και αλλαγή δομικού στοιχείου στο οποίο εντάσσονται

- Υπόδειξη εννοιών ως φορέων
- Προσθήκη, διαγραφή ή τροποποίηση του βαθμού σημαντικότητας, προσήμου και περιγραφής των σχέσεων μεταξύ εννοιών
- Οπτική προεπισκόπηση του χάρτη συστήματος μέσα από το εργαλείο
- Εξαγωγή του μοντέλου σε αρχείο Excel (XLS/XLSX), επιτρέποντας τροποποιήσεις στη δομημένη μορφή του μοντέλου
- Εξαγωγή του μοντέλου σε αρχείο MATLAB (MAT)
- Εξαγωγή του μοντέλου σε αρχείο GML, το οποίο μπορεί να αναγνωσθεί και τροποποιηθεί από κατάλληλες εφαρμογές, όπως ο βασισμένος σε Java yEd Graph Editor

Επιπρόσθετα, το πρόγραμμα επιτρέπει για την αντίστροφη διαδικασία να λάβει χώρα, δηλαδή την εισαγωγή μοντέλου GML και εξαγωγή τροποποιημένου μοντέλου σε XLS/XLSX ή εκ νέου GML. Με τον τρόπο αυτό, επιτρέπει στον αναλυτή να δημιουργήσει, για παράδειγμα, μία απλή, προκαταρτική έκδοση του μοντέλου σε γραφική μορφή και στην πορεία, καθώς ο χάρτης συστήματος γίνεται ολοένα και πιο σύνθετος άρα η επίβλεψή του δυσκολότερη, να τον μετατρέψει σε δομημένη μορφή Excel για περαιτέρω ανάπτυξη ή τροποποίηση. Επίσης, διασφαλίζει μία εύκολη διαδικασία συμμετοχής εμπειρογνομόνων, καθώς ο αναλυτής μπορεί να παρέχει εκτυπωμένες εκδόσεις του χάρτη και να καλέσει τους εμπειρογνώμονες να σημειώσουν αλλαγές επί της οπτικής απεικόνισης, η οποία είναι περισσότερο κατανοητή από έναν πίνακα, προτού συλλέξει την πληροφορία και την ενσωματώσει στο υπολογιστικό φύλλο. Εν ολίγοις, αυτή η ελευθερία εκκίνησης και κατάληξης είτε στη δομημένη είτε στην οπτική μορφή αναπαράστασης σημαίνει ότι ένας χρήστης μπορεί να εργάζεται σε οποιαδήποτε διεπαφή προτιμά σε κάθε χρονική στιγμή.

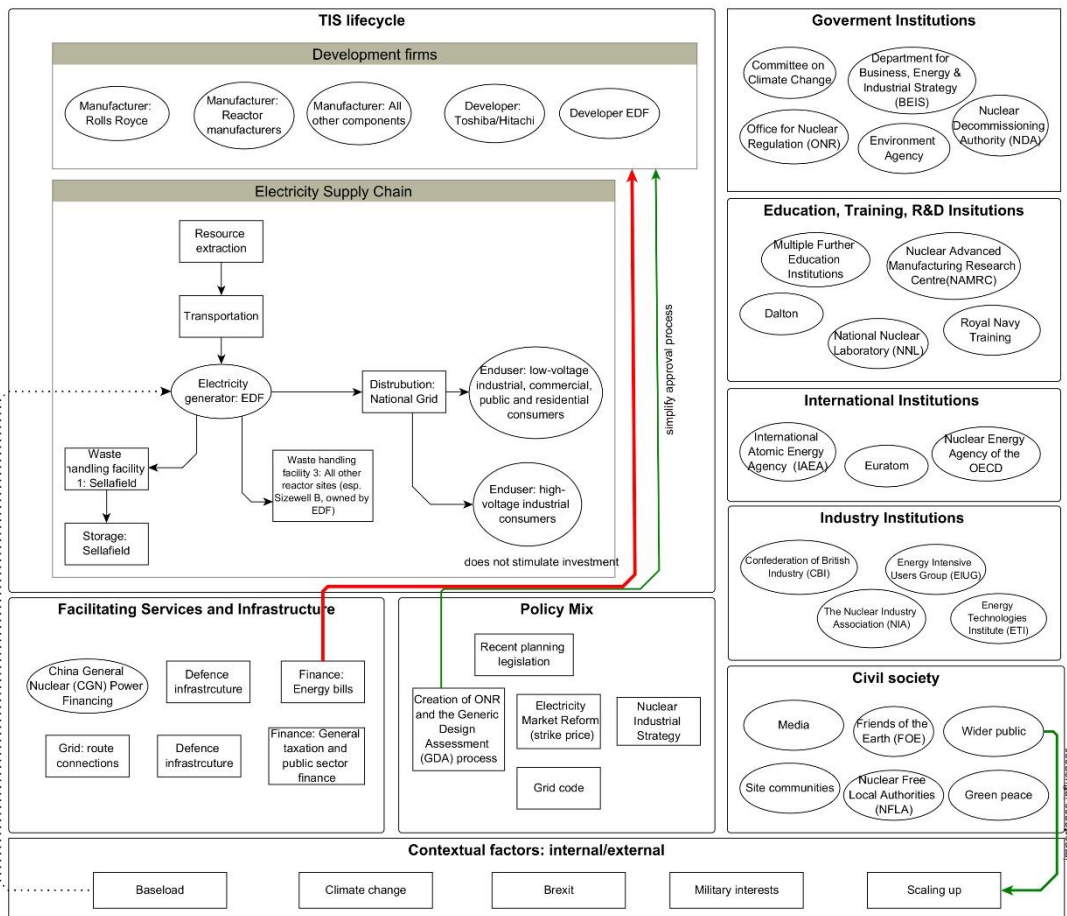
Το γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη φαίνεται στην [Εικόνα 5.5](#), με πληροφορίες που αντιστοιχούν στον χάρτη του βρετανικού πυρηνικού ενεργειακού συστήματος.

Με την επιλογή του «+/-» κουμπιού της περιοχής των εννοιών, ο οδηγός προσθήκης ή διαγραφής εννοιών επιτρέπει στον χρήστη να προσθέσει, τροποποιήσει ή αφαιρέσει έννοιες, να τις μεταθέσει σε άλλα δομικά στοιχεία και να σημειώσει εάν αντιστοιχούν σε φορείς του συστήματος. Με την επιλογή του «+/-» κουμπιού στην περιοχή των δομικών στοιχείων, ο χρήστης μπορεί να προσθέσει ή να αφαιρέσει τα υφιστάμενα στοιχεία. Επιλέγοντας μία έννοια της λίστας, το αντίστοιχο δομικό στοιχείο τονίζεται, ενώ η επιλογή ενός δομικού στοιχείου από τη λίστα θα εμφανίσει μόνο τις έννοιες που έχουν ανατεθεί σε αυτό. Οδηγίες για τη χρήση των πινάκων γειτνίασης και ετικετών μπορούν να βρεθούν με την επιλογή του «?» κουμπιού. Ο κατάλογος αρχείου περιλαμβάνει επιλογές εισαγωγής/εξαγωγής αρχείων MAT, XLS, XLSX και GML.



Εικόνα 5.5 Στιγμιότυπο του γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής χρήστη του MATISE.

Τέλος, η επιλογή της προβολής του χάρτη συστήματος εμφανίζει ένα παράθυρο με την οπτική προεπισκόπηση του χάρτη συστήματος μέσα από το πρόγραμμα για γρήγορη επίβλεψη του οπτικού μοντέλου, ενώ η επιλογή του κουμπιού εξαγωγής του αρχείου GML εξάγει το μοντέλο σε GML για προβολή και περαιτέρω τροποποίηση από κατάλληλη εφαρμογή (π.χ. yEd). Μετά την επιλογή της βέλτιστης διάταξης στον yEd, ο χάρτης του βρετανικού πυρηνικού ενεργειακού συστήματος, όπως εξάχθηκε από το εργαλείο, φαίνεται στην Εικόνα 5.6.



Εικόνα 5.6 Το βρετανικό ενεργειακό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής από πυρηνική ενέργεια, όπως διαμορφώθηκε έπειτα από κατάλληλη έρευνα και ενός ειδικά διαμορφωμένου εργαστηρίου συμμετοχής εμπειρογνομώνων.

Δεδομένων του καθορισμένου συνόλου επιλογών οπτικοποίησης και των οδηγιών χρήσης του εργαλείου, σε συνδυασμό με τις δυνατότητες αυτοματοποιημένης βελτιστοποίησης διάταξης του γEd, το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο προάγει την ομοιογένεια και τη συνοχή ανάμεσα σε ποικίλες εκδοχές του ίδιου χάρτη συστήματος, εφόσον ο χρήστης επιθυμεί να παράγει περισσότερα από ένα αφηγήματα για ένα δεδομένο σύστημα, ή ανάμεσα σε πολυάριθμους διαφορετικούς χάρτες συστημάτων, εφόσον ο χρήστης επιθυμεί να πραγματοποιήσει συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών ΤΣΚ.

5.5.6 Ολοκλήρωση με άλλες προσεγγίσεις μοντελοποίησης

Παρότι η ΧΣ, ως μία τεχνική ποιοτικής μοντελοποίησης με μεγάλα περιθώρια συνεισφοράς αξίας στην επιστημονική υποστήριξη της κλιματικής αλλαγής (Ενότητα 5.4), μπορεί να παράγει από μόνη της χρήσιμες συστάσεις κλιματικής πολιτικής, μπορεί επίσης να υποστηρίξει τη δύσκολη εργασία ανάπτυξης εύρωστων μονοπατιών μετάβασης, ως μέρος μίας ολοκληρωμένης μεθοδολογικής διαδικασίας. Σε αυτήν την κατεύθυνση, η ΧΣ μπορεί να ενημερώσει διεργασίες ποσοτικής μοντελοποίησης κλίματος-οικονομίας και ενεργειακών συστημάτων (Κεφάλαιο 3), παρέχοντας ένα καθολικό πλαίσιο σημαντικών δυναμικών, ορίων συστήματος, παραγόντων, μέτρων πολιτικής εντός του υφιστάμενου ή ενός μελλοντικού μίγματος πολιτικής, κλπ. Σε μία εναλλακτική προσέγγιση ή σε ένα διαφορετικό στάδιο μίας ολοκληρωμένης μεθοδολογικής προσέγγισης, η ΧΣ μπορεί να αποτελέσει την βάση διαμόρφωσης ενός ΑΓΧ, όπως αυτή περιγράφεται από τους Nikas and Doukas (2016). Οι ΑΓΧ μοιράζονται βασικά αξιώματα και αρχές με την ΧΣ ως προς το ότι αποσκοπούν στην καταγραφή και

χαρτογράφηση των δυναμικών ενός συστήματος με βάση τις αντιλήψεις πολλαπλών εμπειρογνομόνων που εξάγονται μέσω ημι-δομημένων συνεντεύξεων (Samarasinghe and Strickert, 2013). Η βασική τους διαφοροποίηση από την ΧΣ έγκειται στο ότι καταγράφουν αποκλειστικά σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος εντός του συστήματος, οι οποίες επίσης ποσοτικοποιούνται, επιτρέποντας προσομοιώσεις κατά τις οποίες ο βαθμός ενεργοποίησης κάθε έννοιας του συστήματος υπολογίζεται με βάση την αρχική της έννοια και την μετάδοση αιτιότητας από τις έννοιες που επιδρούν σε αυτήν άμεσα ή έμμεσα (Mourhir et al., 2016). Δίνοντας έμφαση σε συγκεκριμένες διαδράσεις ενός χάρτη συστήματος ώστε αυτές να αντιστοιχούν αποκλειστικά σε αιτιώδεις σχέσεις και αναλύοντας περαιτέρω αυτές τις διαδράσεις μέσω της συμμετοχής εμπειρογνομόνων, η ΧΣ μπορεί όχι μόνο να παρέχει τη βάση ενός ΑΓΧ αλλά να περιλαμβάνει τις δυναμικές ενός συστήματος που έχουν αποκτηθεί αποτελεσματικά με αυστηρώς δομημένο και οργανωμένο τρόπο. Τέλος, επειδή οι ΑΓΧ βασίζονται επίσης στην ανάπτυξη ενός πίνακα γειτνίασης (ή βαρών) που επίσης αποτελείται από δομικά στοιχεία συστήματος και αιτιώδεις σχέσεις (Htun et al., 2016), το MATISE δύναται επίσης να υποστηρίξει τη διαδικασία των ΑΓΧ επιτρέποντας τον εύκολο μετασχηματισμό ενός γραφικά σχεδιασμένου ΑΓΧ σε έναν πίνακα βαρών, ώστε ο τελευταίος να αξιοποιηθεί για την πραγματοποίηση των προσομοιώσεων.

5.6 Συμπεράσματα

Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο για την αξιολόγηση σύνθετων συστημάτων καινοτομίας για την κλιματική αλλαγή βασίζεται στην προσέγγιση της ΧΣ και χτίζει στην πολύτιμη γνώση και εξειδίκευση των εμπειρογνομόνων. Ξεκινάει από τον καθορισμό των εννοιολογικών ορίων ενός συστήματος, μέσω της αναγνώρισης όλων των σχετικών εμπλεκόμενων φορέων, πολιτικών και λειτουργιών μέσα σε κρίσιμα δομικά στοιχεία ενός συστήματος καινοτομίας, δηλαδή τον κύκλο ζωής της πλήρους αλυσίδας προμηθειών, το διευκολυντικό και παρακωλυτικό περιβάλλον που άμεσα ή έμμεσα επιδρά στο σύστημα, και τις υποστηρικτικές υπηρεσίες που είναι εξωτερικές ως προς το σύστημα αλλά θεμελιωδώς απαραίτητες. Στη συνέχεια, περιλαμβάνει την καταγραφή και ανάλυση των παρελθοντικών και παροντικών δυναμικών διαδράσεων μεταξύ αυτών των φορέων, πολιτικών και λειτουργιών. Ξεκινώντας από τις προσδιορισθείσες δυναμικές του συστήματος, το πλαίσιο εν τέλει επιτρέπει την αξιολόγηση μονοπατιών οικονομιών χαμηλών εκπομπών και κλιματικά ανθεκτικών, διερευνώντας αυτές τις δυναμικές αλλά και αξιολογώντας διαφορετικές στρατηγικές πολιτικής.

Σε αυτήν την κατεύθυνση, σχεδιάστηκε μία εξειδικευμένη εφαρμογή λογισμικού, η οποία εισάγει μία δομημένη μορφή συστημικής αναπαράστασης, επιτρέποντας έτσι την εύκολη δημιουργία, τροποποίηση και επίβλεψη μεγάλων, συχνά δια-τομεακών και σύνθετων συστημάτων. Το MATISE δεν παρέχει μόνο μία πρακτική προσέγγιση στη ΧΣ με τρόπο οργανωμένο και δομημένο, αλλά δρα και ως γέφυρα μεταξύ δύο πολύ διαφορετικών μορφών ενός χάρτη συστήματος, δηλαδή ενός πίνακα υπολογιστικού φύλλου και της οπτικής του αναπαράστασης, επιτρέποντας στον χρήστη να εργάζεται σε οποιαδήποτε μορφή, σε οποιοδήποτε στάδιο της διαδικασίας ή χρονική στιγμή, και αναλόγως των προτιμήσεών του.

Η προτεινόμενη πλαίσιωση της ΧΣ και το αντίστοιχο εργαλείο μπορούν, επίσης, να υποστηρίξουν την συγκριτική ανάλυση διαφορετικών ΤΣΚ (π.χ. ενός δεδομένου οικονομικού τομέα για διαφορετικές χώρες, ή διαφορετικών τομέων της ίδιας χώρας, ή και του ίδιου τομέα της ίδιας χώρας αλλά με διαφορετικές θεσμικές διατάξεις), επειδή χαρακτηρίζονται από συνεπή αναπαράσταση στοιχείων και δομικών στοιχείων, ανεξαρτήτως συστήματος.

Οι χάρτες συστημάτων δεν αποτελούν απλώς ένα βοηθητικό εργαλείο ανάλυσης και οπτικοποίησης, αλλά και έναν τρόπο κωδικοποίησης της «κρυφής» γνώσης που κατέχουν οι εμπειρογνώμονες. Αυτή η γνώση αποθηκεύεται και τεκμηριώνεται με ένα εργαλείο που βοηθάει στην καταγραφή της ερευνητικής διαδικασίας και στην βελτίωση της διαφάνειας των ερευνητικών αποτελεσμάτων. Για παράδειγμα, η ανάλυση υφιστάμενων μονοπατιών και η ανάπτυξη πιθανών νέων μονοπατιών χαμηλών εκπομπών άνθρακα δύνανται να βασιστούν στην κατανόηση από εμπειρογνώμονες των δυναμικών του συστήματος, αντί ενός ερευνητή που κατασκευάζει θεωρητικά ένα μοντέλο με βάση αυστηρώς καθορισμένες και περιορισμένες υποθέσεις ενός δεδομένου συστήματος. Επιπρόσθετα, εξαιτίας της συμμετοχικής φύσης του εργαλείου, ο χάρτης συστήματος μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση προβληματικών περιοχών ή στοιχείων που συνεργάζονται σωστά σε ένα ΤΣΚ, βάσει διαδράσεων που δεν είναι εντελώς ορατές σε μία συγκεκριμένη ομάδα ενδιαφερόμενων μερών αλλά αναδεικνύονται ως αποτέλεσμα μίας ολοκληρωμένης συμμετοχικής διαδικασίας. Αυτή η πρωταρχική συστημική προοπτική μπορεί επίσης να καταστεί πολύτιμη κατά την αντιμετώπιση σύνθετων προβλημάτων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή και που επιδρούν σε μία συγκεκριμένη ομάδα ενδιαφερόμενων φορέων. Η από κάτω προς τα πάνω προσέγγιση παρέχει μία πλατφόρμα για τους ενδιαφερόμενους φορείς, οι οποίοι ενδεχομένως δεν προσεγγίζονται συχνά για τη συμμετοχή τους στην ανάπτυξη μονοπατιών κλιματικής δράσης. Το εργαλείο, επομένως, αποτελεί ένα καλό σημείο εκκίνησης για τη συστηματική ένταξη μίας πτυχής της κλιματικής δράσης που είναι μεν προφανής αλλά πολύ συχνά αγνοείται: των δυναμικών της ανθρώπινης διάστασης.

5.7 Βιβλιογραφία

- Nikas, A., Doukas, H., Lieu, J., Alvarez Tinoco, R., Charisopoulos, V., & van der Gaast, W. (2017). Managing stakeholder knowledge for the evaluation of innovation systems in the face of climate change. *Journal of Knowledge Management*, 21(5), 1013-1034.
- Nikas, A., Doukas, H., & López, L. M. (2018). A group decision making tool for assessing climate policy risks against multiple criteria. *Heliyon*, 4(3), e00588.
- Nikas, A., Ntanos, E., & Doukas, H. (2019). A semi-quantitative modelling application for assessing energy efficiency strategies. *Applied Soft Computing*, 76, 140-155.
- Albu, M. (2010). *Emergency market mapping and analysis toolkit*. Oxfam GB.
- Albu, M., & Griffith, A. (2005). *Mapping the market: A framework for rural enterprise development policy and practice*. Rugby, UK: Practical Action (formerly ITDG).
- Albu, M., & Griffith, A. (2006). *Mapping the market: participatory market-chain development in practice*. *Small Enterprise Development*, 17(2), 12-22.
- Alvarez Tinoco, R. (2011). *Evolution of capabilities in agribusiness: the case of the Mexican dairy sector* (Doctoral dissertation, University of Sussex).
- Apraise (2014). *Understanding Policy Contexts and Stakeholder Behaviour for Consistent and Coherent Environmental Policies - A synthesis of results from the APRAISE project*. Available: http://apraise.org/sites/default/files/apraise_synthesis_document_2.pdf.
- Asheim, B. T., & Gertler, M. S. (2005). The geography of innovation: regional innovation systems. In *The Oxford handbook of innovation*.
- Asheim, B. T., & Isaksen, A. (1997). Location, agglomeration and innovation: towards regional innovation systems in Norway?. *European planning studies*, 5(3), 299-330.
- Axelrod, R. (1976). The cognitive mapping approach to decision making. *Structure of decision*, pp.221-250.

- Bergek, A., Hekkert, M., Jacobsson, S., Markard, J., Sandén, B., & Truffer, B. (2015). Technological innovation systems in contexts: Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 16, 51-64.
- Bergek, A., Hekkert, M., & Jacobsson, S. (2008). Functions in innovation systems: A framework for analysing energy system dynamics and identifying goals for system-building activities by entrepreneurs and policy makers. *Innovation for a low carbon economy: economic, institutional and management approaches*, 79.
- Bioteam (2016). Market system map reports. Available: <http://www.sustainable-biomass.eu/index.php/publications>.
- Boulding, K. E. (1956). General systems theory—the skeleton of science. *Management science*, 2(3), 197-208.
- Breschi, S., & Malerba, F. (1997). Sectoral innovation systems: technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundaries. *Systems of innovation: Technologies, institutions and organizations*, 130-156.
- Bürli, M., Aw-Hassan, A., & Rachidi, Y. L. (2008). The importance of institutions in mountainous regions for accessing markets: an example from the Moroccan High Atlas. *Mountain Research and Development*, 28(3), 233-239.
- Byrne, K. G., March, J., McGuire, S., Meissner, L., & Sperling, L. (2013). The role of evidence in humanitarian assessment: the seed system security assessment and the emergency market mapping and analysis. *Disasters*, 37, S83-S104.
- Carlsson, B., & Jacobsson, S. (1997). In search of useful public policies—key lessons and issues for policy makers. In *Technological systems and industrial dynamics* (pp. 299-315). Springer, Boston, MA.
- Carlsson, B. & Stankiewicz, R. (1991). On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of evolutionary economics*, 1(2), pp.93-118.
- Carlsson, B., Jacobsson, S., Holmén, M. & Rickne, A. (2002). Innovation systems: analytical and methodological issues. *Research policy*, 31(2), pp.233-245.
- Chaminade, C., & Edquist, C. (2006). From theory to practice: the use of the systems of innovation approach in innovation policy. *Innovation, Science, and Institutional Change A Research Handbook*, 141-163.
- Cooke, P. (1992). Regional innovation systems: competitive regulation in the new Europe. *Geoforum*, 23(3), 365-382.
- Cooke, P. (2001). Regional innovation systems, clusters, and the knowledge economy. *Industrial and corporate change*, 10(4), 945-974.
- Cooke, P. (2002). Regional innovation systems: general findings and some new evidence from biotechnology clusters. *The Journal of Technology Transfer*, 27(1), 133-145.
- Cooke, P. N., Heidenreich, M., & Braczyk, H. J. (Eds.). (2004). *Regional Innovation Systems: The role of governance in a globalized world*. Psychology Press.
- Edquist, C. (2005). Systems of innovation. Perspectives and challenges. In: Fagerberg, J., Mowery, D. C. & Nelson, R. R. (eds.) *The Oxford Handbook of Innovation*. First edition ed. Oxford: Oxford University Press.
- Fink, M. (2014). Constraints and opportunities for horticultural smallholders in the Nacala Corridor in Northern Mozambique.
- Flamos, A., & Begg, K. (2010). Technology transfer insights for new climate regime. *Environment, development and sustainability*, 12(1), 19-33.
- Freeman, C. (1987). *Technology policy and economic performance: Lessons from Japan*, London, Pinter.
- Freeman, C. (1995). The 'National System of Innovation' in historical perspective. *Cambridge Journal of economics*, 19(1), 5-24.
- Freeman, C. (2002). Continental, national and sub-national innovation systems—complementarity and economic growth. *Research policy*, 31(2), 191-211.
- Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research policy*, 33(6-7), 897-920.

- Giuliani, A., Karagöz, A., & Zencirci, N. (2009). Emmer (*Triticum dicoccon*) production and market potential in marginal mountainous areas of Turkey. *Mountain Research and Development*, 29(3), 220-229.
- Gray, S. A., Gray, S., Cox, L. J., & Henly-Shepard, S. (2013, January). Mental modeler: a fuzzy-logic cognitive mapping modeling tool for adaptive environmental management. In *System sciences (hicss), 2013 46th Hawaii international conference on* (pp. 965-973). IEEE.
- Hekkert, M. P., Suurs, R. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. E. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological forecasting and social change*, 74(4), 413-432.
- Hobday, M. (1998). Product complexity, innovation and industrial organisation. *Research policy*, 26(6), 689-710.
- Hobday, M., Rush, H. & Tidd, J. (2000). Innovation in complex products and system. *Research Policy*, 29(7), pp.793-804.
- Htun, H., Gray, S. A., Lepczyk, C. A., Titmus, A., & Adams, K. (2016). Combining watershed models and knowledge-based models to predict local-scale impacts of climate change on endangered wildlife. *Environmental Modelling & Software*, 84, 440-457.
- Karakosta, C., Flamos, A., Doukas, H., & Vaturi, A. (2010). Sustainable energy technology transfers through the CDM? Application of participatory approaches for decision making facilitation. *International Journal of Environmental Policy and Decision Making*, 1(1), 1-16.
- Kim, S., Suh, E., & Hwang, H. (2003). Building the knowledge map: an industrial case study. *Journal of knowledge management*, 7(2), 34-45.
- Kwong, E., & Lee, W. B. (2009). Knowledge elicitation in reliability management in the airline industry. *Journal of Knowledge Management*, 13(2), 35-48.
- Lagabriele, E., Botta, A., Daré, W., David, D., Aubert, S., & Fabricius, C. (2010). Modelling with stakeholders to integrate biodiversity into land-use planning—Lessons learned in Réunion Island (Western Indian Ocean). *Environmental modelling & software*, 25(11), 1413-1427.
- Lundvall, B. Å. (Ed.). (2010). *National systems of innovation: Toward a theory of innovation and interactive learning* (Vol. 2). Anthem press.
- Lundvall, B. Å., Joseph, K. J., Chaminade, C., & Vang, J. (Eds.). (2011). *Handbook of innovation systems and developing countries: building domestic capabilities in a global setting*. Edward Elgar Publishing.
- Malerba, F. (2002). Sectoral systems of innovation and production. *Research policy*, 31(2), pp.247-264.
- Malerba, F. (2005). Sectoral systems: How and why innovation differs across sectors. In: Fagerberg, J., Mowery, D. & Nelson, R. R. (eds.) *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford: Oxford University Press.
- Mourhir, A., Rachidi, T., Papageorgiou, E.I., Karim, M. & Alaoui, F.S. (2016). A cognitive map framework to support integrated environmental assessment. *Environmental Modelling & Software*, 77, pp.81-94.
- Nelson, R. R. (1993). *National innovation systems: A comparative study*.
- Nikas, A., & Doukas, H. (2016). Developing robust climate policies: a fuzzy cognitive map approach. In *Robustness Analysis in Decision Aiding, Optimization, and Analytics* (pp. 239-263). Springer, Cham.
- Niosi, J. (2002). National systems of innovations are “x-efficient”(and x-effective): Why some are slow learners. *Research policy*, 31(2), 291-302.
- Niosi, J. (2011). Building innovation systems: an introduction to the special section. *Industrial and Corporate Change*, 20(6), pp.1637-1643.
- Padilla-Pérez, R., & Gaudin, Y. (2014). Science, technology and innovation policies in small and developing economies: The case of Central America. *Research Policy*, 43(4), 749-759.
- Padilla-Pérez, R., Vang, J. & Chaminade, C. (2011). *Regional Innovation Systems in Developing Countries*. In *Handbook of Innovation Systems and Developing Countries*. Edward Elgar Publishing, Incorporated.

- Practical Action Consulting (2009). Small-Scale Bioenergy Initiatives: Brief description and preliminary lessons on livelihood impacts from case studies in Asia, Latin America and Africa. Final re-port, prepared for PISCES and FAO by Practical Action Consulting.
- Samarasinghe, S., & Strickert, G. (2013). Mixed-method integration and advances in fuzzy cognitive maps for computational policy simulations for natural hazard mitigation. *Environmental modelling & software*, 39, 188-200.
- Soumonni, O. (2013). Towards a technology policy for renewable energy development in Africa: a systems of innovation perspective. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 5(4), 289-295.
- Sperling, L. (2008). When disaster strikes: a guide to assessing seed system security (No. 363). CIAT.
- TEC (2014). Good Practices of Technology Needs Assessments, Ninth meeting of the Technology Executive Committee, Langer Eugen, Bonn, Germany, 18-21 August 2014, Background paper. Available: http://unfccc.int/ttclear/misc_/StaticFiles/gnwoerk_static/TEM_TEC_meetings/d8024d9b95of43d594fc17fd22b5477a/6d4c53c874c74baab1ee4b287ec9292e.pdf
- Trochim, W. M. (1989). An introduction to concept mapping for planning and evaluation. *Evaluation and program planning*, 12(1), pp.1-16.
- Dougherty, B., & Fencel, A. (2009). Handbook for Conducting Technology Needs Assessment for Climate Change.
- UNFCCC (2013). Third synthesis report on technology needs identified by Parties not included in Annex I to the Convention, FCCC/SBSTA/2013/INF.7 Available: <http://unfccc.int/resource/docs/2013/sbsta/eng/info7.pdf>.
- van der Gaast, W., Begg, K., & Flamos, A. (2009). Promoting sustainable energy technology transfers to developing countries through the CDM. *Applied Energy*, 86(2), 230-236.
- Voinov, A., & Bousquet, F. (2010). Modelling with stakeholders. *Environmental Modelling & Software*, 25(11), 1268-1281.
- Von Bertalanffy, L. (1950). An outline of general system theory. *British Journal for the Philosophy of science*.
- Wells, J. (2012). *Complexity and sustainability* (Vol. 26). Routledge.

6ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΑΣΑΦΗΣ ΓΝΩΣΤΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ

6.1 Εισαγωγή

Προς όφελος των τελικών καταναλωτών ενέργειας αναφορικά με τους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για λόγους μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και μεγιστοποίησης της ενεργειακής ασφάλειας, της ανταγωνιστικότητας, της οικονομικής βιωσιμότητας και των θέσεων εργασίας, η ΕΕ έθεσε νωρίς συγκεκριμένες κατευθύνσεις για την ενεργειακή αποδοτικότητα. Σε αυτό το πλαίσιο τέθηκαν οι βραχυπρόθεσμοι στόχοι μείωσης της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης κατά 20% έως το 2020, προκειμένου να στρωθεί ο δρόμος προς αυστηρότερους και πιο φιλόδοξους στόχους μετά το 2020 (2012/27/EC). Τον Νοέμβριο 2016, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή συνέστησε την ενίσχυση αυτής της στρατηγικής και προχώρησε σε αναβάθμιση του στόχου σε μειώσεις 30% έως το 2030. Προκειμένου να διασφαλιστεί η πρόοδος ως προς την επίτευξη των στόχων, θεωρήθηκε απαραίτητο οι εθνικές δεσμεύσεις και οι αντίστοιχοι μηχανισμοί να ανανεωθούν κατάλληλα. Σε αυτήν την κατεύθυνση, ζητήθηκε από τα ΚΜ να καταθέσουν τα Εθνικά Σχέδια Δράσης για την Ενεργειακή Αποδοτικότητα (ΕΣΔΕΑ), στα οποία θα περιγράφονται τα μέτρα ενεργειακής αποδοτικότητας και οι εκτιμήσεις για τις αναμενόμενες και επιτευχθείσες ενεργειακές μειώσεις.

Παρά την διαίρεση του στόχου για το 2020 σε ενδιάμεσες περιόδους καθώς και την σχετική καθοδήγηση, αρκετά ΚΜ σήμερα αντιμετωπίζουν προκλήσεις στην επίτευξη των εθνικών τους στόχων (Fawcett et al., 2017). Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση της Ελλάδας, όπου το τρίτο ΕΣΔΕΑ κατατέθηκε τον Δεκέμβριο 2014 (έπειτα από τα προηγούμενα των 2008 και 2011), ως το πρώτο εθνικό σχέδιο δράσης σε συμφωνία με την συγκεκριμένη κοινοτική οδηγία. Ο εθνικός στόχος ενεργειακής αποδοτικότητας για το 2020 (μειώσεις κατά 20%) τέθηκε στα 18.4 ΜΤΟΕ τελικής ενεργειακής κατανάλωσης, στα 24.7 ΜΤΟΕ πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης, και στα 0.081 και 0.109 kΤΟΕ/€ ενεργειακής έντασης αντίστοιχα. Οι ενδιάμεσες περίοδοι επίβλεψης της προόδου και κατάλληλης προσαρμογής ήταν: (α) 2014-2015, με ενδιάμεσο συνολικό στόχο μείωσης 300.7 kΤΟΕ (3.5 TWh), και (β) 2016-2018, με ενδιάμεσο συνολικό στόχο μείωσης 1768.9 kΤΟΕ (19.5 TWh) (Hellenic Ministry of Environment and Energy, 2014). Παρότι αναμένεται να επιτύχει τους συνολικούς στόχους ενεργειακής αποδοτικότητας κατά 20%, η Ελλάδα φαίνεται να καθυστερεί ως προς την επίτευξη του στόχου για επίτευξη νέων ετήσιων μειώσεων κατά 1.5% επί των ετήσιων ενεργειακών πωλήσεων σε τελικούς καταναλωτές έως το 2020. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που κατατέθηκαν στην ετήσια έκθεση προόδου για το 2015, εντοπίστηκε αρνητική απόκλιση της τάξεως του 36%. Ως εκ τούτου, επιπρόσθετες προσπάθειες μείωσης απαιτούντο για την επανευθυγράμμιση της προόδου με τους

εθνικούς και κοινοτικούς στόχους, συμπεριλαμβανομένης της επανασχεδίασης της βέλτιστης στρατηγικής πολιτικών ενεργειακής αποδοτικότητας, χωρίς να παραβλέπονται οι υφιστάμενοι περιορισμοί διαθέσιμων πόρων ή οι σχετικοί κίνδυνοι υλοποίησης και αβεβαιότητες. Το επόμενο και πιο πρόσφατο ΕΣΔΕΑ ([Hellenic Ministry of Environment and Energy, 2017](#)) αναγνώρισε ακόμη ένα σημαντικό χάσμα μεταξύ του στόχου για το 2020 και των πραγματικών μειώσεων ως αποτέλεσμα της επιτυχούς υλοποίησης των προτεινόμενων μέτρων πολιτικής. Πιο σημαντικά, όμως, τόνισε επίσης τους χρηματοοικονομικούς και τεχνικούς περιορισμούς που παρακωλύουν την πραγματοποίηση των αρχικών προβλέψεων, οι οποίοι κατά τον σχεδιασμό των μέτρων δεν είχαν προβλεφθεί ή είχαν αγνοηθεί.

Είναι εμφανές ότι, όπως άλλες ευρωπαϊκές χώρες, η Ελλάδα παρουσίασε σημαντικές καθυστερήσεις στην εκκίνηση των προσπαθειών ενεργειακής αποδοτικότητας, ειδικά δεδομένης της πρόσφατης αναβάθμισης της κοινοτικής κατεύθυνσης για το 2030 και τα οράματα για μακροπρόθεσμα μονοπάτια απεξάρτησης από τον άνθρακα. Παράλληλα, ο ενεργειακός τομέας της χώρας παραμένει σε μεγάλο βαθμό εξαρτώμενος από ορυκτά καύσιμα, μεγάλο μέρος των οποίων εισάγονται από το εξωτερικό, καθιστώντας τον εφοδιασμό πρωτογενούς ενέργειας της Ελλάδας αυτόν με τη μεγαλύτερη ένταση άνθρακα ανάμεσα στα μέλη του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας ([International Energy Agency, 2011](#)). Ένας από τους λόγους για τους οποίους η χώρα αδυνατεί να εκπληρώσει τους στόχους ενεργειακής αποδοτικότητας βρίσκεται στο επιμέμον αρνητικό οικονομικό περιβάλλον ([Kaplanoglou and Rapanos, 2018](#)), το οποίο δύναται να εμποδίσει σε σημαντικό βαθμό τη χρηματοδότηση, επιδότηση και λήψη μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας ([Trianni et al., 2016](#)). Αυτές οι παρατηρήσεις τονίζουν περαιτέρω την ανάγκη αξιοποίησης επιστημονικών διεργασιών που, δεδομένων των κινδύνων υλοποίησης του πλαισίου πολιτικής, δύνανται να υποκαταστήσουν την πολυπλοκότητα και μη διαθεσιμότητα δεδομένων με ανθρώπινη γνώση και εμπειρία, καθώς και να υποστηρίξουν την αξιολόγηση αβεβαιοτήτων και άλλων κρίσιμων πτυχών που συνήθως είναι δύσκολο να ενσωματωθούν σε αυστηρώς καθορισμένα συστήματα ποσοτικής μοντελοποίησης, όπως τα ΜΟΑ και τα μοντέλα ενεργειακών συστημάτων που αναλύονται στο [Κεφάλαιο 3](#).

Αυτά, ωστόσο, έχουν ευρέως χρησιμοποιηθεί από την επιστημονική κοινότητα, προς υποστήριξη του σχεδιασμού ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής. Εκτός του ότι μεταφράζουν τα μέτρα πολιτικής εμμέσως μέσω άλλων παραμέτρων και ότι παραβλέπουν κρίσιμους κινδύνους υλοποίησης των μέτρων αυτών, αυτές οι επιστημονικές διεργασίες είναι ιδιαίτερα πολύπλοκες για να εντάξουν ή να γίνουν κατανοητές από τους φορείς χάραξης πολιτικής, και επομένως να καλλιεργήσουν ένα κλίμα εμπιστοσύνης και αξιοποίησης των αποτελεσμάτων τους. Ως εκ τούτου, αναδεικνύεται ένα κρίσιμο χάσμα στη διεπαφή επιστήμης-πολιτικής, μεταξύ της αυστηρής αναπαράστασης (συμπεριλαμβανομένων των μοντέλων και των υπολογιστικών διεργασιών τους) και του πραγματικού πλαισίου στο οποίο λαμβάνονται αποφάσεις και διαμορφώνονται πολιτικές ([Doukas et al., 2018](#)). Σε αυτήν την κατεύθυνση, ένα ποικίλο πλήθος μεθόδων και εργαλείων υποστήριξης αποφάσεων αξιοποιούνται ολοένα και περισσότερο ([Κεφάλαιο 4](#)), με σκοπό την γεφύρωση του προαναφερθέντος χάσματος μεταξύ επιστημόνων και φορέων χάραξης πολιτικής.

Οι ΑΓΧ αποτελούν ένα από αυτά τα εργαλεία. Αρκετές μελέτες έχουν αξιοποιήσει ΑΓΧ για τον σχεδιασμό ηλεκτρισμού ([Ghaderi et al., 2012](#)· [Kyriakarakos et al., 2012](#)· [Karavas et al., 2015](#)· και [Olazabal and Pascual, 2016](#)), ΑΠΕ (π.χ. [Huang et al., 2013](#)· [Reckien, 2014](#)· [Hsueh, 2015](#)· και [Amer et al., 2016](#)), μεταφορών ([Kontogianni et al., 2013](#)· [Shiau and Liu, 2013](#)· και [Kayikci and Stix, 2014](#)), και περιβαλλοντικής πολιτικής (π.χ. [Celik et al., 2015](#)· [Ceccato, 2012](#)· και [Gray et al., 2014](#)), αλλά μόνο περιορισμένες εφαρμογές αντιμετώπισαν προβλήματα ενεργειακής αποδοτικότητας. Ωστόσο, ακόμη

και εφαρμογές σχετικές με την ενεργειακή αποδοτικότητα συνήθως περιορίζονται στην μελέτη συμπεριφοράς αυτόνομων κτιρίων (π.χ. [Mpelogianni et al., 2015](#) και [Vergini and Groumpos, 2015](#)), αντί της διερεύνησης ενός ευρύτερου πλαισίου πολιτικής για την ενεργειακή αποδοτικότητα.

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου, επομένως, είναι η ανάπτυξη ενός εξειδικευμένου εργαλείου για την αξιολόγηση συγκεκριμένων μακροπρόθεσμων ενεργειακών και κλιματικών πολιτικών και η πιλοτική εφαρμογή του σε δύο εφαρμογές, μία που αφορά στην επιλογή μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας στην Ελλάδα, και μία που αφορά στην μεταφορά του αντικειμένου του εργαλείου στο ευρύτερο πεδίο της κλιματικής αλλαγής μέσα από την αξιολόγηση κλιματικών πολιτικών διάχυσης των ΑΠΕ στην Ολλανδία. Προς αυτήν την κατεύθυνση, αναπτύσσεται μία εφαρμογή λογισμικού στη MATLAB, η οποία επιτρέπει στον αναλυτή να σχεδιάζει εύκολα μοντέλα ΑΓΧ, να χρησιμοποιεί καινοτόμες προσεγγίσεις της βιβλιογραφίας, και να επιβλέπει απεικονιστικά τα συστήματα υπό μοντελοποίηση.

Το κεφάλαιο δομείται ως εξής: η [Ενότητα 6.2](#) περιγράφει τις κύριες έννοιες και αρχές των ΑΓΧ και παρουσιάζει το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο, ενώ η [Ενότητα 6.3](#) παρουσιάζει το εξειδικευμένο εργαλείο ESQAPE. Η [Ενότητα 6.4](#) περιγράφει κάθε βήμα της εφαρμογής για την ενεργειακή αποδοτικότητα στην Ελλάδα και πραγματοποιεί μία συζήτηση επί των ευρημάτων και συστάσεων ενεργειακής πολιτικής, ενώ η [Ενότητα 6.5](#) μεταφέρει το αντικείμενο του εργαλείου στον ευρύτερο χώρο της κλιματικής αλλαγής και περιγράφει την εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου στην κλιματική πολιτική της Ολλανδίας για την περαιτέρω διάχυση της ηλιακής ενέργειας. Τέλος, η [Ενότητα 6.6](#) παρουσιάζει τα γενικότερα εμπειρικά και μεθοδολογικά συμπεράσματα του κεφαλαίου, και προτείνει μελλοντικές προοπτικές για το προτεινόμενο εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων.

6.2 Μεθοδολογία

6.2.1 Ασαφείς γνωστικοί χάρτες

Η γνωστική χαρτογράφηση μπορεί να οριστεί ως η πλήρως ποιοτική, γραφική απεικόνιση ενός συστήματος, με κάθε κόμβο να αναπαριστά μία έννοια εντός του συστήματος και κάθε ακμή να αναπαριστά τις αντιληφθείσες διασυνδέσεις μεταξύ των εννοιών. Οι γνωστικοί χάρτες μπορούν να δουλέψουν, μεταξύ άλλων, ως ένα εργαλείο έκφρασης και εμπλουτισμού των γνώσεων των εμπειρογνομόνων για έναν συγκεκριμένο χώρο προβλήματος, μέσω της αξιολόγησης της επίδρασης, αιτιότητας και δυναμικής μέσα στο σύστημα ([Huff, 1990](#)).

Η Ασαφής Γνωστική Χαρτογράφηση αποτελεί μία μέθοδο που βασίζεται στους γνωστικούς χάρτες και επιπρόσθετα δανείζεται υπολογιστικές διεργασίες από τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα. Είναι μία τεχνική ημιποσοτικής μοντελοποίησης, η οποία αναπαριστά τις υποθέσεις και αντιλήψεις για ένα συγκεκριμένο ζήτημα σε διαγραμματική μορφή ([Eden and Ackermann, 1998](#)), επιτρέποντας έτσι ad hoc δομή ([Brown, 1992](#)) και απεριόριστη ελευθερία.

Η εξέλιξη της μεθόδου βασίστηκε στην προσπάθεια απόδοσης ασαφούς χαρακτήρα στις αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των εννοιών ενός συστήματος: όπως σημειώνει ο [Kosko \(1986\)](#), η αιτιότητα υποθέτει βαθμούς ασάφειας και μπορεί να υφίσταται μερικώς, σπάνια, πολύ λίγο, πολύ, συνήθως, κλπ. Οι ΑΓΧ ποσοτικοποίησαν αυτήν την ασάφεια στις σχέσεις αιτιότητας, προσθέτοντας ένα βάρος αιτιότητας σε κάθε ακμή (διασύνδεση/σύνδεσμο), εξηγώντας έτσι τη δύναμη και κατεύθυνση (πρόσημο) των σχέσεων αυτών. Τα βάρη των σχέσεων του συστήματος συναποτελούν τον πίνακα βαρών του ΑΓΧ. Οι είσοδοι

αυτού του πίνακα μπορεί να είναι οποιασδήποτε αριθμητικής τιμής εντός του πεδίου $[-1, 1]$. Ένα βάρος συνδέσμου μεταξύ των εννοιών C_i και C_j λαμβάνει τιμή στο διάστημα $(0,1]$, εάν υπάρχει μία αιτιώδης σύνδεση από τον κόμβο C_i στον κόμβο C_j και μία αύξηση της τιμής του κόμβου C_i οδηγεί σε μία αύξηση της τιμής του κόμβου C_j . Διαφορετικά, το βάρος λαμβάνει τιμή εντός του διαστήματος $[-1,0)$, εάν μία αύξηση στην τιμή του κόμβου C_i οδηγεί σε μείωση της τιμής του κόμβου C_j .

Μετά τη σχεδίαση του ΑΓΧ, η οποία συνήθως πραγματοποιείται με τη βοήθεια εμπειρογνομόνων, η αιτιότητα ακολουθείται (ή καταγράφεται) μέσω προσομοιώσεων (Papageorgiou and Kontogianni, 2012) που καθοδηγούνται από διαφορετικά σενάρια ως «κλωνισμοί» ή «σοκ» στο σύστημα. Για την καταγραφή αυτής της μετάδοσης αιτιότητας, χρησιμοποιούνται μία συνάρτηση καθοδήγησης (ή ενεργοποίησης) της προσομοίωσης και μία συνάρτηση μεταφοράς (ή μετασχηματισμού ή κατωφλίου). Αυτές οι προσομοιώσεις ενδέχεται να συγκλίνουν σε ένα σταθερό σημείο, ή να οδηγήσουν σε ένα ανεπιθύμητο αποτέλεσμα (Dickerson and Kosko, 1994), ανάλογα με τη δομή του μοντέλου, τα βάρη των συνδέσμων και το διάλυμα αρχικής κατάστασης. Η ανάλυση στην πορεία «δοκιμάζει» το σύστημα υπό διαφορετικά σενάρια, αλλάζοντας μία από τις προαναφερθείσες διαστάσεις κάθε φορά. Συνήθως, οι εμπειρογνώμονες καλούνται να βοηθήσουν στη σχεδίαση της δομής του μοντέλου και να καθορίσουν τα βάρη των συνδέσμων, επομένως η ανάλυση περιλαμβάνει καταγραφή των αποτελεσμάτων για κάθε αλλαγή στο διάλυμα της αρχικής κατάστασης (π.χ. μέσω της εισαγωγής διαφορετικών σεναρίων). Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων μεταξύ των διαφορετικών σεναρίων μπορούν να υποστηρίξουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Stach et al., 2010).

Για τους σκοπούς της ενότητας και παρά της ευρύτερες υπολογιστικές δυνατότητες του εργαλείου ESQAPE που περιγράφονται στην Ενότητα 6.3, δύο συναρτήσεις ενεργοποίησης χρησιμοποιούνται. Η μία υπολογίζει την τιμή $A_j^{(t)}$ μίας έννοιας C_j στο τέλος μίας επανάληψης t ως το άθροισμα της τιμής της $A_j^{(t-1)}$ στην αρχή της επανάληψης και των συνεισφορών των αιτιωδών εννοιών $A_i^{(t-1)} w_{ij}$ στην αρχή της επανάληψης:

$$A_j^{(t)} = f\left(\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n A_i^{(t-1)} w_{ij} + A_j^{(t-1)}\right) \quad (1)$$

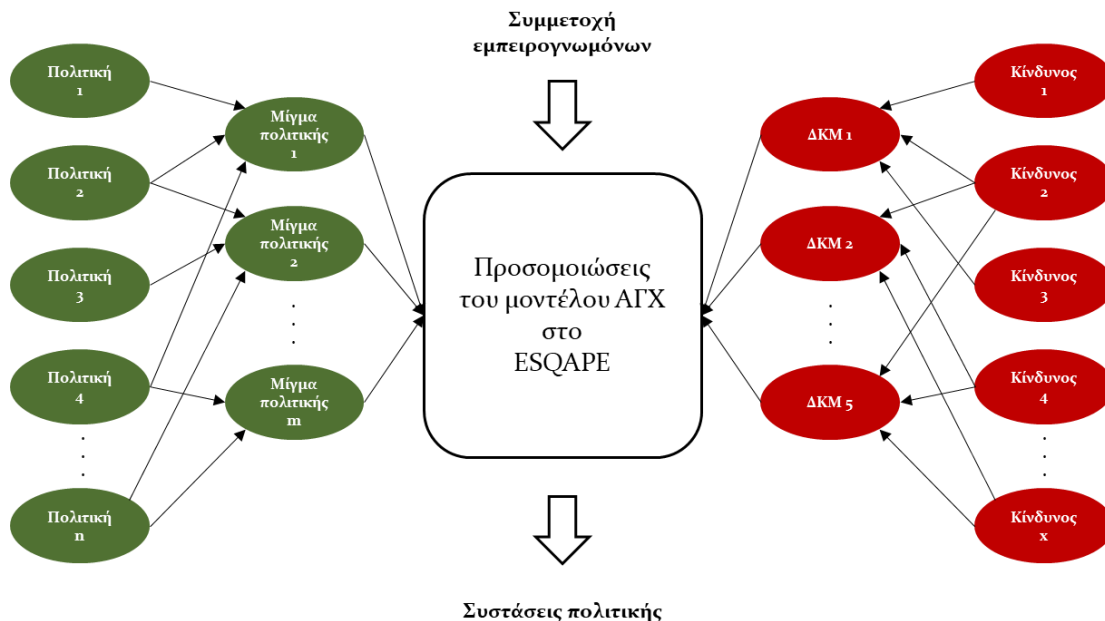
Η δεύτερη βασίζεται στη συνάρτηση που εισήχθη από τους Nikas and Doukas (2016) και μεταφράζει κάθε επανάληψη σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο, αντιστοιχίζοντας μία χρονική καθυστέρηση σε κάθε αιτιώδη σχέση:

$$A_j^{(t)} = f\left(\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n A_i^{(t-lag_{ij})} w_{ij} + A_j^{(t-1)}\right) \quad (2)$$

Τέλος, η υπερβολική εφαιπτομένη χρησιμοποιείται ως συνάρτηση μεταφοράς που μεταφέρει όλες τις τιμές στο τέλος κάθε επανάληψης στο επιθυμητό διάστημα $[-1, 1]$, παρότι στη βιβλιογραφία συνήθως χρησιμοποιείται η σιγμοειδής συνάρτηση για μεταφορά όλων των τιμών στο διάστημα $[0, 1]$.

6.2.2 Μεθοδολογικό πλαίσιο

Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο απεικονίζεται στην [Εικόνα 6.1](#). Ξεκινάει με την αναγνώριση των μέτρων πολιτικής καθώς και των στρατηγικών πολιτικής που αποτελούνται από αυτά τα μέτρα πολιτικής και που ο αναλυτής επιθυμεί να συγκρίνει μεταξύ τους, δηλαδή εστιασμένα μίγματα πολιτικής που περιλαμβάνουν τα μέτρα πολιτικής ενεργοποιημένα (χρηματοδοτημένα) σε διαφορετικά επίπεδα εντός του διαστήματος $[-1, 1]$. Στη συνέχεια, αναγνωρίζονται οι βασικότεροι κίνδυνοι υλοποίησης (μέσω βιβλιογραφικής έρευνας, συμμετοχικών διαδικασιών εξαγωγής της γνώσης των εμπειρογνομόνων, ή άλλων εργαλείων που προηγούνται του σταδίου των ΑΓΧ σε μία ολοκληρωμένη προσέγγιση), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση διαφορετικών κοινωνικοοικονομικών σεναρίων. Στο πλαίσιο του συνόλου της παρούσας διδακτορικής διατριβής, η ποσοτικοποίηση των κινδύνων των σεναρίων στο διάστημα $[-1, 1]$ πραγματοποιείται μέσω της αντιστοίχισης των κινδύνων με τους παράγοντες που διαμορφώνουν τα αφηγήματα που περιγράφουν τα πέντε ΔΚΜ (O'Neill et al., 2014), τα οποία χρησιμοποιούνται εκτενώς στις μελέτες μοντελοποίησης κλίματος-οικονομίας και ενεργειακών συστημάτων. Με τη συμμετοχή των εμπειρογνομόνων, σχεδιάζεται το μοντέλο ΑΓΧ και προσδιορίζονται τα βάρη αιτίου-αποτελέσματος των διασυνδέσεων. Τέλος, τα μέτρα πολιτικής και οι κίνδυνοι που διαμορφώνουν τα μίγματα πολιτικής και τα σεναρία, αντίστοιχα, χρησιμοποιούνται για να οδηγήσουν τις προσομοιώσεις των ΑΓΧ, παράγοντας εν τέλει συγκεκριμένες συστάσεις πολιτικής, αναφορικά με την αποτελεσματικότητα κάθε στρατηγικής πολιτικής σε κάθε ένα εκ των πέντε κοινωνικοοικονομικών σεναρίων. Εδώ, μία βήμα-προς-βήμα υλοποίηση αυτής της διαδικασίας πραγματοποιείται στις [Ενότητες 6.4](#) και [6.5](#).



Εικόνα 6.1 Προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο ΑΓΧ.

6.3 Το εργαλείο ESQAPE

Το ελεύθερο και ανοικτού κώδικα εργαλείο ESQAPE (Expertise-driven Semi-Quantitative Analysis for Policy Evaluation) αποτελεί μία εφαρμογή της MATLAB για την δημιουργία, τροποποίηση, οπτικοποίηση και προσομοίωση των ΑΓΧ. Οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκε η MATLAB ως

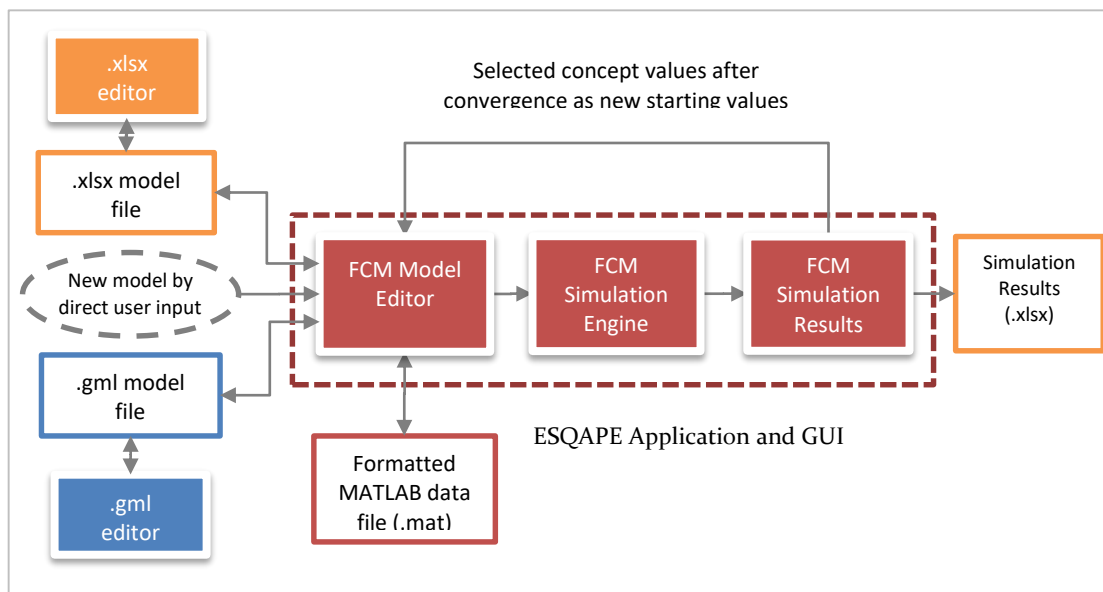
πλατφόρμα υλοποίησης, όπως και στην περίπτωση του MATISE (Κεφάλαιο 5) περιλαμβάνουν την δυνατότητα ταχείας πρωτοτυποποίησης εφαρμογών καθώς και το πλούσιο σύνολο των διαθέσιμων βιβλιοθηκών για είσοδο/έξοδο, γραφικά περιβάλλοντα διεπαφής χρηστών, υπολογισμό και απεικόνιση.

Στην ευρύτερη βιβλιογραφία, υπάρχουν πολλές διαθέσιμες λύσεις για τη σχεδίαση και προσομοίωση ΑΓΧ. Ήδη από πολύ νωρίς, όταν η δυνατότητα γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής χρήστη και οπτικοποίησης ήταν περιορισμένη, οι ερευνητές εστίαζαν στην εισαγωγή αλγορίθμων εκμάθησης για την προσαρμογή του συνόλου βαρών ΑΓΧ, όπως το FCM Modeler (Mohr, 1997). Παρόμοιες δυνατότητες περιλήφθηκαν σε σύγχρονα, πιο ανεπτυγμένα σε όρους γραφικών εργαλεία, όπως το FCM Tool (León et al., 2011) που βασίστηκε στην Java και χρησιμοποιήθηκε στη σχεδίαση σύνθετων μοντέλων, το ISEMK (Poczęta et al., 2015) και το FCM Expert (Nápoles et al., 2017). Άλλα εργαλεία, ωστόσο, εστίασαν στην επιλογή της συνάρτησης μεταφοράς και κανόνων διακοπής, όπως τα FCM-Analyst (Margaritis et al., 2002) και FCM Designer (Aguilar and Contreras, 2010), χωρίς να περιλαμβάνουν τεχνικές εκμάθησης και βελτιστοποίησης των ΑΓΧ. Παρά τους περιορισμούς σε όρους προσομοίωσης, το Mental Modeler (Gray et al., 2013) υπήρξε η πρώτη εφαρμογή σχεδίασης ΑΓΧ προσαρμοσμένη στις ανάγκες των μη ειδικών, διαθέτοντας μία φιλική προς τον χρήστη διαδικτυακή διεπαφή. Τέλος, ο De Franciscis (2014) έδωσε έμφαση στην δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης, αναπτύσσοντας το JFCM, μία βιβλιοθήκη της Java με τη δυνατότητα φόρτωσης δικτύων από αρχεία XML, η οποία όμως απαιτούσε τεχνική γνώση και προγραμματιστικές δεξιότητες. Το εργαλείο ESQAPE δεν περιλαμβάνει αλγορίθμους εκμάθησης για την τροποποίηση των βαρών του ΑΓΧ, εφόσον αποσκοπεί στην ανάλυση πολιτικών με βάση τη γνώση των εμπειρογνομώνων, δηλαδή το γνωστικό κομμάτι της διεργασίας, ως κατευθυντήρια δύναμη των προσομοιώσεων. Ωστόσο, δανείζεται επιθυμητές καινοτομίες από όλες τις προαναφερθείσες εφαρμογές, ενώ εισάγει νέες, περιλαμβάνοντας (όπως αναλύθηκε νωρίτερα):

- Ένα φιλικό προς τον χρήστη γραφικό περιβάλλον διεπαφής για ειδικούς και μη
- Φορητότητα και δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης, μέσω της εισαγωγής και εξαγωγής διαφορετικών τύπων αρχείων για την αποθήκευση της δομής ενός ΑΓΧ και των δεδομένων του
- Εκτενείς δυνατότητες ρύθμισης και παραμετροποίησης του ΑΓΧ, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής ανάμεσα σε πολλαπλές συναρτήσεις ενεργοποίησης και μεταφοράς, της ρύθμισης του αριθμού των επαναλήψεων ως κανόνα διακοπής
- Δυνατότητα καθορισμού των εννοιών πολιτικών και σεναρίων, οι οποίες παραμένουν σταθεροί οδηγοί των προσομοιώσεων
- Μία καθορισμένη αναπαράσταση της έννοιας του χρόνου
- Προχωρημένη οπτικοποίηση με εσωτερική δυνατότητα απεικόνισης αλλά και δυνατότητα εξαγωγής τυποποιημένων αρχείων GML
- Προχωρημένη δυνατότητα παραγωγής έκθεσης αποτελεσμάτων και ανάλυσης
- Δυνατότητα εναλλαγής μεταξύ δομημένης και οπτικής μορφής

Μέρος του κώδικα λειτουργικότητας και του γραφικού περιβάλλοντος του ESQAPE βασίστηκαν σε δύο προηγούμενες εφαρμογές ανοικτού κώδικα, το MATISE (Nikas et al., 2017) που αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 5 και το FCM Tool (Papaioannou et al., 2010).

Η βασική περίπτωση χρήσης της εφαρμογής περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια: την είσοδο του μοντέλου ΑΓΧ, όπου ο χρήστης δημιουργεί ή εισάγει ένα μοντέλο ΑΓΧ στην εφαρμογή και τροποποιεί τη δομή και τις παραμέτρους του· την προσομοίωση του μοντέλου και τη σύγκλιση του δικτύου, στην οποία η εφαρμογή προσομοιώνει τη διάδραση μεταξύ των κόμβων εννοιών του ΑΓΧ επαναληπτικά έως ότου το δίκτυο να σταθεροποιηθεί, ή να καταλήξει σε μία ατέρμονη κατάσταση, ή να διακοπεί έχοντας φτάσει τον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων· και την έξοδο των αποτελεσμάτων, στην οποία τα αποτελέσματα εξάγονται σε ένα αρχείο δεδομένων ή σε οπτική μορφή. Οι τρεις βασικές λειτουργίες αντικατοπτρίζονται στη λογική δομή της εφαρμογής και τις διαδράσεις της με τον χρήστη, όπως φαίνεται στην [Εικόνα 6.2](#).



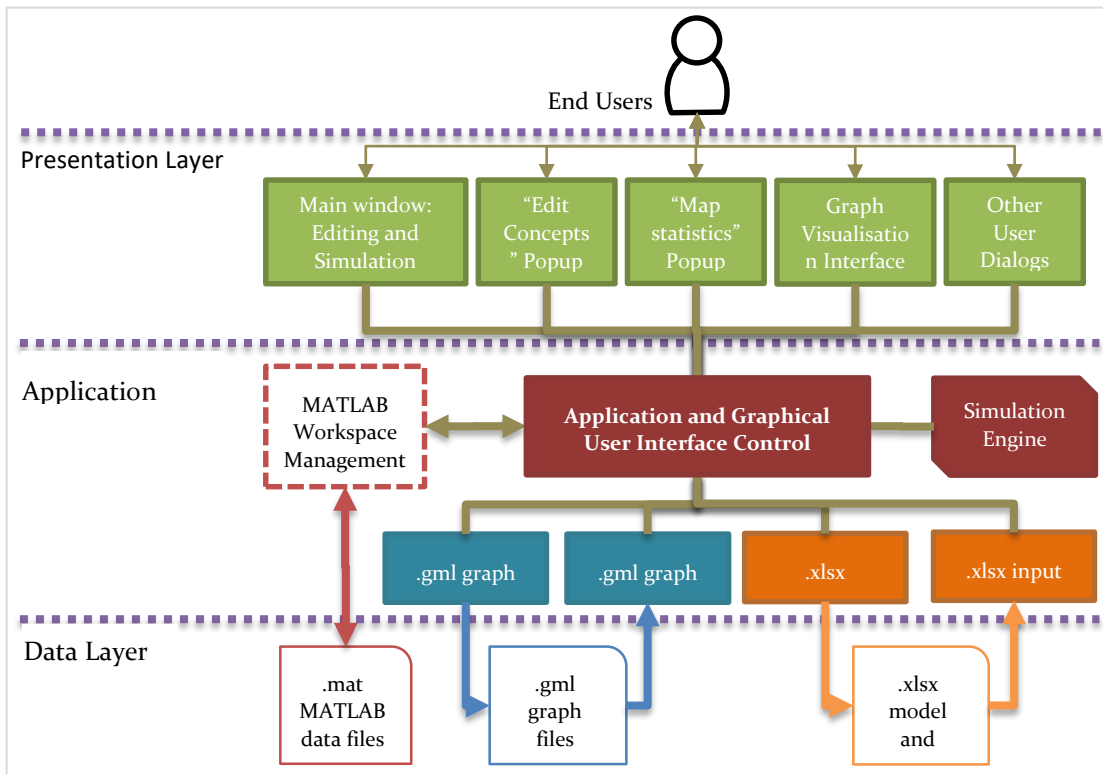
Εικόνα 6.2 Λογική αρχιτεκτονική εφαρμογής ESQAPE.

Στην πλευρά εισόδου, οι χρήστες μπορούν να εισάγουν ειδικά διαμορφωμένα XLSX ή GML αρχεία (από εφαρμογές όπως Microsoft Excel και yEd Graph Editor) μέσα στον FCM Model Editor. Αυτή η ροή δεδομένων είναι αμφίδρομη: οποιοδήποτε (έγκυρο) μοντέλο στον Editor μπορεί να εξαχθεί ως συμβατό υπολογιστικό φύλλο ή αρχείο GML. Ο Editor μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία νέων μοντέλων εξ ολοκλήρου μέσα από το ESQAPE. Οι παράμετροι του μοντέλου μπορούν να αποθηκευτούν σε ένα διαμορφωμένο αρχείο MATLAB (MAT) και να επανακτηθούν αργότερα.

Το μοντέλο εκτελείται μέσα από την μηχανή προσομοίωσης ΑΓΧ, η οποία παρέχει ένα σύνολο από αποτελέσματα σύγκλισης, δηλαδή από τελικά διανύσματα τιμών των εννοιών ενός σταθερού ΑΓΧ. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μπορούν εν συνεχεία να απεικονιστούν στην εφαρμογή και να εξαχθούν σε ένα νέο υπολογιστικό φύλλο. Ο χρήστης μπορεί επίσης να επιλέξει να μεταφέρει μέρος (ή το σύνολο) των τελικών τιμών των εννοιών στο αρχικό μοντέλο, ώστε να επανεκτελέσει την προσομοίωση.

Η εφαρμογή παρέχει την λειτουργικότητά της μέσω ενός γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής χρήστη. Η κύρια διεπαφή αποτελείται από δυο κύρια παράθυρα, τον Model Editor και τα Αποτελέσματα, καθώς και από μία μπάρα επιλογών και ένα σύνολο εξειδικευμένων αναδυόμενων παραθύρων.

Αυτή η αρχιτεκτονική, οργανωμένη με βάση το τυπικό παράδειγμα πολυεπίπεδης εφαρμογής λογισμικού (n-tier architecture), παρουσιάζεται στην [Εικόνα 6.3](#).

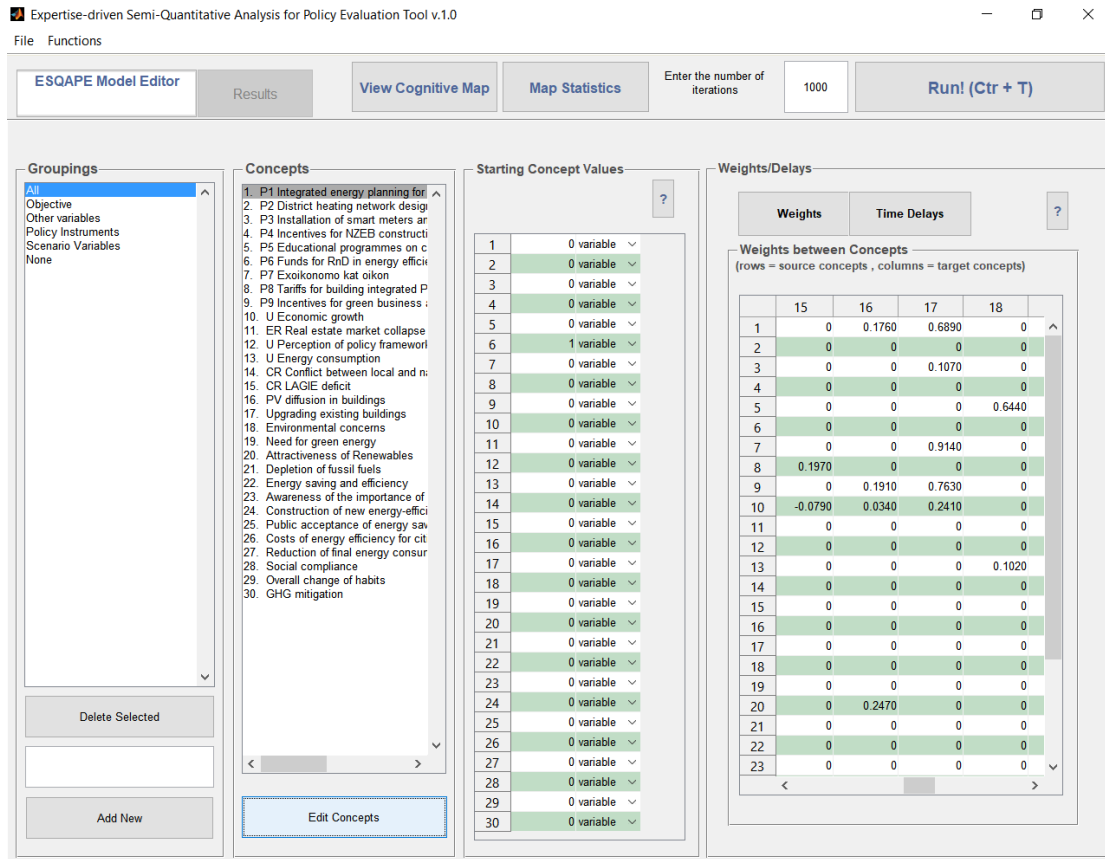


Εικόνα 6.3 Αρχιτεκτονική λογισμικού ESQAPE.

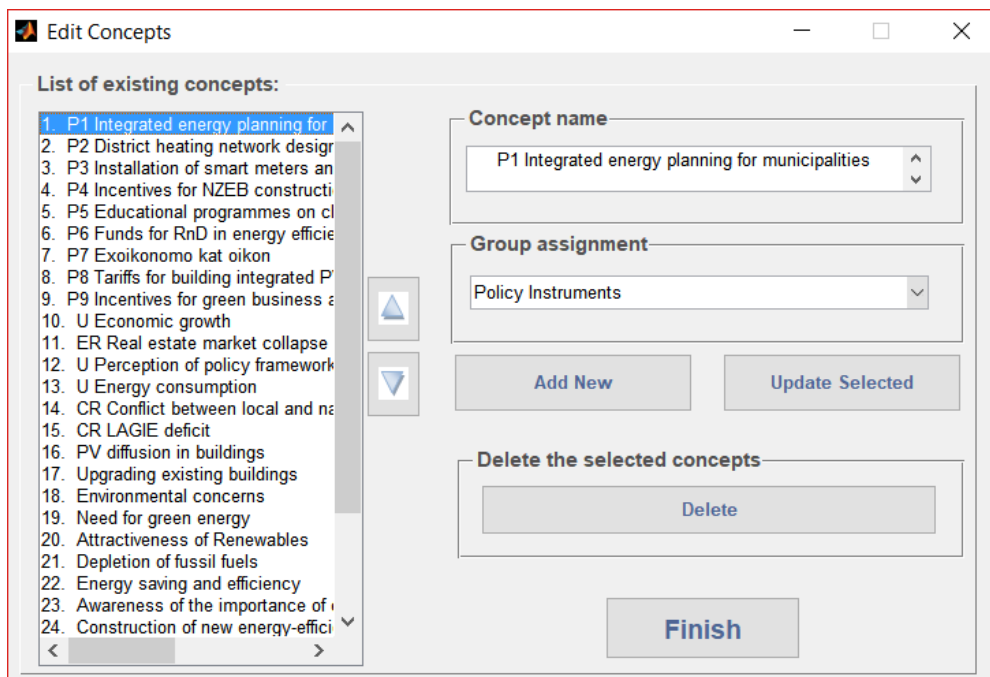
Το παράθυρο Model Editor του ESQAPE περιλαμβάνει εργαλεία και στοιχεία διεπαφής για την τροποποίηση ενός μοντέλου (είτε ενός νέου μοντέλου είτε ενός μοντέλου εισηγμένου από αρχείο XLSX, GML ή MAT). Οι χρήστες μπορούν να προσθέσουν ή να αφαιρέσουν δομικά στοιχεία, καθώς και να προσθέσουν, αφαιρέσουν ή μετονομάσουν κόμβους και να αναθέσουν κόμβους σε δομικά στοιχεία. Για κάθε κόμβο, η εφαρμογή επιτρέπει στον χρήστη να τροποποιήσει τις αρχικές τιμές, καθώς και τους πίνακες βαρών και χρονικής καθυστέρησης, απευθείας μέσα από την εφαρμογή (Εικόνα 6.4). Το παράθυρο διαιρείται σε τέσσερα μέρη: τα δομικά στοιχεία ή ομαδοποιήσεις, όπου οι κόμβοι του μοντέλου ΑΓΧ μπορούν να ανατεθούν σε συγκεκριμένες ομάδες ή να μην ανατεθούν σε καμία ώστε να διευκολύνεται η εννοιολογική οργάνωση του μοντέλου και η απεικόνισή του σε οπτική μορφή· τους κόμβους, όπου αναγράφεται μία λίστα των εννοιών του μοντέλου με βάση την επιλογή στη λίστα των δομικών στοιχείων, και οι χρήστες μπορούν να προσθέσουν και τροποποιήσουν έννοιες μέσα από την κατάλληλη διεπαφή (Εικόνα 6.5)· τις αρχικές τιμές κόμβων, όπου μία λίστα αναγράφει τις αρχικές τιμές όλων των κόμβων που χρησιμοποιούνται για τη σύγκλιση του δικτύου του ΑΓΧ, και ο χρήστης δύναται να αναθέσει αρχικές τιμές ή να επιλέξει εάν οι τιμές θα παραμένουν σταθερές (πολιτικές/κίνδυνοι) ή θα μεταβάλλονται (άλλα στοιχεία του ΑΓΧ)· και τα βάρη/καθυστερήσεις, όπου αναγράφονται οι δύο τύποι συσχετίσεων μεταξύ των κόμβων στον ΑΓΧ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο καθορισμός του τύπου κάθε έννοιας, ως σταθερής ή μεταβλητής, είναι κρίσιμης σημασίας στους ΑΓΧ και συνήθως παραβλέπεται στη βιβλιογραφία: εξαιτίας της φύσης των συναρτήσεων μεταφοράς, ο μη καθορισμός ενός κόμβου ως πολιτικής ή παράγοντα σεναρίου (δηλαδή ως σταθερού) θα οδηγήσει σε πανομοιότυπα αποτελέσματα ανεξαρτήτως αρχικού διανύσματος. Επομένως, τα βάρη υποδεικνύουν το μέγεθος της θετικής ή αρνητικής επίδρασης των τιμών εννοιών μεταξύ τους, ως μία δεκαδική τιμή στο διάστημα $[-1, 1]$, ενώ οι χρονικές καθυστερήσεις αντιστοιχίζονται στην καθυστέρηση της επίδρασης αυτής σε όρους επαναλήψεων προσομοίωσης. Για παράδειγμα, η τιμή «1» σημαίνει ότι η επίδραση λαμβάνει χώρα στην επόμενη επανάληψη, ενώ μία τιμή «2» αντιστοιχεί

σε μία καθυστέρηση δύο επαναλήψεων, κλπ. Η λειτουργικότητα χρονικής καθυστέρησης βασίζεται στους Nikas and Doukas (2016), οι οποίοι επεσήμαναν τη σημασία θεώρησης της διάστασης του χρόνου, κατά την αξιολόγηση των αντιληφθέντων επιδράσεων των σοκ πολιτικής σε ένα σύστημα, ειδικότερα στον χώρο της κλιματικής πολιτικής.

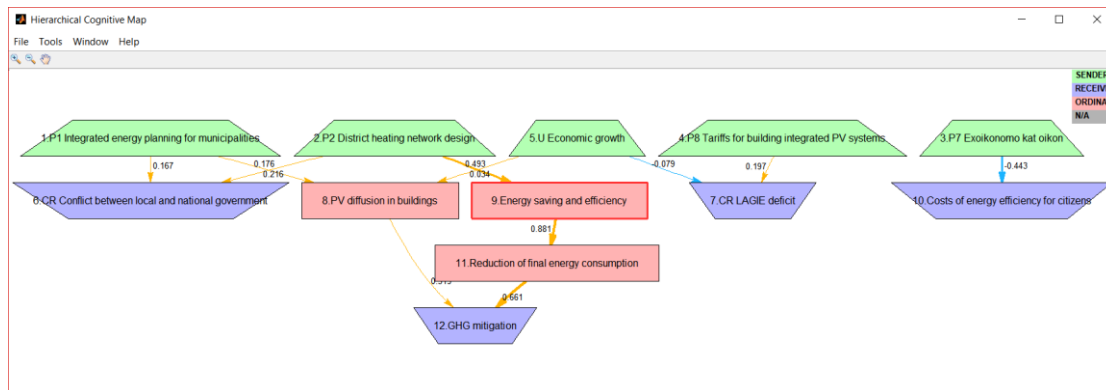


Εικόνα 6.4 Το παράθυρο ESQAPE Model Editor .



Εικόνα 6.5 Το αναδυόμενο παράθυρο τροποποίησης κόμβων.

Η εφαρμογή δύναται επίσης να δημιουργήσει την απεικόνιση του γράφου ΑΓΧ στο παράθυρο Model Editor, όπως φαίνεται στην [Εικόνα 6.6](#).

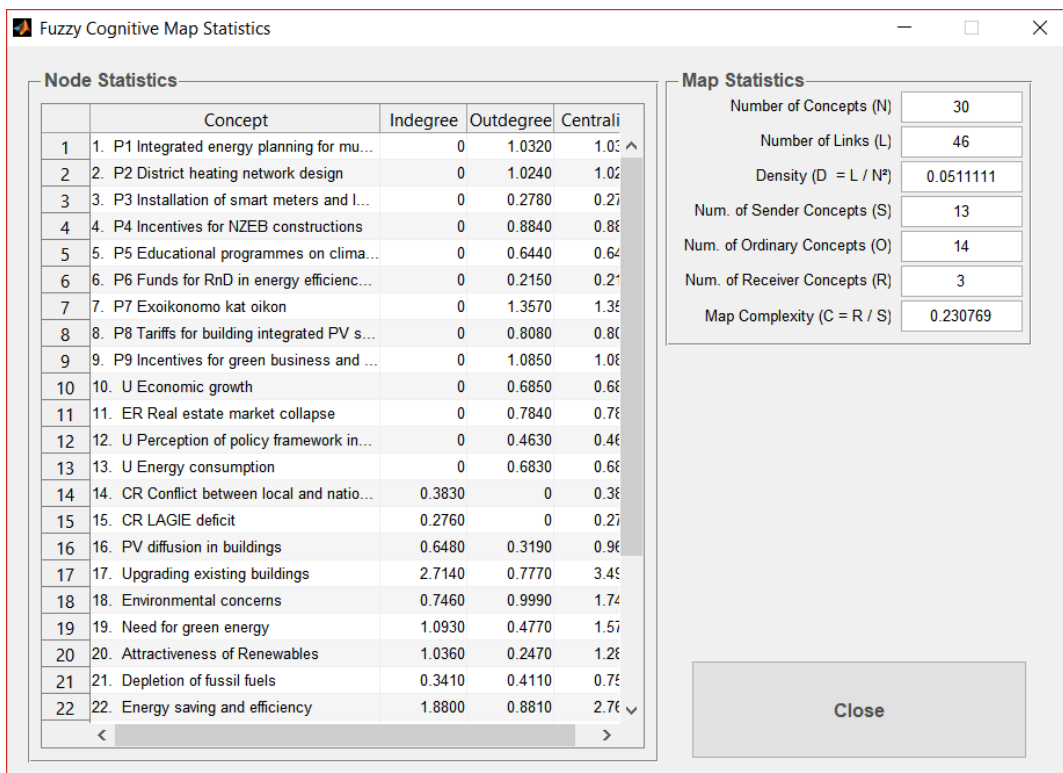


Εικόνα 6.6 Παράδειγμα οπτικοποίησης γράφου ΑΓΧ (με βάρη, ιεραρχική διάταξη).

Το εργαλείο ESQAPE χρησιμοποιεί ένα σύνολο γραφικών συμβάσεων για τη διευκόλυνση της κατανόησης του ΑΓΧ. Οι *πομποί* (*senders*), με εξερχόμενες αλλά όχι εισερχόμενες επιδράσεις, απεικονίζονται με πράσινα τραπέζια· οι *τυπικοί* (*ordinary*) *κόμβοι*, οι οποίοι φέρουν τόσο εξερχόμενες όσο και εισερχόμενες επιδράσεις, απεικονίζονται με κόκκινα ορθογώνια· και οι *δέκτες* (*receivers*), με εισερχόμενες αλλά όχι εξερχόμενες επιδράσεις, απεικονίζονται με μπλε ανεστραμμένα τραπέζια. Οι θετικές επιδράσεις απεικονίζονται με πορτοκαλί γραμμές, ενώ οι αρνητικές επιδράσεις με μπλε γραμμές. Το πάχος της γραμμής αντιστοιχεί στο μέγεθος του βάρους της επίδρασης. Τα σχήματα, χρώματα και μορφοποιήσεις γραμμών επιλέχθηκαν για να μεγιστοποιήσουν την σαφήνεια και προσβασιμότητα.

Πέραν της λειτουργίας οπτικοποίησης, η εφαρμογή μπορεί να υπολογίσει ένα σύνολο στατιστικών δεικτών που βασίζονται σε ιδιότητες της δομής του γράφου ([Εικόνα 6.7](#)): αυτοί οι δείκτες της θεωρίας γράφων αποτελούν έναν χρήσιμο τρόπο ανάλυσης της δομής και πολυπλοκότητας ενός χάρτη ([Özesmi and Özesmi, 2003](#)). Για κάθε κόμβο, η εφαρμογή δύναται να υπολογίσει τον *βαθμό εισόδου* (*indegree*), ως το άθροισμα των απόλυτων βαρών των εισερχόμενων ακμών του ΑΓΧ· τον *βαθμό εξόδου* (*outdegree*), ως το άθροισμα των απόλυτων βαρών των εξερχόμενων ακμών του ΑΓΧ· και την *κεντρικότητα* (*centrality*) ενός κόμβου, ως το άθροισμα των βαθμών εισόδου και εξόδου του. Για ολόκληρο τον ΑΓΧ, η εφαρμογή μπορεί να υπολογίσει και να αναγράψει:

- Τον αριθμό των κόμβων (N) και τον αριθμό των συνδέσμων (L)
- Την πυκνότητα του χάρτη ($D = L/N^2$);
- Τον αριθμό των πομπών (S), δεκτών (R) και τυπικών κόμβων (O)
- Την πολυπλοκότητα του χάρτη ως ποσοστό των δεκτών επί των πομπών (με την υπόθεση ότι υπάρχει τουλάχιστον ένας πομπός).



Εικόνα 6.7 Το αναδυόμενο παράθυρο στατιστικών δεικτών.

Τα μοντέλα μπορούν να εξαχθούν και εισαχθούν ως υπολογιστικά φύλλα ή αρχεία γράφων. Αυτά περιλαμβάνουν ειδικώς διαμορφωμένα αρχεία Microsoft Excel (XLS/XLSX) ή Graph Modelling Language (GM), τα οποία μπορούν να προσπελαστούν και τροποποιηθούν από τρίτες εφαρμογές. Επίσης, το εργαλείο ESQAPE μπορεί να αποθηκεύσει και να ανακτήσει τον χώρο εργασίας ενός μοντέλου ως αρχεία MATLAB (MAT).

Οι τιμές των κόμβων που προκύπτουν από την προσομοίωση υπολογίζονται σε δύο στάδια, το στάδιο «Ενεργοποίησης» και το στάδιο «Μεταφοράς».

Στο πρώτο, η τιμή του κόμβου υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψιν την προηγούμενη τιμή του και την επιρροή άλλων διασυνδεδεμένων μαζί του κόμβων, ανάλογα με την συνάρτηση ενεργοποίησης που επιλέγεται:

- “ $A = A * W$ ”: η τιμή ενός κόμβου προκύπτει από το άθροισμα των τιμών των εννοιών από τις οποίες δέχεται κάποια αιτιώδη επίδραση πολλαπλασιασμένο επί τα βάρη κάθε επίδρασης (όπως δηλώνεται στον πίνακα βαρών). Αυτή η συνάρτηση ενεργοποίησης υποθέτει ότι δεν υπάρχει «μνήμη» της προηγούμενης τιμής κάθε κόμβου, η οποία υπολογίζεται ανεξάρτητα σε κάθε επανάληψη.
- “ $A = A + A * W$ ”: η τιμή ενός κόμβου προκύπτει από το άθροισμα της τιμής του κόμβου κατά την προηγούμενη επανάληψη με τις τιμές των κόμβων που επιδρούν πάνω σε αυτόν πολλαπλασιασμένες με τα βάρη της σχέσης που τους συνδέει.

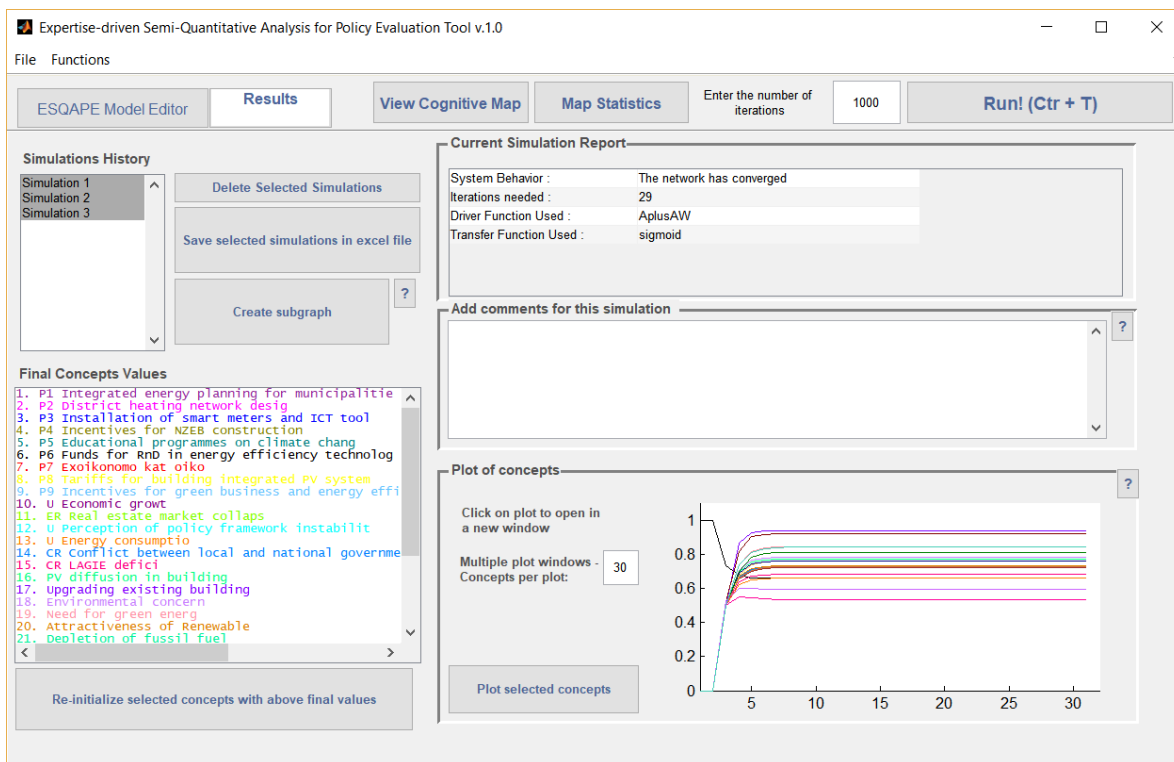
Στο δεύτερο, η υπολογισθείσα τιμή ενός κόμβου κανονικοποιείται ανάλογα με τη συνάρτηση μεταφοράς που επιλέγεται:

- “Sigmoid”: η σιγμοειδής συνάρτηση χρησιμοποιείται για να συμπιέσει τις τιμές από το $(-\infty, \infty)$ στο επιθυμητό διάστημα $[0,1]$.
- “Tanh”: η τελική τιμή ισούται με την υπερβολική εφαπτομένη της υπολογισθείσας στο στάδιο ενεργοποίησης τιμής.
- “Bivalent”: εάν η υπολογισθείσα τιμή είναι ίση ή μικρότερη του μηδενός, τότε λαμβάνει την τιμή μηδέν, αλλιώς την τιμή 1.
- “Trivalent”: εάν η υπολογισθείσα τιμή είναι μικρότερη ή ίση του -0.5 , τότε λαμβάνει την τιμή -1 · εάν είναι μεταξύ -0.5 και 0.5 , τότε λαμβάνει την τιμή 0 · ενώ διαφορετικά (ίση ή μεγαλύτερη του 0.5) λαμβάνει την τιμή 1.
- “None”: Δεν χρησιμοποιείται συνάρτηση μεταφοράς.

Σε αυτήν τη διαδικασία, οι χρονικές καθυστερήσεις αντιστοιχούν στη χρονική μετάθεση της επιρροής ενός κόμβου σε έναν άλλο. Κανονικά, υποτίθεται η χρονική καθυστέρηση μίας επανάληψης, δηλαδή μία επιρροή υποτίθεται ότι πραγματοποιείται μεταξύ δύο επαναλήψεων. Μεγαλύτερες καθυστερήσεις εξαναγκάζουν το στάδιο ενεργοποίησης να λάβει υπόψιν τιμές από προηγούμενες επαναλήψεις.

Το εργαλείο εφαρμόζει τα στάδια ενεργοποίησης και μεταφοράς επαναληπτικά, έως ότου το δίκτυο συγκλίνει σε μία σταθερή κατάσταση, δηλαδή δεν υπάρχει καμία αλλαγή στις τιμές των κόμβων μεταξύ επαναλήψεων, ή μέχρι να ολοκληρωθεί ένας μέγιστος αριθμός επαναλήψεων που ορίζεται από τον χρήστη.

Μόλις η διαδικασία ολοκληρωθεί, η εφαρμογή επιστρέφει το παράθυρο των αποτελεσμάτων (Εικόνα 6.8). Το παράθυρο αποτελεσμάτων περιλαμβάνει μία αναφορά επί των αποτελεσμάτων προσομοίωσης, παρέχοντας την κατάσταση του συστήματος στο τέλος της προσομοίωσης (σύγκλιση, ατέρμων κύκλος, ή ολοκλήρωση του μέγιστου αριθμού επαναλήψεων), τον αριθμό των επαναλήψεων, τη συνάρτηση ενεργοποίησης και τη συνάρτηση μεταφοράς που επιλέχθηκαν. Επίσης, παρέχει έναν τομέα σχολίων, όπου οι χρήστες μπορούν να εισάγουν οποιοδήποτε σχόλιο επιθυμούν για οποιαδήποτε προσομοίωση, τη γραφική παράσταση των τιμών όλων των κόμβων του ΑΓΧ από την αρχή έως το τέλος της προσομοίωσης, μία λίστα των κόμβων και τις τελικές τιμές τους στο τέλος της προσομοίωσης. Οι κόμβοι, προς διευκόλυνση της επίβλεψης, λαμβάνουν ίδια χρώματα μεταξύ λίστας και γραφικής παράστασης. Ορισμένες ή όλες οι τελικές τιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αρχικές τιμές για την επανεκκίνηση του μοντέλου. Στο πάνω αριστερά τμήμα, το παράθυρο των αποτελεσμάτων παρέχει το ιστορικό των πραγματοποιηθεισών προσομοιώσεων, διευκολύνοντας τους χρήστες στη σύγκριση των αποτελεσμάτων, π.χ. κατόπιν τροποποίησης των παραμέτρων ή της δομής του μοντέλου. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κάθε μία εκ των προσομοιώσεων για να αποκτήσει πρόσβαση στα αντίστοιχα αποτελέσματα. Επιπρόσθετες λειτουργίες περιλαμβάνουν τη διαγραφή συγκεκριμένων προσομοιώσεων από τη λίστα, τη δημιουργία γραφικής παράστασης ενός υπο-γράφου που περιλαμβάνει τους κόμβους με μη μηδενικές τελικές τιμές, και την εξαγωγή ενός συνόλου επιλεγμένων προσομοιώσεων και των αποτελεσμάτων τους αναλυτικά σε ένα υπολογιστικό φύλλο Excel.



Εικόνα 6.8 Το παράθυρο αποτελεσμάτων του ESQAPE.

6.4 Αξιολόγηση μιγμάτων ενεργειακής πολιτικής

6.4.1 Πλαίσιο εφαρμογής

Σε αυτήν την ενότητα, διαμορφώνονται τρία διαφορετικά μίγματα πολιτικής που αποσκοπούν στη μεγιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας στην Ελλάδα, τα οποία αποτελούνται από οκτώ μέτρα και παρεμβάσεις πολιτικής του πρόσφατου ΕΣΔΕΑ (Hellenic Ministry of Environment and Energy, 2017), βάσει των προτιμήσεων των εμπλεκόμενων ενδιαφερόμενων φορέων σε προκαταρκτικές συνεντεύξεις. Τα μίγματα πολιτικής, αποτελούμενα από αυτά τα οκτώ μέτρα ενεργοποιημένα σε διαφορετικά επίπεδα, αντιπροσωπεύουν στρατηγικές που στοχεύουν όλους τους πιθανούς τομείς (οικιακό, ιδιωτικό και δημόσιο). Οκτώ κίνδυνοι υλοποίησης που δύνανται να απειλήσουν τη σχεδίαση, υλοποίηση και επιτυχία των μέτρων πολιτικής λαμβάνονται από τη βιβλιογραφία (Forouli et al., 2019), βάσει των οποίων διαμορφώνονται πέντε κοινωνικοοικονομικά σενάρια. Κατά τη διάρκεια μίας ειδικά διαμορφωμένης συνεδρίας συμμετοχής εμπειρογνομόνων, σε μία ημερίδα που έλαβε χώρα στην Αθήνα και απευθυνόταν σε φορείς χάραξης πολιτικής και άλλους ενδιαφερόμενους φορείς, σχεδιάστηκε το μοντέλο ΑΓΧ και λήφθηκαν τα βάρη και οι καθυστερήσεις των αιτιωδών διασυνδέσεων. Εν τέλει, το μοντέλο δοκιμάζεται έναντι καθενός εκ των σεναρίων για τις τρεις στρατηγικές, με τη χρήση του ESQAPE, με σκοπό την κατάταξη των στρατηγικών από την οπτική γωνία των εμπειρογνομόνων, λαμβάνοντας επίσης υπόψιν την ευρωστία κάθε μίας στρατηγικής έναντι όλων των πιθανών μελλοντικών εξελίξεων.

6.4.2 Μίγματα πολιτικής

Με βάση το 4^ο ΕΣΔΕΑ, επιλέγονται τα ακόλουθα μακροπρόθεσμα μέτρα πολιτικής.

P1. Οικονομικά κίνητρα για τον οικιακό τομέα: ο σκοπός αυτού του μέτρου είναι η παροχή οικονομικής στήριξης σε ιδιοκτήτες κατοικιών και πολυκατοικιών ή διαμερισμάτων για την λήψη δράσεων ενεργειακών αναβαθμίσεων και την απόκτηση πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ). Ο συγκεκριμένος μηχανισμός παρέχει στους δικαιούχους οικονομική βοήθεια μέσω της ποσοστιαίας χρηματοδότησης σε συνδυασμό με δάνεια από κατάλληλα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα. Τα κριτήρια επιλογής αφορούν στην αρχική κατάσταση και ενεργειακή κατηγορία καθώς και το εισόδημα του δικαιούχου. Οι υποστηριζόμενες δράσεις οφείλουν να οδηγήσουν σε συγκεκριμένες, μετρήσιμες ενεργειακές αναβαθμίσεις της κατοικίας, και συνήθως περιλαμβάνουν βελτιώσεις στο κέλυφος, τα συστήματα θέρμανσης/ψύξης και τα συστήματα θέρμανσης νερού.

P2. Έργα ενεργειακής απόδοσης και επίδειξης σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις (ΜΜΕ) και μέτρα στήριξης: Αυτό το μέτρο απευθύνεται σε ΜΜΕ και αποσκοπεί στην επίτευξη ενεργειακών αναβαθμίσεων σε κτίρια του ιδιωτικού τομέα. Οι προτεινόμενες δράσεις περιλαμβάνουν την αναβάθμιση του κελύφους του κτιρίου, τον ηλεκτρομηχανικό εξοπλισμό και τον φωτισμό, καθώς και την εφαρμογή κτιριακών συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης (ΚΣΕΔ). Όπως με την πολιτική P1, παρέχει χρηματοδότηση μέσω ποσοστιαίας επιδότησης, το ποσοστό της οποίας όμως εξαρτάται από την τοποθεσία της δικαιούχου ΜΜΕ και των αναγνωρισμένων απαιτούμενων δράσεων.

P3. Εφαρμογή συστήματος ενεργειακής διαχείρισης με βάση το πρότυπο ISO 50001 σε φορείς του Δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα: Αυτή η πολιτική παρέχει οικονομική στήριξη για κτίρια του ευρύτερου δημόσιου τομέα, με σκοπό την εφαρμογή ενός ΚΣΕΔ, με βάση το διεθνές πρότυπο ISO 50001.

P4. Ενεργειακή αναβάθμιση σε κτίρια επαγγελματικής χρήσης μέσω Επιχειρήσεων Ενεργειακών Υπηρεσιών (ΕΕΥ): Αυτό το μέτρο αποσκοπεί στην περαιτέρω ανάπτυξη της αγοράς των ΕΕΥ μέσω συμβολαίων ενεργειακής εξοικονόμησης, και της διαμόρφωσης ενός πλεονεκτικού πλαισίου για αντίστοιχες επενδύσεις, μέσω επιδοτούμενων επιτοκίων ή παροχής εγγυήσεων, με στόχο την υλοποίηση έργων ενεργειακής αναβάθμισης σε κτίρια επαγγελματικής χρήσης που θα αποπληρώνονται σταδιακά μέσω της επιτευχθείσας εξοικονόμησης και σύμφωνα με τα οριζόμενα στην σύμβαση ενεργειακής απόδοσης.

P5. Ευρεία διάχυση ευφύων συστημάτων μέτρησης ενέργειας: Αυτή η πολιτική αφορά την ευρείας κλίμακας αντικατάσταση υφιστάμενων συστημάτων μέτρησης της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στο Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας από τον Διαχειριστή (ΔΕΔΔΗΕ), με αντίστοιχα ευφυή συστήματα, η οποία αποσκοπεί ιδίως στη δυνατότητα ενεργού συμμετοχής των καταναλωτών στην αγορά ενέργειας αλλά και γενικότερα στην αποτελεσματικότερη και οικονομικότερη διαχείριση της.

P6. Αντιστάθμιση προστίμων σε αυθαίρετα με ενεργειακές αναβαθμίσεις: Αυτό το μέτρο παρέχει τη δυνατότητα αντιστάθμισης του κόστους υπηρεσιών, εργασιών και υλικών για την ενεργειακή αναβάθμιση κατοικιών σε ποσοστό έως και 50% του ποσού που αντιστοιχεί σε πρόστιμα αυθαίρετων κατασκευών.

P7. Εφαρμογή του 3^{ου} ΕΣΔΕΑ (ενεργειακοί υπεύθυνοι): Το μέτρο αναφέρεται στην επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας από την εφαρμογή των καθηκόντων των ενεργειακών υπευθύνων των

δημοσίων κτιρίων, όπως αυτά ορίζονται στην Υπουργική Απόφαση Αριθμ. Δ6/Β/14826/2008, καθώς και μέσω της υλοποίησης των σχεδίων ενεργειακής απόδοσης για τα κτίρια των περιφερειών και δήμων σύμφωνα με τα οριζόμενα στο Άρθρο 7, παρ. 12, του Νόμου 4342/2015.

P8. Αντικατάσταση παλαιών ελαφριών φορτηγών δημοσίου και ιδιωτικού τομέα: Το μέτρο εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο δράσεων παροχής κινήτρων για την απόσυρση των οχημάτων παλαιάς τεχνολογίας ή μεγάλης ηλικίας με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και την ανανέωση και τον εκσυγχρονισμό του στόλου ελαφριών φορτηγών δημοσίου και ιδιωτικού τομέα, ενώ τα κίνητρα απόσυρσης κλιμακώνονται με την κατηγορία και τον κυβισμό του οχήματος που αποσύρεται.

Βάσει συζητήσεων με εμπειρογνώμονες και καταγεγραμμένων αντιλήψεων επί προκαταρτικών οικονομικών και τεχνικών περιορισμών, κατόπιν επιλογής των οκτώ μέτρων πολιτικής, κατασκευάστηκαν τρία μίγματα πολιτικής, κάθε ένα εκ των οποίων εκπροσωπεί διαφορετικό τομέα: οικιακό (και συμπεριφορική αλλαγή), ιδιωτικό (ή επιχειρηματικό) και δημόσιο. Για την παραμετροποίηση του ΑΓΧ και λαμβάνοντας υπόψιν τον μέγιστο προϋπολογισμό για κάθε μέτρο πολιτικής, το επίπεδο ενεργοποίησης (χρηματοδότησης) κάθε μέτρου κανονικοποιήθηκε στο διάστημα [0, 1] (Εικόνα 6.9).

6.4.3 Κοινωνικοοικονομικά σενάρια

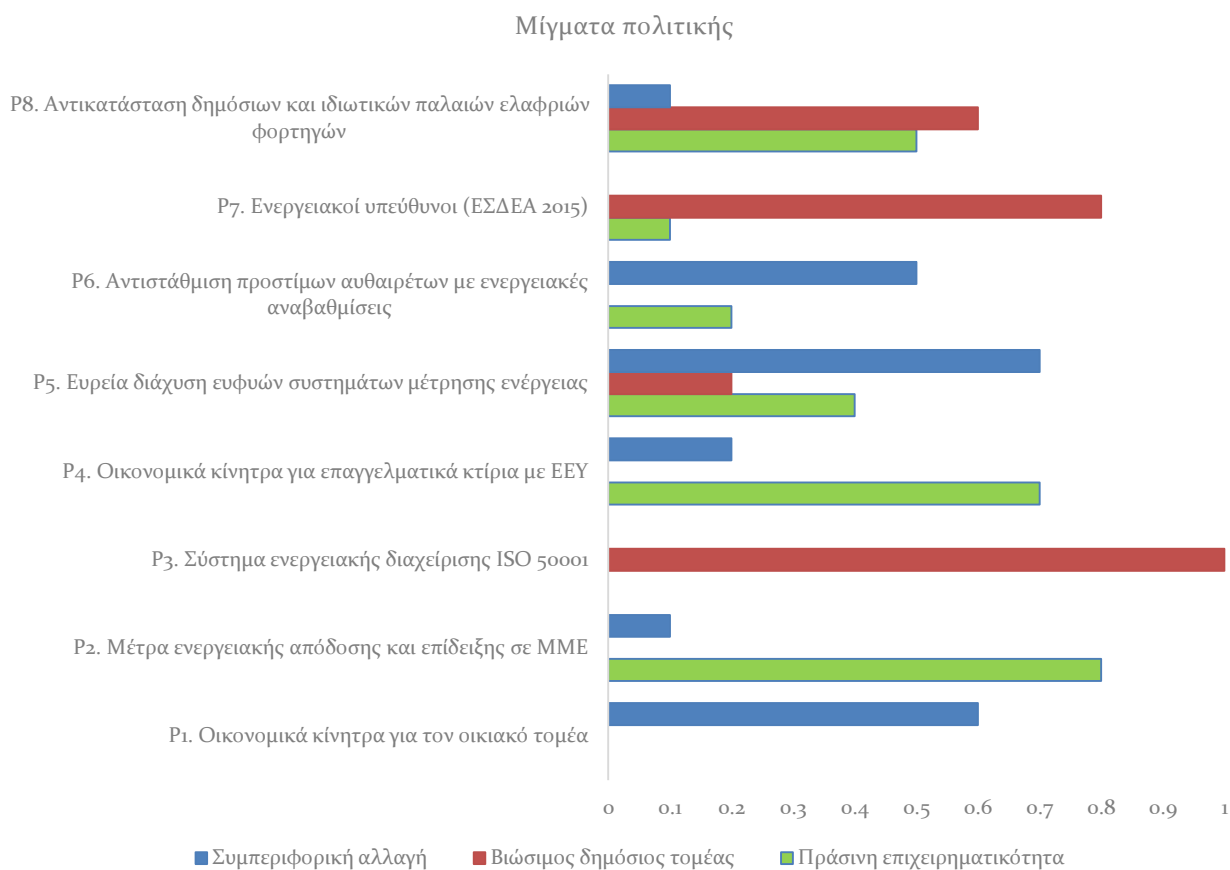
Οκτώ εξωγενείς κίνδυνοι υλοποίησης του πλαισίου πολιτικής λήφθηκαν από την βιβλιογραφία (Forouli et al., 2019):

- R1. Δυσκολία συνεργασίας τοπικής και κεντρικής διοίκησης
- R2. Πολιτική αστάθεια
- R3. Γραφειοκρατία
- R4. Απαιτητικό ρυθμιστικό πλαίσιο
- R5. Ανεπαρκής χρηματοπιστωτικός τομέας
- R6. Κοινωνική εναντίωση
- R7. Ανεπίδεκτο προσωπικό
- R8. Δυσμενείς οικονομικές συνθήκες

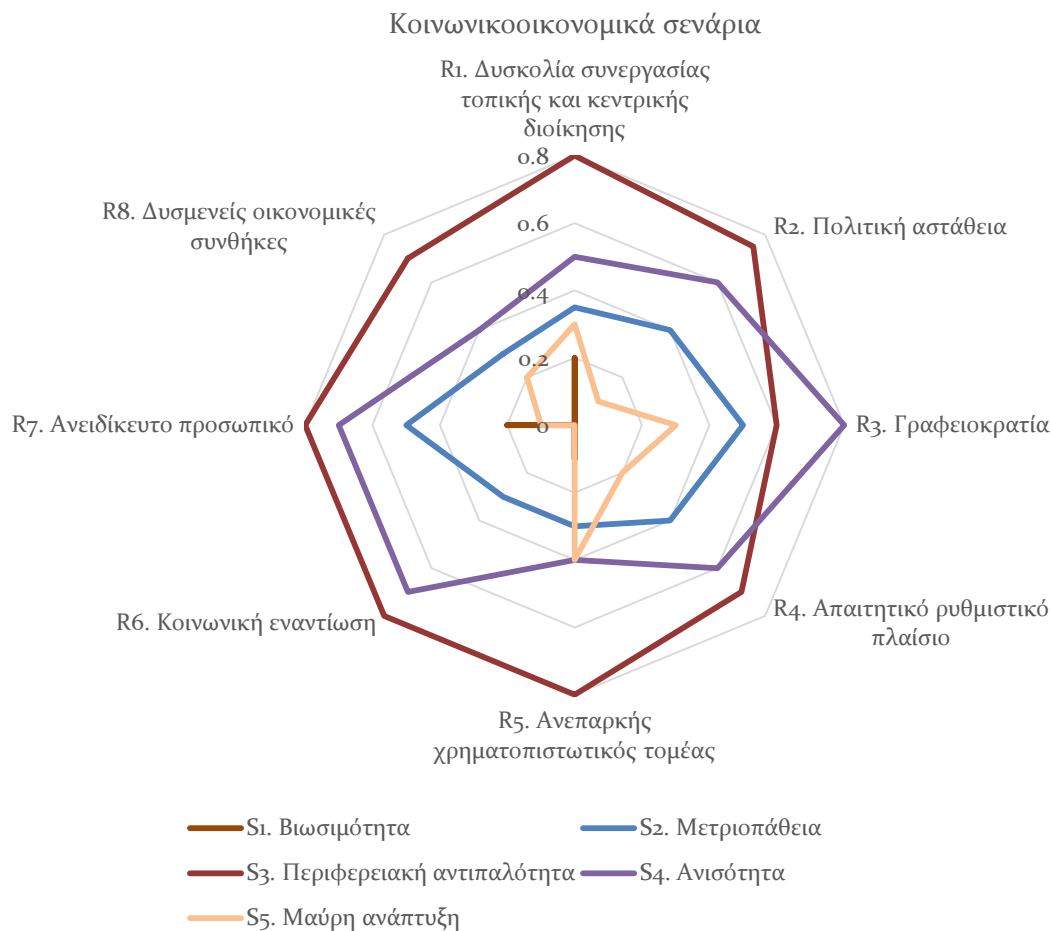
Για την διαμόρφωση μακροπρόθεσμων κοινωνικοοικονομικών σεναρίων σχετικών με την ενεργειακή και κλιματική πολιτική, βάσει αυτών των κινδύνων, οι αναμενόμενες προκλήσεις στους άξονες μετριασμού και προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, όπως περιγράφονται στο πλαίσιο των ΔΚΜ χρησιμοποιήθηκαν ως σημεία αναφοράς. Λαμβάνοντας την λεπτομερή περιγραφή των κοινωνικοοικονομικών παραγόντων που συναποτελούν τα ΔΚΜ (O'Neill et al., 2017), διαμορφώθηκαν πέντε σενάρια στα οποία οι κίνδυνοι ποσοτικοποιούνται στο διάστημα [0, 1]: *Βιωσιμότητα* (χαμηλές προκλήσεις μετριασμού και προσαρμογής), *Μετριοπάθεια* (μέτριες προκλήσεις μετριασμού και προσαρμογής), *Περιφερειακή αντιπαλότητα* (υψηλές προκλήσεις μετριασμού και προσαρμογής), *Ανισότητα* (χαμηλές προκλήσεις μετριασμού, υψηλές προκλήσεις προσαρμογής), και *Μαύρη ανάπτυξη*

(υψηλές προκλήσεις μετριασμού, χαμηλές προκλήσεις προσαρμογής). Η ποσοτικοποίηση των κινδύνων για κάθε σενάριο απεικονίζεται στην [Εικόνα 6.10](#).

Πρέπει να τονιστεί ότι, δεδομένης της ψευδο-ποσοτικής φύσης της μεθοδολογίας ΑΓΧ, δεν υπάρχει επακριβής σύνδεση των αριθμητικών δεδομένων των ΔΚΜ και των σεναρίων που διαμορφώθηκαν για τους σκοπούς αυτής της μελέτης, αλλά μία ποιοτική αξιολόγηση της περιγραφής των πέντε ΔΚΜ.



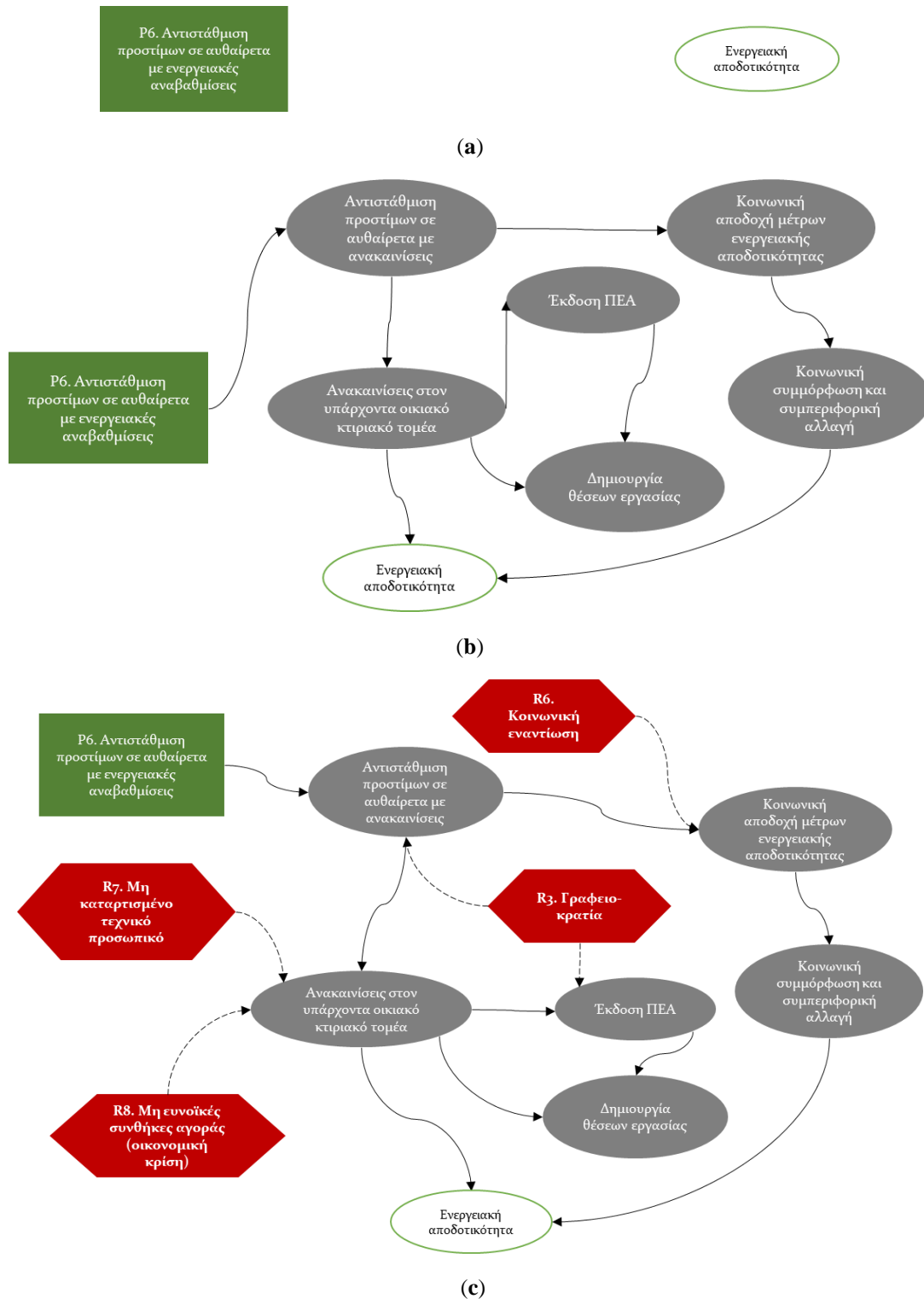
Εικόνα 6.9 Καθορισμός και ποσοτικοποίηση των μιγμάτων πολιτικής για την άσκηση ΑΓΧ.



Εικόνα 6.10 Καθορισμός και ποσοτικοποίηση των κοινωνικοοικονομικών σεναρίων του ΑΓΧ.

6.4.4 Σχεδίαση του ΑΓΧ

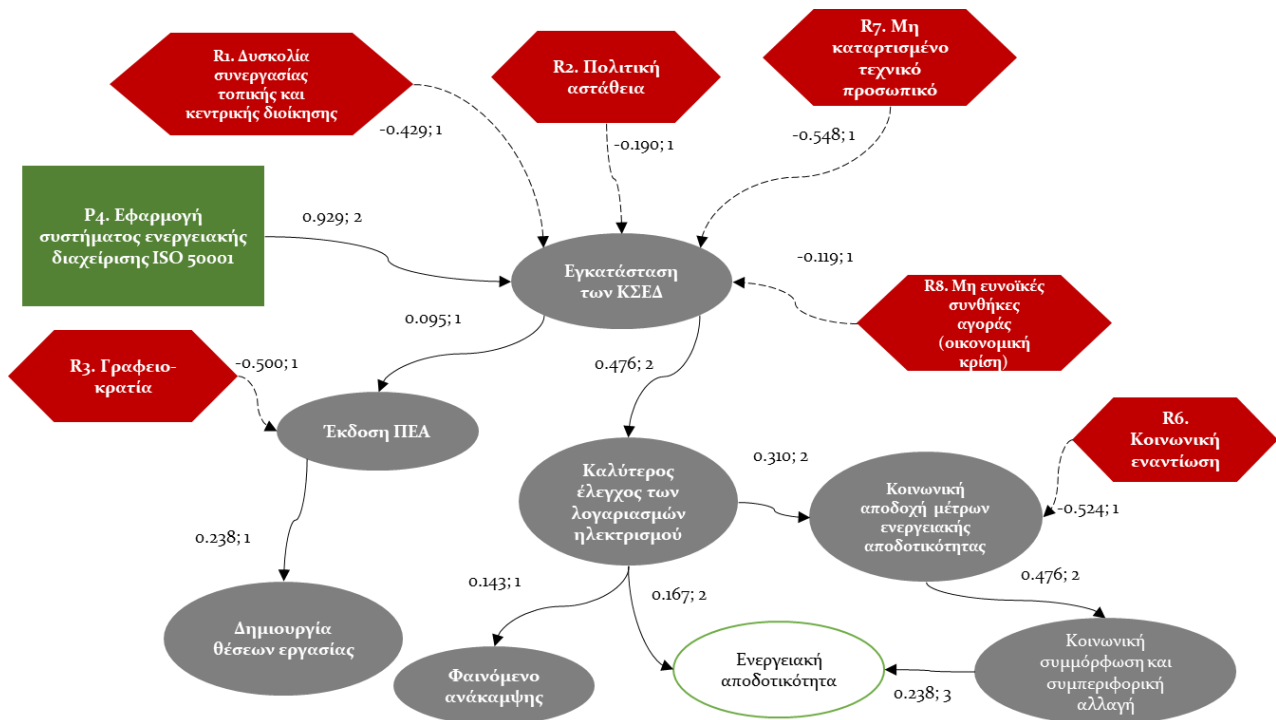
Η σχεδίαση του γνωστικού χάρτη αποτελεί μία δύσκολη εργασία, ειδικά όταν πολλαπλές απόψεις πρέπει να ληφθούν υπόψη για μία σειρά από παραμέτρους. Χάρην τυποποίησης της διαδικασίας, διευκόλυνσης των εμπειρογνομών και δομημένης εξαγωγής της πληροφορίας, το πλαίσιο σχεδίασης του ΑΓΧ διαιρείται σε μικρότερα απλά βήματα, κάθε ένα εκ των οποίων αντιστοιχεί σε διαφορετικό στάδιο του εργαστηρίου συμμετοχής των επτά εμπειρογνομών που έλαβε χώρα στην Αθήνα, τον Οκτώβριο 2017. Αρχικά, τους δόθηκαν οκτώ επιμέρους τμήματα του χάρτη, κάθε ένα εκ των οποίων περιλάμβανε τον κόμβο μίας πολιτικής και τον τελικό κόμβο της βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας (Εικόνα 6.11a). Πάνω σε αυτά τα επιμέρους τμήματα του χάρτη, τους ζητήθηκε να συνεργαστούν μεταξύ τους ώστε να εισάγουν σε αυτά τους απαιτούμενους κόμβους που συνδέουν αιτιολογικά τις πολιτικές με τον τελικό στόχο (Εικόνα 6.11b). Μετά τη συμπλήρωση αυτού του σταδίου για όλα τα μέτρα πολιτικής, τους δόθηκε μία λίστα όλων των κινδύνων υλοποίησης και μία δεύτερη λίστα με όλους τους άλλους τυπικούς κόμβους που οι ίδιοι προσδιόρισαν, και τους ζητήθηκε να συνεργαστούν ώστε να συνδέσουν με σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος κάθε κίνδυνο υλοποίησης με τους κόμβους που οι ίδιοι θεωρούν πως ο εκάστοτε κίνδυνος επηρεάζει. Έτσι, κάθε κόμβος κινδύνου υλοποίησης προστέθηκε σε κάθε ένα από τα επιμέρους τμήματα του χάρτη (Εικόνα 6.11c).



Εικόνα 6.11 Σχεδιάζοντας το τμήμα ΑΓΧ για την πολιτική Ρ6: (α) για κάθε ζεύγος πολιτικής-τελικού στόχου, (β) οι εμπειρογνώμονες σχεδιάζουν όλους τους ενδιάμεσους κόμβους, (γ) και έπειτα εισάγουν τους κινδύνους.

Στη συνέχεια, κατασκευάστηκαν, εκτυπώθηκαν και δόθηκαν στους εμπειρογνώμονες οι πίνακες βαρών και χρονικών καθυστερήσεων που αντιστοιχούν στον τελικό ΑΓΧ, όπου υποδεικνύονταν οι αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των κόμβων, το βάρος και την χρονική καθυστέρηση της επιρροής των οποίων κάθε εμπειρογνώμονας κλήθηκε να συμπληρώσει με την χρήση των ακόλουθων γλωσσικών κλιμάκων: *αρνητικώς απόλυτη, αρνητικώς πολύ ισχυρή, αρνητικώς ισχυρή, αρνητικώς μέτρια, αρνητικώς ασθενής, αρνητικώς πολύ ασθενής, μηδενική, θετικώς πολύ ασθενής, θετικώς ασθενής, θετικώς μέτρια, θετικώς*

ισχυρή, θετικώς πολύ ισχυρή, θετικώς απόλυτη}, και {άμεση, αργή, πολύ αργή}. Μετά τη συλλογή των ερωτηματολογίων, οι πληροφορίες μετατράπηκαν στις ακόλουθες αριθμητικές τιμές: {-1, -0.833, -0.667, -0.5, -0.333, -0.167, 0, 0.167, 0.333, 0.5, 0.667, 0.833, 1} και {1, 2, 3} αντίστοιχα (για παράδειγμα, [Εικόνα 6.12](#)), και υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές για κάθε σύνδεσμο.

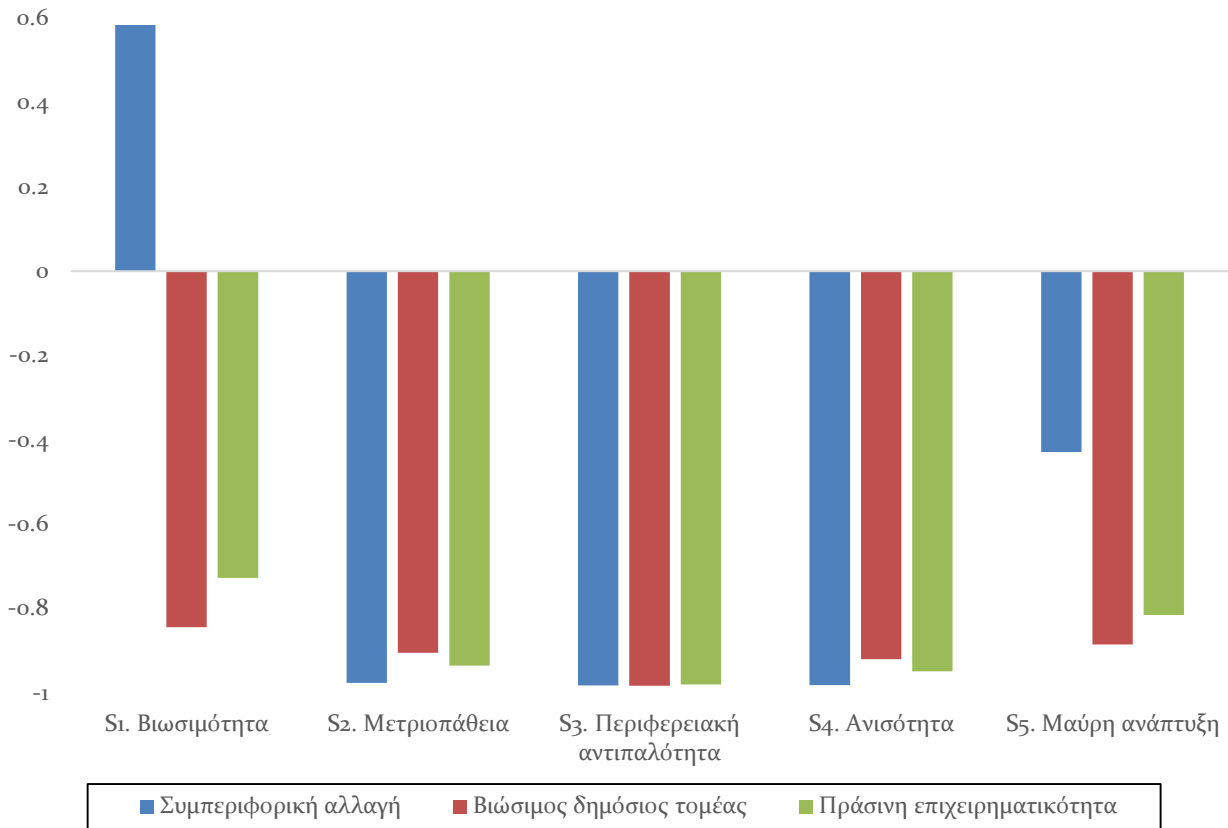


Εικόνα 6.12 Πλήρως σχεδιασμένο ποσοτικοποιημένο επιμέρους τμήμα του συνολικού ΑΓΧ, σχετικά με την υλοποίηση της πολιτικής P4.

6.4.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Με το ESQAPE, το μοντέλο προσομοιώθηκε με τη συνάρτηση ενεργοποίησης “ $A = A + A*W$ ” και τη συνάρτηση μεταφοράς της υπερβολικής εφάπτομένης, για τα τρία μίγματα πολιτικής και τα πέντε κοινωνικοοικονομικά σενάρια (συνολικά 15 προσομοιώσεις). Τα συνολικά αποτελέσματα απεικονίζονται στην [Εικόνα 6.13](#), από την οποία φαίνεται ότι, για αισιόδοξες μελλοντικές κοινωνικοοικονομικές εξελίξεις (σενάριο *Βιωσιμότητα*), η έμφαση στη συμπεριφορική αλλαγή φαίνεται να αποτελεί το βέλτιστο μονοπάτι, από την σκοπιά των εμπειρογνομόνων. Το ίδιο αποτέλεσμα παρατηρείται όταν οι προκλήσεις για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή παραμένουν χαμηλές αλλά αντίθετα οι προκλήσεις για μετριασμό της κλιματικής αλλαγής αυξάνουν (σενάριο *Μαύρη ανάπτυξη*). Ωστόσο, τα αποτελέσματα αλλάζουν καθώς οι κοινωνικοοικονομικές δυσκολίες κλιματικής δράσης αυξάνονται, ιδιαίτερα όσον αφορά τη δυνατότητα προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι εμπειρογνώμονες φαίνεται να προτιμούν μία στρατηγική που εστιάζει στα κτίρια του ευρύτερου δημόσιου τομέα, εκτός από το πλέον απαισιόδοξο σενάριο (σενάριο *Περιφερειακή αντιπαλότητα*), στο οποίο και οι τρεις στρατηγικές θεωρούνται εξίσου αποτελεσματικές, με τον εμπορικό και επαγγελματικό κτιριακό τομέα να διαθέτει ελαφρώς μεγαλύτερες δυνατότητες ενεργειακής εξοικονόμησης και αποδοτικότητας. Αξίζει να σημειωθεί ότι, δεδομένης της ψευδοποσοτικής φύσης του πλαισίου ΑΓΧ και την χρήση των συναρτήσεων μεταφοράς, τα αποτελέσματα δεν πρέπει να μεταφράζονται ποσοτικά, αλλά αποκτούν νόημα μόνο σε συγκριτική βάση.

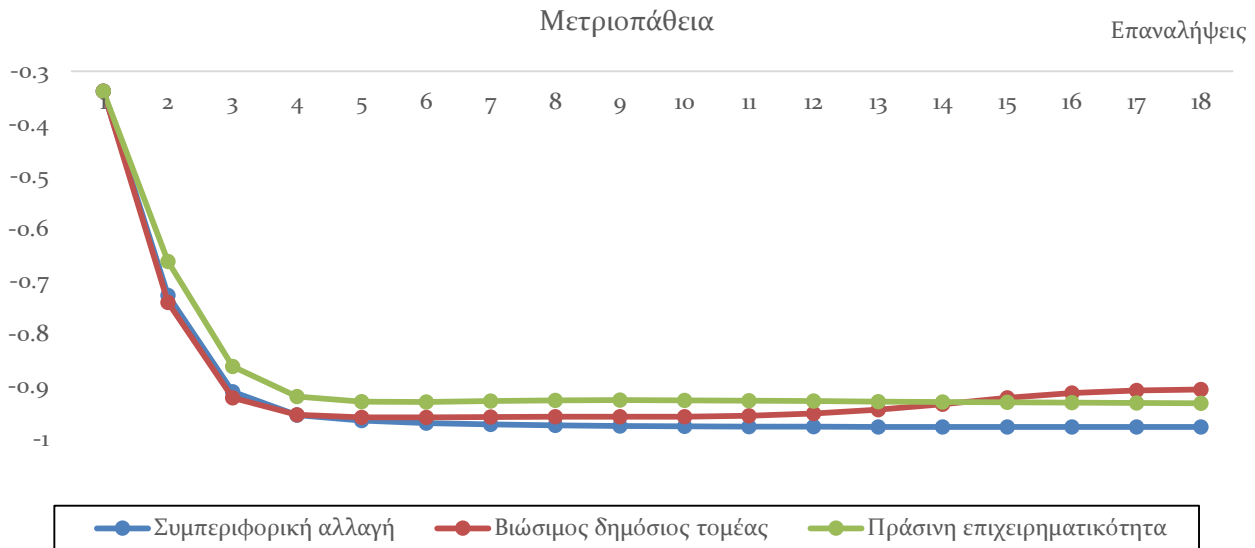
Αποτελέσματα προσομοίωσης: Εξοικονόμηση ενέργειας



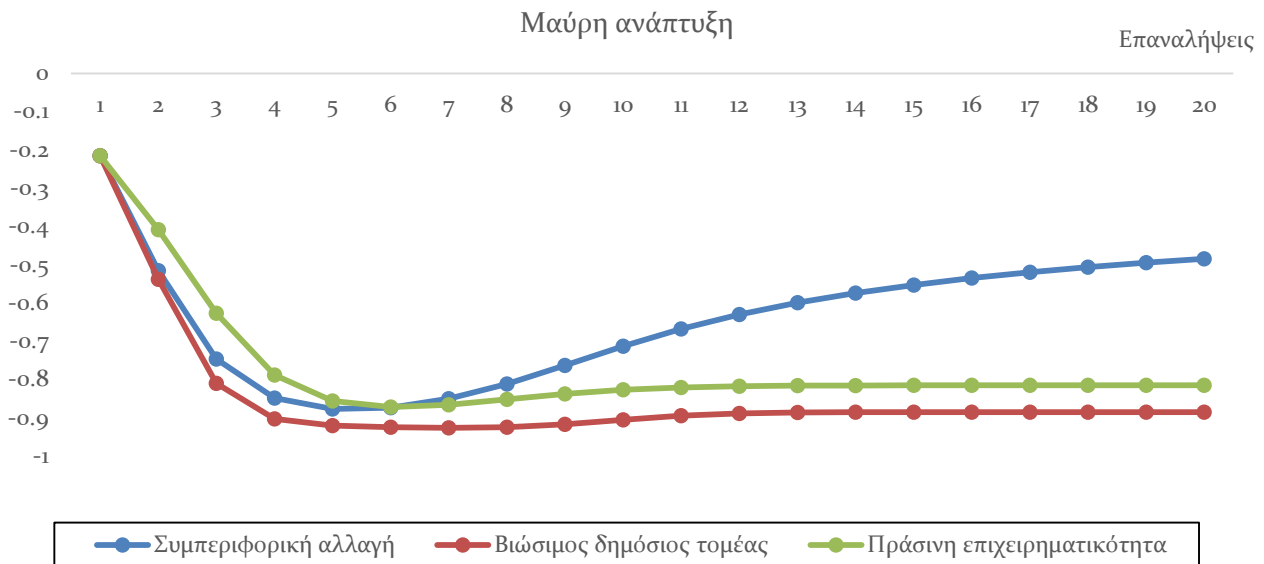
Εικόνα 6.13 Τελικές τιμές του κόμβου «εξοικονόμησης ενέργειας» για τις τρεις στρατηγικές πολιτικής και για όλα τα κοινωνικοοικονομικά σενάρια ΑΓΧ, μετά τη σταθεροποίηση του συστήματος.

Διαιρώντας τα αποτελέσματα για κάθε ένα σενάριο και δεδομένης της θεώρησης της χρονικής διάστασης μέσω χρονικών καθυστερήσεων στο εργαλείο ESQAPE, οι βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες προσδοκίες των εμπειρογνώμωνων για κάθε μίγμα πολιτικής μπορούν να εκτιμηθούν καλύτερα. Για παράδειγμα, στο μετριοπαθές κοινωνικοοικονομικό σενάριο, το υπό άλλες συνθήκες (π.χ. αισιόδοξες μελλοντικές εξελίξεις) βέλτιστο μίγμα της συμπεριφορικής αλλαγής χάνει έδαφος σιγά-σιγά, ενώ η έμφαση στον δημόσιο κτιριακό τομέα καταφέρνει πολύ αργότερα να ξεπεράσει τις επιδόσεις μίας στρατηγικής που εστιάζει στον ιδιωτικό και εμπορικό οικιακό τομέα (Εικόνα 6.14).

Με άλλα λόγια, οι εμπειρογνώμονες φαίνεται να πιστεύουν ότι, στο μετριοπαθές κοινωνικοοικονομικό σενάριο, η επιδότηση δράσεων ενεργειακής αποδοτικότητας στον ιδιωτικό τομέα θα είχε καλύτερα αποτελέσματα σε όρους εξοικονόμησης ενέργειας μεσοπρόθεσμα, όμως μία έμφαση στον δημόσιο τομέα θα αποδεικνυόταν πιο επωφελής μακροπρόθεσμα. Αντίστοιχα, στο σενάριο *Μαύρη ανάπτυξη*, η στρατηγική εστίασης στην συμπεριφορική αλλαγή ξεκινάει να σημειώνει πρόοδο σχετικά αργά, όμως καταφέρνει να ξεπεράσει σε επιδόσεις όλες τις άλλες στρατηγικές στο μέλλον (Εικόνα 6.15).



Εικόνα 6.14 Τιμές που λαμβάνει ο κόμβος του τελικού στόχου εξοικονόμησης ενέργειας μέχρι τη σταθεροποίηση του ΑΓΧ, για το μετριοπαθές σενάριο (S2).

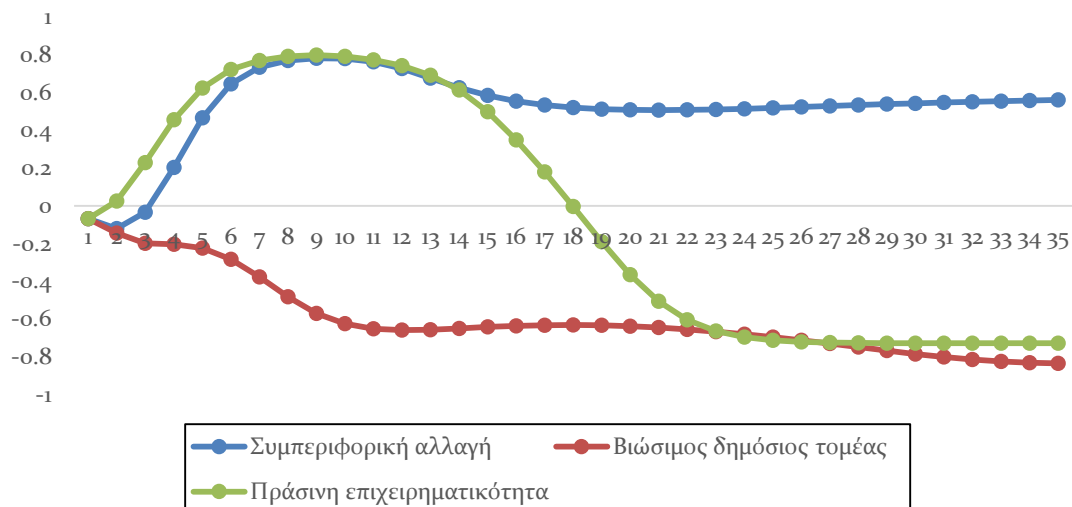


Εικόνα 6.15 Τιμές που λαμβάνει ο κόμβος του τελικού στόχου εξοικονόμησης ενέργειας μέχρι τη σταθεροποίηση του ΑΓΧ, για το σενάριο μαύρης ανάπτυξης (S5).

Για να κατανοηθεί καλύτερα η επίδραση της θεώρησης των χρονικών καθυστερήσεων στη διεργασία του ΑΓΧ, το μοντέλο προσομοιώνεται για το σενάριο *Βιωσιμότητα* με (Εικόνα 16a) και χωρίς (Εικόνα 16b) χρονικές καθυστερήσεις. Όπως σημειώνουν οι Nikas and Doukas (2016), οι χρονικές καθυστερήσεις δεν επιφέρουν κάποια αλλαγή στις τιμές του τελικού διανύσματος του μοντέλου ΑΓΧ, εκτός εάν κάποιο σύνολο καθυστερήσεων εξαναγκάσει το σύστημα να συγκλίνει νωρίτερα, συγκριτικά με παραδοσιακές τεχνικές προσομοίωσης που αγνοούν την χρονική διάσταση, και επομένως σε διαφορετικά αποτελέσματα. Ωστόσο, διαφορετικά συμπεράσματα μπορούν ποιοτικά να εξαχθούν για την εξέλιξη των επιδράσεων των πολιτικών, πάντα σε συγκριτική βάση. Σύμφωνα με τους εμπειρογνώμονες, και παρότι η στρατηγική που αφορά στον οικιακό κτιριακό τομέα και την συμπεριφορική αλλαγή θεωρείται σημαντικά καλύτερη των άλλων δύο στρατηγικών, το μίγμα πολιτικής που αφορά στον ιδιωτικό τομέα θεωρείται πιο εύρωστο συγκριτικά με το μίγμα πολιτικής

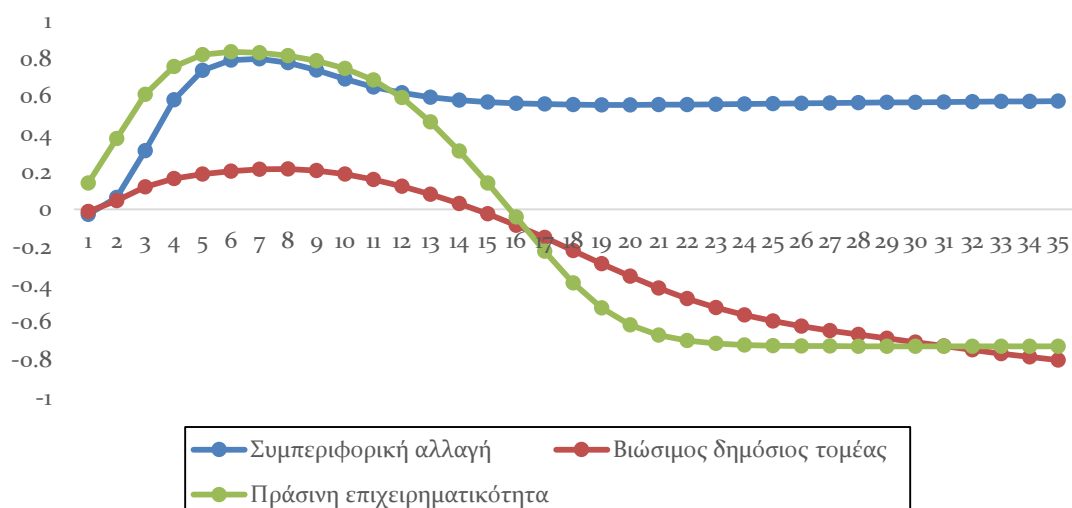
που εστιάζει στην πράσινη μετάβαση του δημόσιου κτιριακού τομέα, όταν λαμβάνεται υπόψιν ο χρόνος, αφού οι επιδόσεις του φράσσονται μεταξύ των επιδόσεων των άλλων δύο μιγμάτων. Ωστόσο, όταν η διάσταση του χρόνου αγνοείται στο εργαλείο ESQAPE, τα αναμενόμενα οφέλη από τις παρεμβάσεις στον ευρύτερο δημόσιο κτιριακό τομέα ξεπερνούν τα αντίστοιχα οφέλη από δράσεις σε εμπορικά και επαγγελματικά κτίρια στη μέση της προσομοίωσης. Με άλλα λόγια, το μίγμα πολιτικής για τον δημόσιο τομέα θα είχε καλύτερα μεσοπρόθεσμα αποτελέσματα από το αντίστοιχο μίγμα πολιτικής που αφορά σε κτίρια του ιδιωτικού τομέα, σε αντίθεση με την εικόνα που αφορά στις μακροχρόνιες επιδράσεις των πολιτικών. Η θεώρηση του χρόνου δείχνει επίσης ότι το βέλτιστο μίγμα πολιτικής, δηλαδή η έμφαση στη συμπεριφορική αλλαγή των πολιτών, σημειώνει καλύτερα αποτελέσματα από τις άλλες δύο στρατηγικές νωρίτερα απ' ό,τι φαίνεται στις προσομοιώσεις που δεν λαμβάνουν την έννοια του χρόνου.

Βιωσιμότητα - Με χρονικές καθυστερήσεις



(a)

Βιωσιμότητα - Χωρίς χρονικές καθυστερήσεις



(b)

Εικόνα 6.16 Τιμές που λαμβάνει ο κόμβος του τελικού στόχου εξοικονόμησης ενέργειας μέχρι τη σταθεροποίηση του ΑΓΧ, για το σενάριο βιωσιμότητας (SI), (a) αγνοώντας ή (b) λαμβάνοντας υπόψιν τον χρόνο.

6.5 Αξιολόγηση στρατηγικών κλιματικής πολιτικής

6.5.1 Πλαίσιο εφαρμογής

Παρά την πρόσφατη εγχώρια πρόοδο στο ενεργειακό και κλιματικό μέτωπο, συμπεριλαμβανομένης μεταξύ άλλων την σταθερή ανάπτυξη των επενδύσεων σε ηλιακά φωτοβολταϊκά (ΦΒ) και κτίρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας (ΚΣΜΚΕ) (van Leeuwen, 2017), η Ολλανδία δεν αναμένεται να πετύχει τους εθνικούς στόχους ΑΠΕ για το 2020 (ECN, 2017). Μάλιστα, το 2017, υπήρξε η μόνη χώρα ανάμεσα στα ΚΜ της ΕΕ που δεν βρισκόταν σε τροχιά υλοποίησης της Οδηγίας για τις ΑΠΕ (European Commission, 2017). Παρότι η μεγάλη λίστα μέτρων που περιλαμβάνονταν στο τελευταίο πακέτο πολιτικής του ολλανδικού Υπουργείου Οικονομικών θεωρούνται τεχνικώς εφικτά, ελλοχεύει πληθώρα κινδύνων που εμποδίζουν την επιτυχή υλοποίησή τους. Αυτοί περιλαμβάνουν την πολιτική αστάθεια, την κοινωνική εναντίωση, τη μειωμένη δυνατότητα επενδύσεων, και την αναποτελεσματική χωροταξία, και συνήθως είναι δύσκολο να ενσωματωθούν σε διεργασίες ποσοτικής μοντελοποίησης (π.χ. ΜΟΑ).

Σε αυτό το πλαίσιο, απαιτούνται εναλλακτικές οδοί υποστήριξης της χάραξης πολιτικής, κάνοντας χρήση της ανθρώπινης γνώσης και εμπειρίας σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις αυτών των κινδύνων, η οποία μπορεί να εξαχθεί από τους διάφορους ενδιαφερόμενους φορείς (Nikas et al., 2017). Η ερευνητική ερώτηση πίσω από αυτήν τη μελέτη περίπτωσης, επομένως, είναι «πώς μπορεί η Ολλανδία να προάγει ένα μονοπάτι απεξάρτησης από τον άνθρακα, το οποίο βασίζεται στην περαιτέρω διάχυση της ηλιακής ενέργειας, από την οπτική πλευρά των διαφόρων ενδιαφερόμενων φορέων της Ολλανδικής οικονομίας».

Ανάμεσα σε άλλα εργαλεία υποστήριξης λήψης αποφάσεων στη διαμόρφωση πολιτικής, οι ΑΓΧ παρουσιάζουν μία ιδιαίτερη ευκαιρία για τη μοντελοποίηση των επιπτώσεων διάφορων μέτρων πολιτικής σε ένα σύστημα, από την προοπτική των αποφασιζόντων και λοιπών ενδιαφερομένων (Doukas et al., 2018). Ως εκ τούτου, οι ΑΓΧ έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στη βιβλιογραφία για την ανάλυση πολιτικών (Vergini and Groumpos, 2017) ανάμεσα σε ποικίλα επιστημονικά πεδία (Groumpos, 2010). Μάλιστα, οι ΑΓΧ έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο στο πεδίο της ενεργειακής πολιτικής (π.χ. Mpelogianni et al., 2015) όσο και στο πεδίο της αξιολόγησης κινδύνων και αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με σύνθετα συστήματα (π.χ. Jamshidi et al., 2016), και τα δύο εκ των οποίων έχουν συνάφεια με την ερευνητική ερώτηση της παρούσας ενότητας. Ωστόσο, ένας από τους προβληματισμούς που αφορούν το αρχικό μεθοδολογικό πλαίσιο, οι οποίοι πρόσφατα ενέπνευσαν προσπάθειες εξέλιξης της μεθόδου των ΑΓΧ (Vergini and Groumpos, 2016), αφορά τον ασθενή ορισμό του χρόνου (Kok, 2009), ο οποίος όμως είναι ιδιαίτερα σημαντικός για την αποτελεσματική επιστημονική πλαισίωση συστάσεων πολιτικής στο πεδίο της κλιματικής αλλαγής.

Σκοπός αυτής της μελέτης περίπτωσης, επομένως, είναι η εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου των ΑΓΧ (Kosko, 1986), σε μία τροποποιημένη εκδοχή του που περιλαμβάνει τον καθορισμό χρονικών καθυστερήσεων, αποσκοπώντας στην καταγραφή των απόψεων και αντιλήψεων των εμπειρογνομόνων επί των εναλλακτικών στρατηγικών πράσινης μετάβασης. Οι τρεις στρατηγικές υπό εξέταση περιστρέφονται γύρω από τη διάχυση της ηλιακής ενέργειας, και αφορούν στην ανάπτυξη μεγάλων ηλιακών πάρκων, την προώθηση της αποκεντρωμένης ηλεκτροπαραγωγής, και την έμφαση στην συμπεριφορική αλλαγή μέσα από ενημερωτικές καμπάνιες και εκπαιδευτικά προγράμματα. Οι στρατηγικές αποτελούνται από οκτώ διαφορετικά μέτρα πολιτικής, τα οποία βασίζονται στο υφιστάμενο ρυθμιστικό πλαίσιο. Αρχικά, περιγράφονται τα μέτρα πολιτικής καθώς και οι αβεβαιότητες

βάσει των οποίων διαμορφώνονται τα σενάρια. Στη συνέχεια, σχεδιάζεται και προσομοιώνεται το μοντέλο, ενώ τέλος ακολουθεί συζήτηση επί των αποτελεσμάτων.

6.5.2 Μέτρα και στρατηγικές πολιτικής

Το 2013, η Ολλανδική κυβέρνηση εισήγαγε την *Ενεργειακή Συμφωνία για Βιώσιμη Ανάπτυξη* με βιομηχανίες, μη κυβερνητικούς και περιβαλλοντικούς οργανισμούς, εμπορικά σωματεία και άλλους φορείς, η οποία συμφωνία θεωρείται ορόσημο για την ανάπτυξη μίας οικονομίας χαμηλών εκπομπών άνθρακα (van Leeuwen, 2017). Τα μέρη, από κοινού υπεύθυνα για την επιτυχή υλοποίηση αυτής της πολιτικής, συμφώνησαν σε βραχυπρόθεσμους και μεσοπρόθεσμους στόχους για την ενεργειακή αποδοτικότητα και την ανάπτυξη των ΑΠΕ, καθώς και στην ενθάρρυνση μακροπρόθεσμων δράσεων. Το 2016, το Υπουργείο Οικονομίας ενέτεινε αυτές τις προσπάθειες με την *Ενεργειακή Ατζέντα* (Ministerie van Economische Zaken, 2016), προσθέτοντας επιπλέον μέτρα για την αύξηση του μεριδίου των τεχνολογιών ΑΠΕ στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή και την ενίσχυση της εξοικονόμησης ενέργειας.

Όσον αφορά τα ΦΒ επί εδάφους, ένα μέτρο επιδότησης για ΦΒ πάνελ ανακοινώθηκε το 2008, τα οποία στην πορεία αποτέλεσε μέρος της πολιτικής του Υπουργείου Οικονομικών για την ενίσχυση της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας (SDE), η οποία στόχευε κυρίως στη διάχυση κυρίως της αιολικής ενέργειας και της βιομάζας. Σήμερα, τα μεγάλα έργα ΑΠΕ χρηματοδοτούνται μέσω του μηχανισμού SDE+ (Oteman et al., 2017), ο οποίος αφορά στην παραγωγή πράσινης ενέργειας που συνδέεται στο δίκτυο, αλλά σύντομα αποδείχτηκε πολύ δημοφιλής για έργα ηλιακής ενέργειας, με αποτέλεσμα την εξάντληση του διαθέσιμου προϋπολογισμού (Verhees et al., 2013).

Ωστόσο, δεδομένων των απαιτήσεων σε γη καθώς και της συμμετοχής πληθώρας τεχνολογιών και ανακαινίσεων στον μετασχηματισμό του κτιριακού τομέα, τόσο η ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας ηλιακών πάρκων όσο και οι εγκαταστάσεις ΦΒ επί στέγης απαιτούν αποτελεσματική χωροταξία από πλευράς περιφερειών και δήμων. Ειδικά για την πρώτη, ακόμη κι αν πραγματοποιείται αποτελεσματικός ενεργειακός σχεδιασμός στους δήμους, τα μεγάλης κλίμακας έργα μπορούν να οδηγήσουν σε κοινωνικές αντιδράσεις. Αυτό καλλιεργεί περαιτέρω την ανάγκη κινητοποίησης ενημερωτικών καμπανιών για την ενημέρωση του κοινού και την ενθάρρυνση συμπεριφορικών αλλαγών. Ένα παράδειγμα κοινωνικής μη συμμόρφωσης στην Ολλανδία αποτελεί η απόρριψη των ευφυών συστημάτων μέτρησης ενέργειας: η ευρεία διάχυση έξυπνων μετρητών αποσκοπούσε στη διευκόλυνση των προσπαθειών ελέγχου και εξισορρόπησης στον κτιριακό τομέα· ωστόσο, φόβοι παραβίασης της ιδιωτικής ζωής και αναφορές προβληματικής λειτουργίας ορισμένων μετρητών καλλιέργησε σκεπτικισμό αντί για αποδοχή του κατά τα άλλα προαιρετικού αυτού μέτρου.

Επιπροσθέτως, μικρής κλίμακας εγκαταστάσεις ΦΒ επί στέγης υποστηρίζονται από την επονομαζόμενη πολιτική *net metering*, η οποία παρέχει κίνητρα σε κατοικίες και μικρές επιχειρήσεις να παράγουν και να χρησιμοποιούν ηλιακή ενέργεια, όπως την εξαίρεσή τους από ενεργειακούς φόρους, ΦΠΑ και τον ειδικό φόρο βιώσιμης ενεργειακής συνεισφοράς επί της ενέργειας που αυτοκαταναλώνεται. Εξαιτίας των αρνητικών επιπτώσεων της στα φορολογικά έσοδα της κυβέρνησης, μία σειρά από αλλαγές στο ρυθμιστικό πλαίσιο καλλιέργησαν δυσπιστία στους πολίτες. Παράλληλα, δεδομένου του υφιστάμενου χαλαρού κτιριακού κώδικα, τα νέα κτίρια δύνανται να ανταποκρίνονται στις κτιριακές προδιαγραφές, χωρίς την εγκατάσταση ΦΒ πάνελ. Επομένως, ένας αυστηρότερος κτιριακός κώδικας θεωρείται κρίσιμος στη διάχυση των εγκαταστάσεων ΦΒ επί στέγης.

Τέλος, υφίσταται μία έλλειψη υψηλής κατάρτισης επαγγελματιών για την εγκατάσταση των ηλιακών έργων και, ως εκ τούτου, τα μεγάλης κλίμακας έργα επιβλέπονται από μη Ολλανδούς επαγγελματίες. Η έλλειψη εγχώριου τεχνικού δυναμικού και εταιρειών απασχολεί και τον οικιακό κτιριακό τομέα και έχει ως αποτέλεσμα τους ιδιαίτερα υψηλούς μισθούς, λόγω της μεγάλης ζήτησης. Επομένως, προγράμματα εκπαίδευσης και κατάρτισης μπορούν να χρηματοδοτηθούν για να αντιμετωπίσουν αυτό το εμπόδιο και να ενισχύσουν την ανάπτυξη και στα δύο μέτωπα.

Επομένως, στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, λαμβάνονται υπόψιν τρεις στρατηγικές πολιτικής: μία στρατηγική μεγάλης κλίμακας ΦΒ έργων (*P1. SDE+ και P2. Ενεργειακός σχεδιασμός στους δήμους*), μία στρατηγική αποκεντρωμένης ηλεκτροπαραγωγής (*P3. Εντατικοποίηση της Ενεργειακής Συμφωνίας, P4. Net metering, και P5. Αυστηρότεροι κτιριακοί κώδικες*) και μία στρατηγική προσανατολισμένη στην εκπαίδευση και την ενημέρωση (*P6. Έξυπνοι μετρητές, P7. Ενημερωτικές καμπάνιες, και P8. Προγράμματα εκπαίδευσης και κατάρτισης*) η οποία δύναται να προάγει και τα δύο μονοπάτια.

Σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι η καταγραφή και σύγκριση των επιδόσεων των τριών στρατηγικών μεταξύ τους, υπό διαφορετικές πιθανές μελλοντικές εξελίξεις, από την οπτική γωνία των εμπειρογνομόνων.

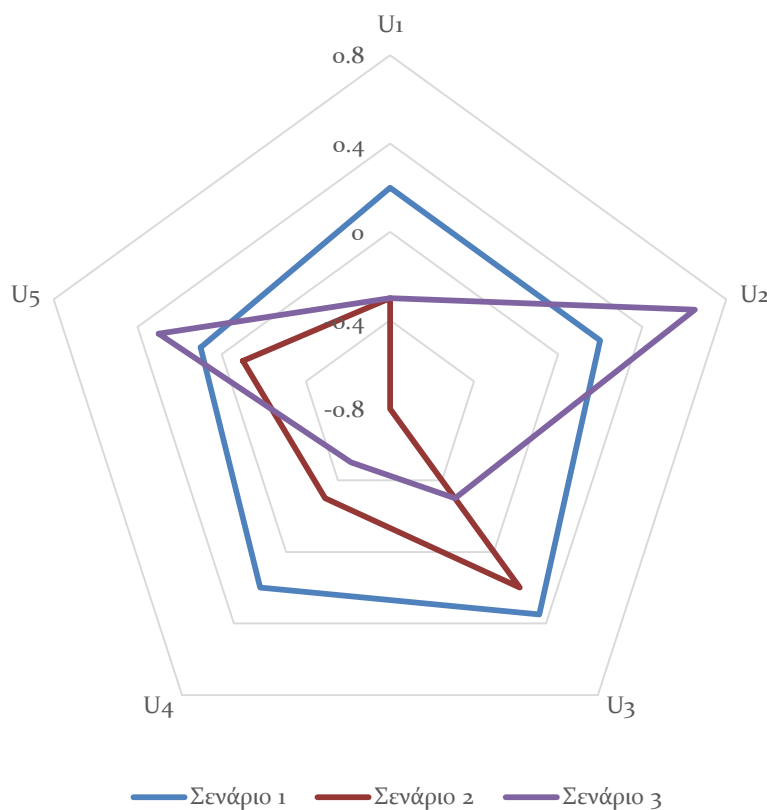
6.5.3 Κοινωνικοοικονομικά σενάρια

Βάσει εκτενών συνεντεύξεων με εμπειρογνώμονες, αναγνωρίστηκαν οι επόμενες κρίσιμες αβεβαιότητες που ενδεχομένως να οδηγήσουν σε κινδύνους υλοποίησης. Αυτές οι αβεβαιότητες αφορούν ζητήματα οικονομικής, κοινωνικής και ρυθμιστικής φύσης, με τα τελευταία να έχουν επιπτώσεις για το περιβάλλον, και περιλαμβάνουν:

- U1. Κοινωνική αποδοχή
- U2. Αποτελεσματικότητα χωροταξίας και χρήσης γης
- U3. Σταθερότητα ρυθμιστικού πλαισίου net metering
- U4. Εμπιστοσύνη στην κυβέρνηση και την πολιτική
- U5. Οικονομική δυνατότητα επένδυσης στην ηλιακή ενέργεια

Έτσι, αναπτύχθηκαν τρία σενάρια, τα οποία περιγράφουν διαφορετικές κοινωνικοοικονομικές εξελίξεις. Το πρώτο σενάριο περιγράφει έναν κόσμο με μετριοπαθή αλλά άνιση οικονομική ανάπτυξη, και εξίσου μέτρια θεσμική αποτελεσματικότητα αναφορικά με τη διατήρηση ενός σταθερού ρυθμιστικού περιβάλλοντος, σχετικά επαρκές κανονιστικό πλαίσιο για τη χρήση γης και ικανοποιητική χωροταξία για μεγάλης κλίμακας έργα, και σχετικά καλά επίπεδα κοινωνικής συμμετοχής και συνοχής που καλλιεργούν ευκαιρίες και για τα δύο μονοπάτια. Το δεύτερο σενάριο είναι το πιο απαισιόδοξο εκ των κοινωνικοοικονομικών σεναρίων, σε όρους κοινωνικών, οικονομικών και ρυθμιστικών παραγόντων, με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζεται από πολύ ασθενή περιβαλλοντική διαχείριση και σχεδιασμό· παρά το ασθενές διεθνές πολιτικό πλαίσιο, οι εθνικές κυβερνήσεις καταφέρνουν να δημιουργήσουν ένα σχετικά σταθερό ρυθμιστικό πλαίσιο, χωρίς όμως ιδιαίτερες προβλέψεις για τη χρήση γης και την χωροταξία. Τέλος, το τρίτο σενάριο περιγράφει ένα μέλλον εξίσου χαμηλής κοινωνικής αποδοχής, αλλά γρηγορότερης οικονομικής ανάπτυξης, και αυστηρώς ρυθμισμένης της χρήσης γης με ιδιαίτερη έμφαση στην χωροταξία σε εθνικό και υπερεθνικό επίπεδο· ωστόσο, το σενάριο

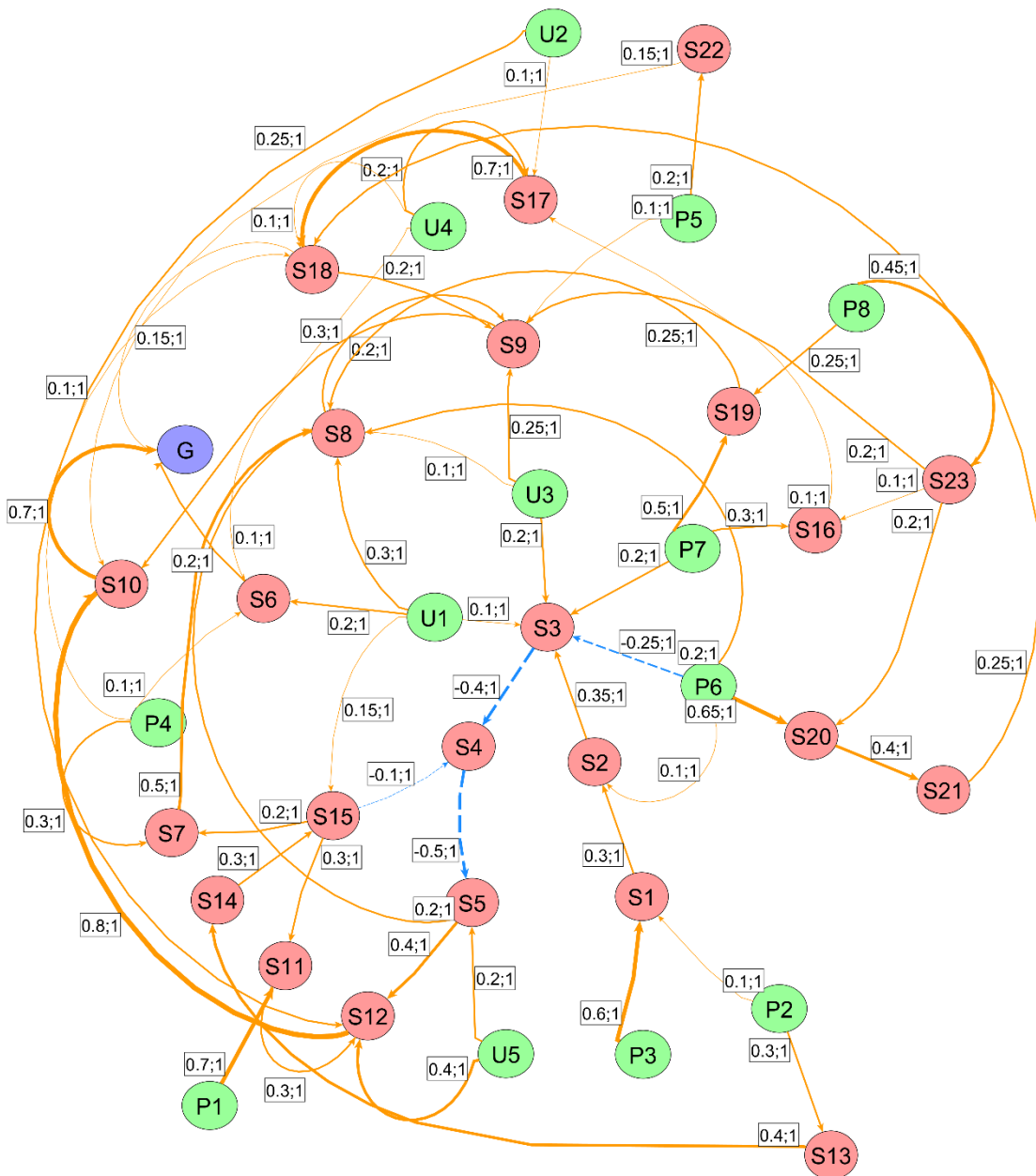
αυτό χαρακτηρίζεται από περιορισμένο ενδιαφέρον για τις περιβαλλοντικές ευπάθειες στο παγκόσμιο επίπεδο καθώς και υψηλή αστάθεια του ρυθμιστικού πλαισίου που συνεισφέρουν στα χαμηλότερα επίπεδα εμπιστοσύνης και συνοχής στην κοινωνία. Αυτές οι περιγραφές βοηθούν στην ανάπτυξη των αρχικών διανυσμάτων των τριών σεναρίων, δηλαδή την ποσοτικοποίηση των αβεβαιοτήτων για κάθε σενάριο (Εικόνα 6.17). Τα σεναρία βασίζονται από τα αφηγήματα των ΔΚΜ 2, 3 και 4 (O'Neill et al., 2017).



Εικόνα 6.17 Κοινωνικοοικονομικά σεναρία: τιμές αβεβαιότητας για κάθε σενάριο.

6.5.4 Σχεδιασμός και παραμετροποίηση μοντέλου

Μετά από μία εκτενή συμμετοχική διαδικασία παρόμοια με αυτήν που περιγράφεται από τους Özesmi and Özesmi (2004), και επεκτείνοντας την διαδικασία εξαγωγής γνώσης των εμπειρογνομώνων για να συμπεριληφθεί η εκτίμηση των χρονικών καθυστερήσεων (δηλαδή του πόσο σύντομα η επιρροή κάθε αναγνωρισμένης αιτιώδους σχέσης εκτιμάται ότι λαμβάνει χώρα), χτίζεται το μοντέλο ΑΓΧ (Εικόνα 6.18). Οι πολιτικές και οι αβεβαιότητες αναπαρίστανται με πράσινους κύκλους, οι υπόλοιποι (τυπικοί) κόμβοι του συστήματος με κόκκινους κύκλους, ο τελικός στόχος της πράσινης μετάβασης της Ολλανδικής οικονομίας με μπλε κύκλο, οι θετικές αιτιώδεις σχέσεις με πορτοκαλί, συνεχείς ακμές, οι αρνητικές αιτιώδεις σχέσεις με μπλε, διακεκομμένες ακμές, τα βάρη και οι χρονικές καθυστερήσεις με ένα ζεύγος αριθμών.



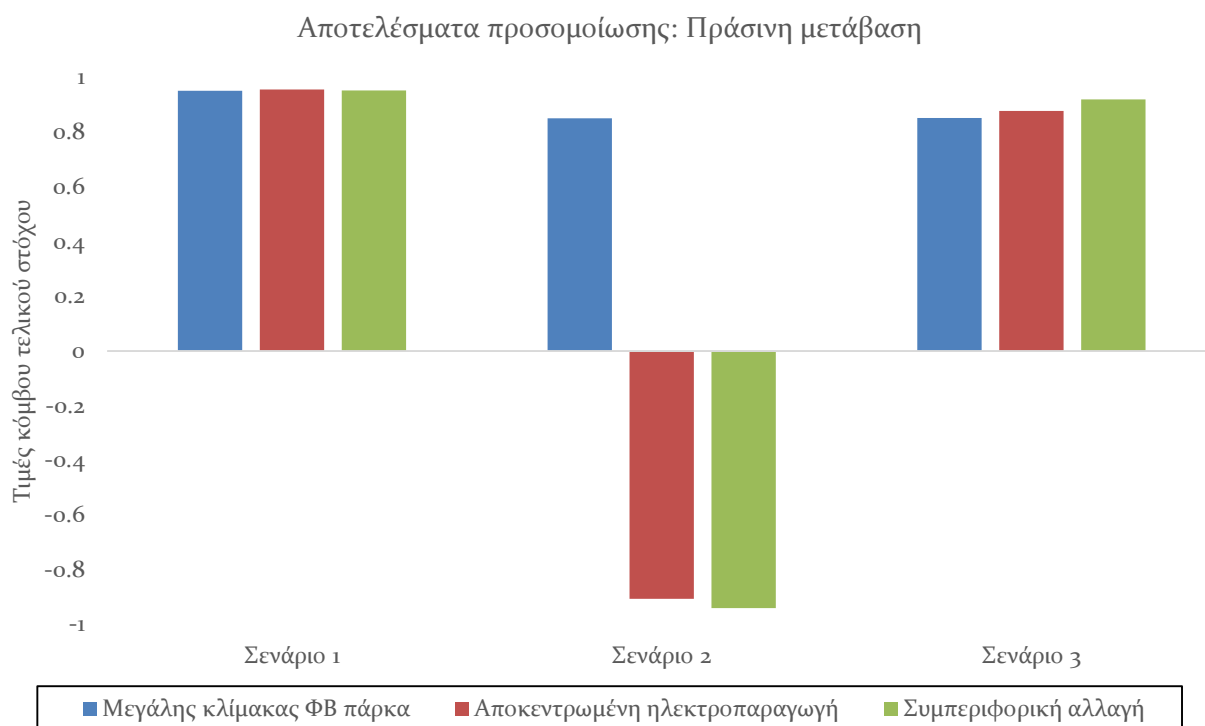
Εικόνα 6.18 Ο ΑΓΧ του Ολλανδικού ηλιακού τομέα, όπως σχεδιάστηκε σε μία συμμετοχική διαδικασία.

Ξεκινώντας από τα μέτρα πολιτικής και τις αβεβαιότητες, η μετάδοση της αιτιότητας στον τελικό στόχο, δηλαδή την *G*. Πράσινη μετάβαση, περιλαμβάνει σύμφωνα με τους εμπειρογνώμονες που συμμετείχαν τους ακόλουθους κόμβους συστήματος: *S1*. Συνεργασία ποικίλων ομάδων ενδιαφερόμενων φορέων, *S2*. Μακροπρόθεσμες προοπτικές, *S3*. Εμπιστοσύνη, *S4*. Επενδυτική ικανότητα, *S5*. Επενδύσεις και απασχόληση, *S6*. Εξοικονόμηση ενέργειας και υιοθέτηση των ΑΠΕ, *S7*. Οικονομικά κίνητρα για νοικοκυριά, *S8*. Επενδύσεις σε ΦΒ επί στέγης, *S9*. Αναβάθμιση υφιστάμενων κτιρίων, *S10*. Αύξηση του μεριδίου των ΑΠΕ, *S11*. Οικονομικά κίνητρα για μεγάλης κλίμακας ηλιακά έργα, *S12*. Επενδύσεις σε μεγάλα ηλιακά πάρκα, *S13*. Συνεννόηση με τοπικούς και εθνικούς φορείς, *S14*. Εκτίμηση τοπικών/περιφερειακών ενεργειακών δυνατοτήτων, *S15*. Διαμόρφωση τοπικής πολιτικής, *S16*. Κοινή αντίληψη περί εξοικονόμησης ενέργειας, *S17*. Αποδοχή και κοινωνική συμμόρφωση, *S18*. Συμπεριφορική αλλαγή, *S19*. Γνώση επί των ΑΠΕ στο κοινό, *S20*. Εποπτεία και ενημέρωση, *S21*. Έλεγχος των ενεργειακών λογαριασμών, *S22*. Κατασκευή νέων ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων, and *S23*. Εξειδικευμένα μαθήματα για επαγγελματίες του χώρου της ενέργειας.

Για την προσομοίωση του μοντέλου, χρησιμοποιήθηκε η τροποποιημένη συνάρτηση ενεργοποίησης των Nikas and Doukas (2016) που λαμβάνει υπόψιν τον χρόνο, ενώ ως συνάρτηση μεταφοράς επιλέχθηκε η υπερβολική εφαπτομένη.

6.5.5 Αποτελέσματα και συζήτηση

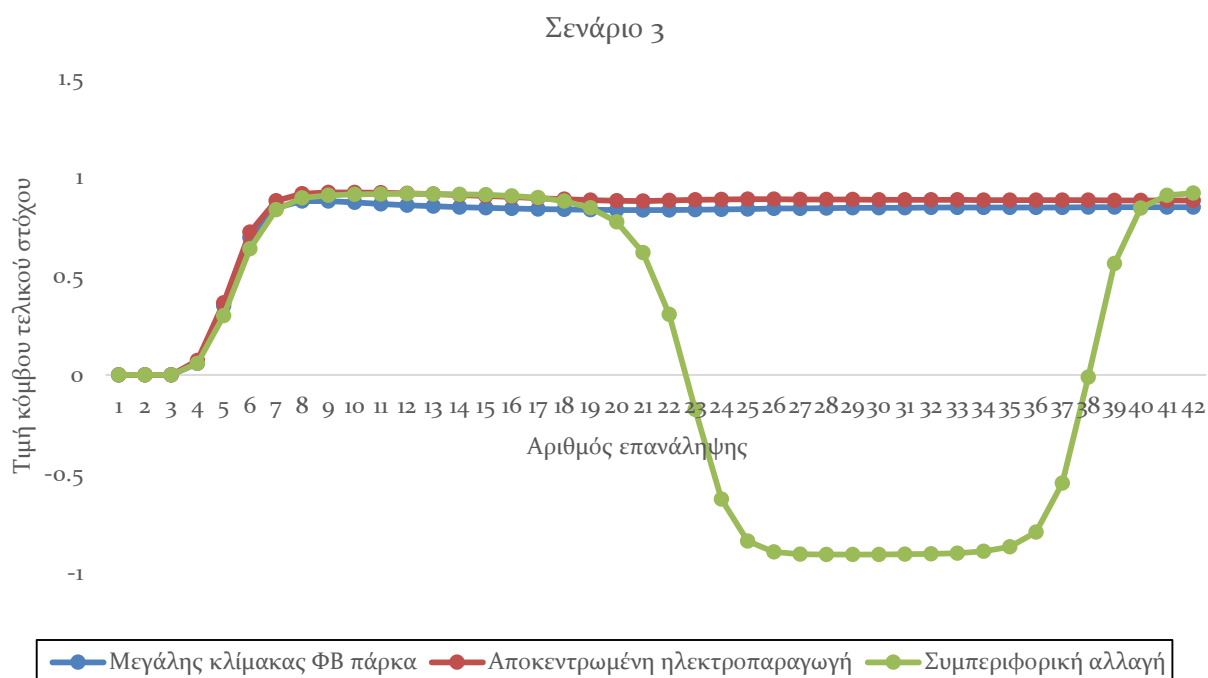
Τα τελικά αποτελέσματα της προσομοίωσης απεικονίζονται στην [Εικόνα 6.19](#). Είναι εμφανές ότι, για τα Σενάρια 1 και 3, υπάρχει μία ασθενής πλην συνεπής κατάταξη των τριών στρατηγικών. Συγκεκριμένα, οι εμπειρογνώμονες φαίνεται πως αντιλαμβάνονται ότι, όταν η χωροταξία σε επίπεδο αυτοδιοίκησης είναι αποτελεσματική και η οικονομική ανάπτυξη επιτρέπει τις επενδύσεις σε ηλιακή ενέργεια, η τρίτη στρατηγική (που εστιάζει στην συμπεριφορική αλλαγή μέσω ενημερωτικών καμπανιών, καλύτερης εποπτείας της ενεργειακής κατανάλωσης και εξειδικευμένα εκπαιδευτικά προγράμματα) προτιμάται, ακολουθούμενη από μία στρατηγική που βασίζεται στον κτιριακό τομέα και την αποκεντρωμένη ηλεκτροπαραγωγή από ΦΒ. Από την άλλη, είναι ενδιαφέρον ότι σε ένα λιγότερο αισιόδοξο σενάριο, σε όρους χρηματοδοτικής δυνατότητας και χωροταξικής αποτελεσματικότητας, μία έμφαση σε μεγάλα πάρκα όχι μόνο φαίνεται καλύτερη από την σκοπιά των εμπειρογνομώνων, αλλά είναι και η μόνη που καταφέρνει να ξεπεράσει τις δυσμενείς κοινωνικοοικονομικές συνθήκες, παρά το πιο σταθερό ρυθμιστικό πλαίσιο που σαφώς προωθεί τις επενδύσεις στα κτίρια. Αυτό το εύρημα υποδεικνύει ότι, για δεδομένες δυναμικές εντός του συστήματος, καθώς κινούμαστε προς ένα μέλλον που φέρει σημαντικές προκλήσεις ως προς όλες τις κοινωνικοοικονομικές διαστάσεις, ο κοινωνικός άξονας είναι αυτός που έχει τον καθοριστικό ρόλο στο πλαίσιο πολιτικής.



Εικόνα 6.19 Αποτελέσματα προσομοίωσης του ΑΓΧ για τις τρεις στρατηγικές, για τα τρία σενάρια.

Κοιτάζοντας πιο αναλυτικά κάθε επανάληψη της διαδικασίας προσομοίωσης για κάθε ένα από τα τρία σενάρια, το πιο ενδιαφέρον εύρημα αφορά το Σενάριο 3. Όπως φαίνεται στην [Εικόνα 6.20](#), παρότι η στρατηγική της συμπεριφορικής αλλαγής εν τέλει ξεπερνάει τις άλλες δύο στρατηγικές όπως έχει

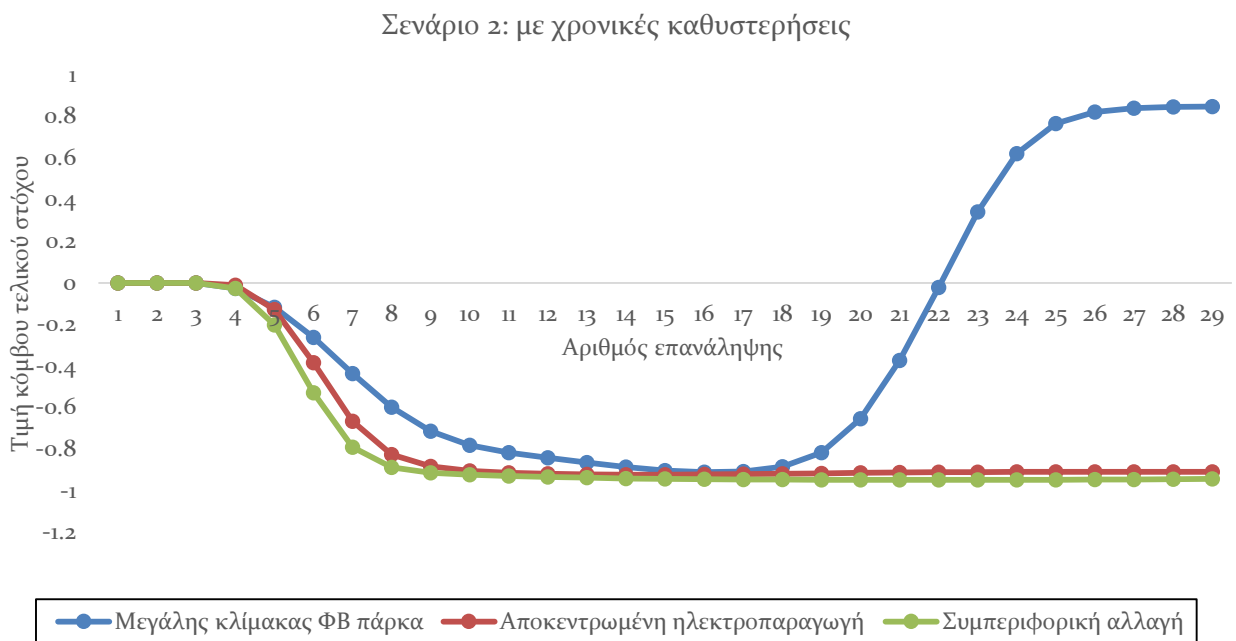
συζητηθεί παραπάνω, η τιμή του κόμβου της πράσινης μετάβασης σημειώνει μία αξιοσημείωτη πορεία: αρχικά, πηγαίνει καλύτερα από τις άλλες δύο στρατηγικές, στη συνέχεια αρνητικοποιείται, πριν εν τέλει συγκλίνει σε μία καλύτερη κατάσταση από τις άλλες δύο στρατηγικές κλιματικής πολιτικής. Μεταφράζοντας αυτό σε πολιτικό πλαίσιο, οι εμπειρογνώμονες αναμένουν ότι μία έμφαση σε μέτρα που αφορούν στην ενημέρωση των πολιτών, την καλύτερη κατάρτιση των επαγγελματιών του χώρου της ενέργειας και τον καλύτερο έλεγχο των λογαριασμών ηλεκτρικής ενέργειας σημειώνει σημαντική καθυστέρηση όσον αφορά την συνεισφορά της στην επιθυμητή συμπεριφορική αλλαγή. Αυτό, στη συνέχεια, μπορεί να θεωρηθεί ως μία ένδειξη ότι μία στρατηγική αποτελούμενη από πιο μαλακά μέτρα δεν αναμένεται να ανταποκριθεί στις προκλήσεις μετριασμού και προσαρμογής της κλιματικής αλλαγής ή τις δυσμενείς κοινωνικοοικονομικές συνθήκες μεσοπρόθεσμα· ωστόσο, αποδεικνύεται ότι αποτελεί το πλέον βιώσιμο μονοπάτι μακροπρόθεσμα, από την οπτική πλευρά των εμπειρογνομώνων. Αυτή η αντίληψη μπορεί σε μεγάλο βαθμό να αποδοθεί στις θεωρηθείσες χρονικές καθυστερήσεις των επιπτώσεων αυτών των μέτρων πολιτικής, σε αντίθεση με τις πιο άμεσες αλλά ασθενέστερες επιπτώσεις των πιο σκληρών, κυρίως οικονομικής φύσεως, μέτρων.



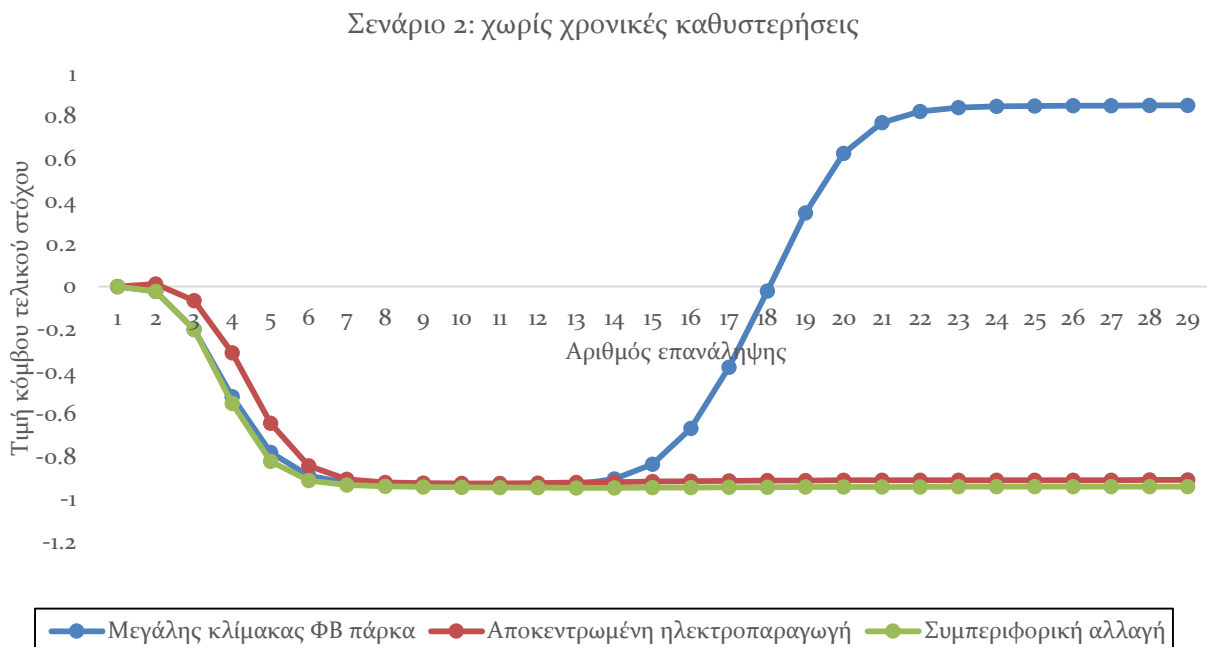
Εικόνα 6.20 Αποτελέσματα προσομοίωσης ΑΓΧ για το Σενάριο 3: ενδιάμεσες τιμές για τον κόμβο τελικού στόχου, μετά από κάθε επανάληψη, για τις τρεις στρατηγικές.

Για να καταστεί πιο κατανοητή η επίδραση της ενσωμάτωσης των αντιληφθεισών χρονικών καθυστερήσεων στο μεθοδολογικό πλαίσιο των ΑΓΧ, οι προσομοιώσεις για το Σενάριο 2 πραγματοποιήθηκαν και δεύτερη φορά, χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν οι χρονικές καθυστερήσεις στην συνάρτηση ενεργοποίησης. Παρότι το διάγραμμα της σταθερής κατάστασης (σύγκλισης), σε ολόκληρο το μοντέλο, δεν μεταβάλλεται (Nikas and Doukas, 2016), παρατηρούνται μεταβολές όσον αφορά τον χρονισμό των επιδράσεων κάθε στρατηγικής πολιτικής. Συγκεκριμένα, όταν αγνοείται η διάσταση του χρόνου, πέραν της ταχύτερης σύγκλισης στην τελική κατάσταση, η προτιμητέα (για αυτό το σενάριο) στρατηγική των μεγάλης κλίμακας ΦΒ πάρκων φαίνεται να μην υπερσχύει της πολιτικής έμφασης στον κτιριακό τομέα στο άμεσο μέλλον, πριν εν τέλει υπερσχύσει και των δύο στρατηγικών καθώς και καταφέρει να αντιμετωπίσει τις σε πολύ μεγάλο βαθμό δυσμενείς κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες (Εικόνα 6.21). Αντίθετα, η τροποποιημένη μεθοδολογία που λαμβάνει υπόψιν τη χρονική διάσταση

δείχνει ότι οι εμπειρογνώμονες αντιλαμβάνονται την συγκεκριμένη πολιτική κατεύθυνση της κεντρικής παραγωγής από μεγάλα ΦΒ έργα ως βέλτιστη τόσο μακροπρόθεσμα όσο και βραχυπρόθεσμα (Εικόνα 6.22).



Εικόνα 6.21 Αγνοώντας τη χρονική διάσταση: αποτελέσματα προσομοίωσης ΑΓΧ για το Σενάριο 2, χωρίς λαμβάνονται υπόψιν οι χρονικές καθυστερήσεις.



Εικόνα 6.22 Η επίδραση του χρόνου: αποτελέσματα προσομοίωσης ΑΓΧ για το Σενάριο 2, ενσωματώνοντας τις χρονικές καθυστερήσεις.

6.6 Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο, αναπτύχθηκε και παρουσιάστηκε μία εφαρμογή λογισμικού για τη σχεδίαση, ανάλυση, προσομοίωση και οπτικοποίηση σύνθετων ΑΓΧ, το ESQAPE. Με τη χρήση της γνώσης των εμπειρογνομόνων και της ασαφούς γνωστικής χαρτογράφησης, πραγματοποιείται η αξιολόγηση, έναντι ποικίλων κοινωνικοοικονομικών σεναρίων, ενεργειακών και κλιματικών στρατηγικών πολιτικών που αποτελούνται από επιμέρους μέτρα πολιτικής. Με σκοπό την θεώρηση των πιθανών κινδύνων και αβεβαιοτήτων, το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο κάνει χρήση σεναρίων που βασίζονται στην περιγραφή κατάλληλων κοινωνικοοικονομικών παραγόντων που συναποτελούν τα σχετικά με την μελέτη της κλιματικής αλλαγής και δράσης ΔΚΜ.

Η πρώτη και πιο σημαντική συνεισφορά αυτού του κεφαλαίου στην επιστημονική περιοχή του 'soft computing', των ΑΓΧ και της κλιματικής πολιτικής, βρίσκεται στην εφαρμογή των ΑΓΧ σε ένα πεδίο έως τώρα άγνωστο στην πρότερη έρευνα. Προηγούμενες μελέτες είτε εστίασαν σε άλλα επιστημονικά πεδία (π.χ. σχεδιασμό ηλεκτροπαραγωγής, ανανεώσιμη ενέργεια, μεταφορές, περιβαλλοντική πολιτική, κλπ.) είτε ήταν πολύ περιορισμένο το αντικείμενό τους. Μία επιπρόσθετη καινοτομία υλοποίησης σχετική με το πεδίο εφαρμογής αφορά στη χρήση των ΑΓΧ για την αξιολόγηση μιγμάτων πολιτικής που αποτελούνται από πολλαπλά μέτρα, αντί της αξιολόγησης μεμονωμένων πολιτικών, όπως συμβαίνει συνήθως. Επίσης, καμία έως τώρα μελέτη στη σχετική βιβλιογραφία δεν έχει επιχειρήσει τη διασύνδεση του πλαισίου των ΔΚΜ (O'Neill et al., 2014) με τους ΑΓΧ, με σκοπό τον προσδιορισμό και την ποσοτικοποίηση κινδύνων/αβεβαιοτήτων και παραγόντων σεναρίων. Αντίθετα στην πλειοψηφία των σχετικών μελετών, η χρονική διάσταση επίσης λαμβάνεται υπόψιν ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα και για την αναμενόμενη πορεία των επιπτώσεων κάθε στρατηγικής.

Τα αποτελέσματα αυτής της καινοτόμου εφαρμογής υποδεικνύουν ότι η χρήση των ΑΓΧ (τόσο αναφορικά με την συγκεκριμένη μεθοδολογική προσέγγιση όσο και με τους ΑΓΧ γενικότερα) είναι πολλά υποσχόμενη στη σχεδίαση και αξιολόγηση πολιτικών, από την οπτική γωνία των φορέων χάραξης πολιτικής αλλά και άλλων ενδιαφερόμενων ομάδων. Σε αυτήν την περίπτωση, οι ΑΓΧ κατέστησαν εφικτή την εξαγωγή και καταγραφή της γνώσης των εμπειρογνομόνων για την παραγωγή λεπτομερών και εκλεπτυσμένων πληροφοριών, αφενός για την ενίσχυση της ενεργειακής αποδοτικότητας στην Ελλάδα και αφετέρου για την πράσινη μετάβαση του ολλανδικού ενεργειακού τομέα με βάση την ηλιακή ενέργεια. Συγκεκριμένα, η πρώτη εφαρμογή έδειξε ότι τα μακροπρόθεσμα μέτρα ενεργειακής αποδοτικότητας που στοχεύουν στην συμπεριφορική αλλαγή στον οικιακό τομέα θεωρούνται πιο βιώσιμα από στρατηγικές που στοχεύουν τον επιχειρηματικό κόσμο και τον δημόσιο κτιριακό τομέα, σε ένα κοινωνικοοικονομικά αισιόδοξο μέλλον. Ωστόσο, όταν οι προκλήσεις στην κλιματική δράση αναμένονται να είναι μεγαλύτερες, η επένδυση σε μία μετάβαση του ευρύτερου δημόσιου κτιριακού τομέα θεωρείται από τους εμπειρογνώμονες ως η πλέον κατάλληλη. Παρόμοια σε έναν βαθμό αποτελέσματα είχε και η δεύτερη μελέτη περίπτωσης, στην Ολλανδία, καθώς και πάλι τα πιο μαλακά μέτρα που αποτελούνται από ενημερωτικές καμπάνιες, εκπαιδευτικά προγράμματα και πιο αποτελεσματικές μετρήσεις της ενεργειακής κατανάλωσης θεωρούνται πιο βιώσιμη παρότι λιγότερο άμεση λύση για την πράσινη μετάβαση του ενεργειακού τομέα της χώρας. Τα αποτελέσματα και στις δύο μελέτες αντιστρέφονται καθώς το μέλλον προδιαγράφεται ολοένα και πιο δυσόιωνο.

Επιπροσθέτως, η ενσωμάτωση των χρονισμένων διαδράσεων και σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος στα μοντέλα ΑΓΧ φαίνεται να φέρουν σημαντική προστιθέμενη αξία. Στην πραγματικότητα, οι σχέσεις σε ένα σύστημα καθώς και οι επιδράσεις των πολιτικών ή των κινδύνων δεν είναι στιγμιαίες και άμεσες·

αντίθετα, ενδέχεται να φέρουν σημαντικές καθυστερήσεις ως προς τη δράση και ανάδρασή τους. Η μοντελοποίηση αυτού του επιπέδου λεπτομέρειας των διαδράσεων παρείχε ένα επιπλέον επίπεδο ρεαλισμού και επέτρεψε την παραγωγή βάσιμων προβλέψεων για την εξέλιξη και τα αποτελέσματα των προτεινόμενων μιγμάτων πολιτικής. Στην πρώτη μελέτη περίπτωσης, για παράδειγμα, μία έμφαση στο εμπνευσμένο από τα ιστορικά πρότυπα μετριοπαθές σενάριο που φέρει μέτριες δυσκολίες τόσο μετριασμού της κλιματικής πολιτικής όσο και προσαρμογής σε αυτήν, οι παρεμβάσεις στον ευρύτερο δημόσιο κτιριακό τομέα εμφανίζουν αργοπορημένη συνεισφορά αλλά εν τέλει υπερσχύουν των άλλων δύο στρατηγικών. Η σημασία της μοντελοποίησης των χρονισμένων αιτιωδών σχέσεων γίνεται εμφανής κατά την αξιολόγηση των στρατηγικών στο ίδιο σενάριο υπό ένα λιγότερο ρεαλιστικό «στιγμιαίο» μοντέλο, έναντι ενός πιο πραγματικού «δυναμικού» μοντέλου. Οι δύο εφαρμογές υπέδειξαν ότι οι διαφορές μεταξύ των δύο προσεγγίσεων δεν είναι ασήμαντες

Η δεύτερη σημαντική συνεισφορά και καινοτομία υλοποίησης του κεφαλαίου αφορά στις προδιαγραφές και δυνατότητες του εργαλείου ESQAPE, το οποίο αναπτύχθηκε, παρουσιάστηκε και χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς στις δύο μελέτες περίπτωσης. Προηγούμενες μελέτες στον ευρύτερο χώρο της ενέργειας, του περιβάλλοντος και του κλίματος έχουν αξιοποιήσει μία πληθώρα συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των FCMapper (Wildenberg et al., 2010 και Christen et al., 2015), εφαρμογών στην R (Soler et al., 2012 και Vanwindekens et al., 2013), Mental Modeler (Gray et al., 2013 και Gray et al., 2015), και άλλων εφαρμογών λογισμικού (Rajaram and Das, 2010· Meliadou et al., 2012· Kyriakarakos et al., 2014· και Mourhir et al., 2016). Μέχρι στιγμής, πολύ λίγοι ερευνητές σε αυτά τα πεδία χρησιμοποίησαν την MATLAB ως την πλατφόρμα υλοποίησης (π.χ. Zhang et al., 2013 και Natarajan et al., 2016). Η χρήση της MATLAB διευκόλυνε την ανάπτυξη μίας προσαρμοσμένης, εξειδικευμένης και φιλικής προς τον χρήστη διεπαφής, καθώς και πολλαπλών επιλογών εισόδου-εξόδου, με την ευελιξία εισαγωγής και εξαγωγής διαφορετικών τύπων αρχείων για την αποθήκευση και οπτικοποίηση της δομής και πληροφορίας των ΑΓΧ. Επίσης, επέτρεψε την ενσωμάτωση προχωρημένων δυνατοτήτων οπτικοποίησης, με δυνατότητες απεικόνισης τόσο εντός του εργαλείου όσο και εκτός μέσω της εξαγωγής πρότυπων αρχείων GML, και στοιχεία διάδρασης με τον χρήστη γύρω από έναν στέρεο, υπολογιστικό πυρήνα προσομοίωσης, επαληθεύοντας έτσι ότι η MATLAB μπορεί να παρέχει ευελιξία στη σχεδίαση και ανάπτυξη προσαρμοσμένων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων.

Οι περιορισμοί και οι προοπτικές για περαιτέρω έρευνα μπορούν να οργανωθούν σε δύο βασικές διαστάσεις, τη μεθοδολογική και την τεχνική. Από μεθοδολογικής πλευράς, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα των εφαρμογών οφείλουν να λαμβάνονται υπόψιν παράλληλα με την ποιοτική ή ψευδο-ποσοτική διάσταση της μεθοδολογίας των ΑΓΧ. Οι ΑΓΧ δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατο των μεθόδων και πλαισίων ποσοτικής μοντελοποίησης (όπως τα μοντέλα ενεργειακών συστημάτων και κλίματος-οικονομίας). Ιδανικά, οι προσεγγίσεις των ΑΓΧ πρέπει να χρησιμοποιούνται συνδυαστικά με αυτά τα μοντέλα. Για τον λόγο αυτό, όπως προτείνεται στο [Κεφάλαιο 2](#), το προτεινόμενο πλαίσιο και τα αποτελέσματά του μπορούν προοπτικά να συνδυαστούν με άλλες επιστημονικές προσεγγίσεις και σε διαφορετικά στάδια ολοκληρωμένων διεργασιών, προκειμένου οι φορείς χάραξης πολιτικής να έχουν πρόσβαση σε αποτελεσματική και διαφανή υποστήριξη αποφάσεων και αξιόπιστα αποτελέσματα. Για παράδειγμα, οι Van Vliet et al. (2010) και Mallampalli et al. (2016) χρησιμοποίησαν τους ΑΓΧ ως ένα εργαλείο επικοινωνίας και εκμάθησης για να φέρουν τους εμπειρογνώμονες πιο κοντά στα μοντέλα και τους ερευνητές και να πληροφορήσουν καλύτερα και δομημένα τις ασκήσεις μοντελοποίησης με αφηγήματα σεναρίων, ενώ οι Anezakis et al. (2016) χρησιμοποίησαν σενάρια από κλιματικά μοντέλα για να αναλύσουν τους παράγοντες που συμβάλλουν στην ατμοσφαιρική ρύπανση, μέσω προσομοιώσεων ΑΓΧ. Άλλες μεθοδολογικές προοπτικές περιλαμβάνουν την αξιοποίηση της χρονικής διάστασης με άλλες τεχνικές στη

βιβλιογραφία (π.χ. Biloslavo and Dolinšek 2010 και Mourhir et al., 2016), καθώς και βάσεων δεδομένων σε συνδυασμό με την ανθρώπινη γνώση (π.χ. Parageorgiou et al., 2004).

Από τεχνικής πλευράς, μπορούν να διερευνηθούν επιπρόσθετες βελτιώσεις στο εργαλείο ESQAPE. Πέραν των πλεονεκτημάτων της απεριόριστης ελευθερίας και δομής, οι ΑΓΧ χαρακτηρίζονται από έναν σημαντικό περιορισμό: προκειμένου ο χάρτης οπτικά να παραμένει παραγωγικός και να διατηρεί νόημα για τους χρήστες του, η βιβλιογραφία προτείνει ότι οι κόμβοι καλό είναι να μην ξεπερνούν τους τριάντα (Özesmi and Özesmi, 2004). Παρότι το ESQAPE επιτρέπει την πραγματοποίηση προσομοιώσεων για οποιονδήποτε χάρτη, ανεξαρτήτως μεγέθους και πολυπλοκότητας, η οπτικοποίηση του ΑΓΧ προς το παρόν βασίζεται αποκλειστικά σε τρίτες εφαρμογές για την απεικόνιση και επεξεργασία αρχείων GML, όπως ο yEd Editor, και τους ενσωματωμένους σε αυτές αλγορίθμους βελτιστοποίησης διάταξης. Μία μελλοντική έκδοση του ESQAPE θα πρέπει να περιλαμβάνει την εσωτερική δυνατότητα βελτιστοποίησης της διάταξης του μοντέλου ΑΓΧ, κάνοντας χρήση μεγάλου αριθμού αλγορίθμων, επιτρέποντας στους χρήστες να προσομοιώνουν αλλά και να εμποτεύουν οπτικά το μοντέλο τους αποτελεσματικά. Τέλος, αρκετές τεχνικές βελτιώσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν, όπως η υποστήριξη περισσότερων τύπων αρχείων καθώς και αναβαθμίσεις επιδόσεων.

6.7 Βιβλιογραφία

- Aguilar, J., & Contreras, J. (2010). The FCM designer tool. *Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications*, Ed. Glikas Mixalis, Springer, 71-88.
- Amer, M., Daim, T. U., & Jetter, A. (2016). Technology roadmap through fuzzy cognitive map-based scenarios: the case of wind energy sector of a developing country. *Technology Analysis & Strategic Management*, 28(2), 131-155.
- Anezakis, V. D., Dermetzis, K., Iliadis, L., & Spartalis, S. (2016). Fuzzy cognitive maps for long-term prognosis of the evolution of atmospheric pollution, based on climate change scenarios: the case of Athens. In *International Conference on Computational Collective Intelligence* (pp. 175-186). Springer, Cham.
- Biloslavo, R. and Dolinšek, S. (2010). Scenario planning for climate strategies development by integrating group Delphi, AHP and dynamic fuzzy cognitive maps. *Foresight*, 12(2), 38-48.
- Brown, S. M. (1992). Cognitive mapping and repertory grids for qualitative survey research: some comparative observations. *Journal of Management Studies*, 29(3), 287-307.
- Ceccato, L. (2012). Three Essays on participatory processes and Integrated Water Resource Management in developing countries.
- Celik, F.D., Ozesmi, U., & Akdogan, A. (2005). Participatory Ecosystem Management Planning at Tuzla Lake (Turkey) Using Fuzzy Cognitive Mapping. arXiv preprint q-bio/0510015.
- Christen, B., Kjeldsen, C., Dalgaard, T., & Martin-Ortega, J. (2015). Can fuzzy cognitive mapping help in agricultural policy design and communication?. *Land Use Policy*, 45, 64-75.
- De Franciscis, D. (2014). JFCM: A Java Library for FuzzyCognitive Maps. In *Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering* (pp. 199-220). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Dickerson, J. A., & Kosko, B. (1994). Virtual worlds as fuzzy cognitive maps. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 3(2), 173-189.
- Doukas, H., Nikas, A., González-Eguino, M., Arto, I., & Anger-Kraavi, A. (2018). From Integrated to Integrative: Delivering on the Paris Agreement. *Sustainability*, 10(7), 2299.
- ECN (2017). *Nationale Energieverkenning 2017*, Energy research Centre of the Netherlands, The Netherlands.
- Eden, C., & Ackermann, F. (1998). *Strategy making: The journey of strategic management*. Sage, London

- European Commission (2017). Renewable Energy Progress Report, COM (2017) 57 final. Brussels, Belgium.
- Fawcett, T., Rosenow, J., & Bertoldi, P. (2017). The future of energy efficiency obligation schemes in the EU.
- Forouli, A., Gkonis, N., Nikas, A., Siskos, E., Doukas, H., Tourkolias, C. (2018, in revision). Energy Efficiency promotion in Greece in light of risk: evaluating policies as portfolio assets. *Energy*.
- Ghaderi, S. F., Azadeh, A., Nokhandan, B. P., & Fathi, E. (2012). Behavioral simulation and optimization of generation companies in electricity markets by fuzzy cognitive map. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 4635-4646.
- Gray, S. A., Gray, S., Cox, L. J., & Henly-Shepard, S. (2013). Mental modeler: a fuzzy-logic cognitive mapping modeling tool for adaptive environmental management. In *System Sciences (HICSS)*, 2013 46th Hawaii International Conference on (pp. 965-973). IEEE.
- Gray, S. A., Gray, S., De Kok, J. L., Helfgott, A. E., O'Dwyer, B., Jordan, R., & Nyaki, A. (2015). Using fuzzy cognitive mapping as a participatory approach to analyze change, preferred states, and perceived resilience of social-ecological systems. *Ecology and Society*, 20(2).
- Gray, S. R. J., Gagnon, A. S., Gray, S. A., O'Dwyer, B., O'Mahony, C., Muir, D., Devoy, R.J.N., Falaleeva, M., & Gault, J. (2014). Are coastal managers detecting the problem? Assessing stakeholder perception of climate vulnerability using Fuzzy Cognitive Mapping. *Ocean & Coastal Management*, 94, 74-89.
- Groumpos, P. P. (2010). Fuzzy Cognitive Maps: Basic Theories and Their Application to Complex Systems. In Glykas, M. (ed.), *Fuzzy Cognitive Maps*, 1-22, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hellenic Ministry of Environment and Energy (2014). 3rd National Energy Efficiency Action Plan of Greece.
- Hellenic Ministry of Environment and Energy (2017). 4th National Energy Efficiency Action Plan of Greece.
- Hsueh, S. L. (2015). Assessing the effectiveness of community-promoted environmental protection policy by using a Delphi-fuzzy method: A case study on solar power and plain afforestation in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 1286-1295.
- Huang, S. C., Lo, S. L., & Lin, Y. C. (2013). Application of a fuzzy cognitive map based on a structural equation model for the identification of limitations to the development of wind power. *Energy policy*, 63, 851-861.
- Huff, A. S. (1990). *Mapping strategic thought*. John Wiley & Sons.
- International Energy Agency (2011). *Energy Policies of IEA Countries, Greece, 2011 Review*, Paris, France.
- Jamshidi, A., Rahimi, S. A., Ruiz, A., Ait-kadi, D. and Rebaiaia, M. L. (2016). Application of FCM for advanced risk assessment of complex and dynamic systems. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1910-1915.
- Kaplanoglou, G., & Rapanos, V. T. (2018). Evolutions in consumption inequality and poverty in Greece: The impact of the crisis and austerity policies. *Review of Income and Wealth*, 64(1), 105-126.
- Karavas, C. S., Kyriakarakos, G., Arvanitis, K. G., & Papadakis, G. (2015). A multi-agent decentralized energy management system based on distributed intelligence for the design and control of autonomous polygeneration microgrids. *Energy Conversion and Management*, 103, 166-179.
- Kayikci, Y., & Stix, V. (2014). Causal mechanism in transport collaboration. *Expert Systems with Applications*, 41(4), 1561-1575.
- Kok, K. (2009). The potential of Fuzzy Cognitive Maps for semi-quantitative scenario development, with an example from Brazil. *Global Environmental Change*, 19(1), 122-133.
- Kontogianni, A., Tourkolias, C., & Papageorgiou, E. I. (2013). Revealing market adaptation to a low carbon transport economy: tales of hydrogen futures as perceived by fuzzy cognitive mapping. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(2), 709-722.
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of man-machine studies*, 24(1), 65-75.
- Kyriakarakos, G., Dounis, A. I., Arvanitis, K. G., & Papadakis, G. (2012). A fuzzy cognitive maps-petri nets energy management system for autonomous polygeneration microgrids. *Applied Soft Computing*, 12(12), 3785-3797.
- Kyriakarakos, G., Patlitzianas, K., Damasiotis, M., & Papastefanakis, D. (2014). A fuzzy cognitive maps decision support system for renewables local planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 209-222.

- León, M., Nápoles, G., Rodríguez, C., García, M. M., Bello, R., & Vanhoof, K. (2011). A fuzzy cognitive maps modeling, learning and simulation framework for studying complex system. In *International Work-Conference on the Interplay between Natural and Artificial Computation* (pp. 243-256). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Mallampalli, V. R., Mavrommati, G., Thompson, J., Duveneck, M., Meyer, S., Ligmann-Zielinska, A., Druschke, C.G., Hychka, K., Kenney, M.A., Kok, K., & Borsuk, M. E. (2016). Methods for translating narrative scenarios into quantitative assessments of land use change. *Environmental Modelling & Software*, 82, 7-20.
- Margaritis, M., Stylios, C., & Groumpos, P. (2002). Fuzzy cognitive map software. In *10th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks SoftCom* (pp. 8-11).
- Meliadou, A., Santoro, F., Nader, M. R., Dagher, M. A., Al Indary, S., & Salloum, B. A. (2012). Prioritising coastal zone management issues through fuzzy cognitive mapping approach. *Journal of environmental management*, 97, 56-68.
- Ministerie van Economische Zaken (2016). *Energierapport Transitie naar Duurzaam*. Ministerie van Economische Zaken Den Haag, Den Haag, The Netherlands (In Dutch).
- Mourhir, A., Rachidi, T., Papageorgiou, E. I., Karim, M. and Alaoui, F. S. (2016). A cognitive map framework to support integrated environmental assessment. *Environmental Modelling & Software*, 77, 81-94.
- Mpelogianni, V., Marnetta, P., & Groumpos, P. P. (2015). Fuzzy Cognitive Maps in the Service of Energy Efficiency. *IFAC-PapersOnLine*, 48(24), 1-6.
- Nápoles, G., Leon, M., Grau, I., & Vanhoof, K. (2017). Fuzzy Cognitive Maps Tool for Scenario Analysis and Pattern Classification. In *Tools with Artificial Intelligence (ICTAI), 2017 IEEE 29th International Conference on* (pp. 644-651). IEEE.
- Natarajan, R., Subramanian, J., & Papageorgiou, E. I. (2016). Hybrid learning of fuzzy cognitive maps for sugarcane yield classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 147-157.
- Nikas, A. and Doukas, H. (2016). Developing robust climate policies: a fuzzy cognitive map approach. In *Robustness Analysis in Decision Aiding, Optimization, and Analytics*, pp. 239-263. Springer, Cham.
- Nikas, A., Doukas, H., Lieu, J., Alvarez Tinoco, R., Charisopoulos, V. and van der Gaast, W. (2017). Managing stakeholder knowledge for the evaluation of innovation systems in the face of climate change. *Journal of Knowledge Management*, 21(5), 1013-1034.
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D.P., Birkmann, J., Kok, K. and Levy, M. (2017). The roads ahead: narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169-180.
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K. L., Hallegatte, S., Carter, T. R., Mathur, R., & van Vuuren, D. P. (2014). A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122(3), 387-400.
- Olazabal, M., & Pascual, U. (2016). Use of fuzzy cognitive maps to study urban resilience and transformation. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 18, 18-40.
- Oteman, M., Kooij, H. J. and Wiering, M. A. (2017). Pioneering renewable energy in an economic energy policy system: The history and development of Dutch grassroots initiatives. *Sustainability*, 9(4), 550.
- Özesmi, U., & Özesmi, S. (2003). A participatory approach to ecosystem conservation: fuzzy cognitive maps and stakeholder group analysis in Uluabat Lake, Turkey. *Environmental management*, 31(4), 0518-0531.
- Özesmi, U., & Özesmi, S. L. (2004). Ecological models based on people's knowledge: a multi-step fuzzy cognitive mapping approach. *Ecological modelling*, 176(1-2), 43-64.
- Papageorgiou, E. I., Stylios, C. D. and Groumpos, P. P. (2004). Active Hebbian learning algorithm to train fuzzy cognitive maps. *International journal of approximate reasoning*, 37(3), 219-249.
- Papageorgiou, E., & Kontogianni, A. (2012). *Using fuzzy cognitive mapping in environmental decision making and management: a methodological primer and an application*. INTECH Open Access Publisher.

- Papaioannou, M., Neocleous, C., Sofokleous, A., Mateou, N., Andreou, A., & Schizas, C. N. (2010). A generic tool for building fuzzy cognitive map systems. In IFIP International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations (pp. 45-52). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Poczęta, K., Yastrebov, A., & Papageorgiou, E. I. (2015). Learning fuzzy cognitive maps using structure optimization genetic algorithm. In Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2015 Federated Conference on (pp. 547-554). IEEE.
- Rajaram, T., & Das, A. (2010). Modeling of interactions among sustainability components of an agro-ecosystem using local knowledge through cognitive mapping and fuzzy inference system. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1734-1744.
- Reckien, D. (2014). Weather extremes and street life in India—Implications of Fuzzy Cognitive Mapping as a new tool for semi-quantitative impact assessment and ranking of adaptation measures. *Global Environmental Change*, 26, 1-13.
- S. Mohr, "Software design for a fuzzy cognitive map modeling tool", Tensselaer Polytechnic Institute, 1997.
- Shiau, T. A., & Liu, J. S. (2013). Developing an indicator system for local governments to evaluate transport sustainability strategies. *Ecological Indicators*, 34, 361-371.
- Soler, L. S., Kok, K., Camara, G., & Veldkamp, A. (2012). Using fuzzy cognitive maps to describe current system dynamics and develop land cover scenarios: a case study in the Brazilian Amazon. *Journal of Land Use Science*, 7(2), 149-175.
- Stach, W., Kurgan, L., & Pedrycz, W. (2010). Expert-based and computational methods for developing fuzzy cognitive maps. In *Fuzzy Cognitive Maps* (pp. 23-41). Springer Berlin Heidelberg.
- Trianni, A., Cagno, E., & Farné, S. (2016). Barriers, drivers and decision-making process for industrial energy efficiency: A broad study among manufacturing small and medium-sized enterprises. *Applied Energy*, 162, 1537-1551.
- Van Leeuwen, R. P., de Wit, J. B. and Smit, G. J. M. (2017). Review of urban energy transition in the Netherlands and the role of smart energy management. *Energy Conversion and Management*, 150, 941-948.
- van Vliet, M., Kok, K., & Veldkamp, T. (2010). Linking stakeholders and modellers in scenario studies: The use of Fuzzy Cognitive Maps as a communication and learning tool. *Futures*, 42(1), 1-14.
- Vanwindekens, F. M., Stilmant, D., & Baret, P. V. (2013). Development of a broadened cognitive mapping approach for analysing systems of practices in social-ecological systems. *Ecological Modelling*, 250, 352-362.
- Vergini, E. and Groumpos, P. (2017). New concerns on fuzzy cognitive maps equation and sigmoid function. In 25th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED), 2017, 1113-1118. IEEE.
- Vergini, E. S., & Groumpos, P. P. (2016). A new conception on the fuzzy cognitive maps method. *IFAC-PapersOnLine*, 49(29), 300-304.
- Vergini, E. S., & Groumpos, P. P. (2015). A critical overview of net zero energy buildings and fuzzy cognitive maps. *International Journal of Monitoring and Surveillance Technologies Research (IJMSTR)*, 3(3), 20-43.
- Verhees, B., Raven, R., Veraart, F., Smith, A. and Kern, F. (2013). The development of solar PV in The Netherlands: A case of survival in unfriendly contexts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 275-289.
- Wildenberg, M., Bachhofer, M., Adamescu, M., De Blust, G., Diaz-Delgadod, R., Isak, K. G. Q., Skov, F., & Riku, V. (2010). Linking thoughts to flows-Fuzzy cognitive mapping as tool for integrated landscape modelling. In *Proceedings of the 2010 International Conference on Integrative Landscape Modelling*. Symposcience, Cemagref, Cirad, Ifremer, Inra, Montpellier. <http://www.symposcience.org/exl-php/articles/651-article.htm>. Accessed (Vol. 20).
- Zhang, H., Song, J., Su, C., & He, M. (2013). Human attitudes in environmental management: Fuzzy Cognitive Maps and policy option simulations analysis for a coal-mine ecosystem in China. *Journal of environmental management*, 115, 227-234.

7ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

7.1 Εισαγωγή

Η προώθηση μονοπατιών μετάβασης σε κοινωνίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα μπορεί μόνο να επιτευχθεί μέσα από εύρωστες διαδικασίες χάραξης πολιτικών που λαμβάνουν υπόψιν τους διαφορετικούς τύπους κινδύνου και αβεβαιότητας που είναι αλληλένδετοι με την κλιματική αλλαγή και τη σχεδίαση, εφαρμογή και αποδοχή σχετικών με αυτήν πολιτικών. Η υποστήριξη αποφάσεων στην κλιματική πολιτική σχεδόν εξ ολοκλήρου έρχεται με τη μορφή των ΜΟΑ, τα οποία έχουν σε μεγάλο βαθμό συνεισφέρει στην κατανόηση των περίπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ ενέργειας, κλίματος, οικονομίας και όλων των διαστάσεων της ανθρώπινης δραστηριότητας καθώς και όλων των επιπτώσεων των πιθανών στρατηγικών πολιτικής σε κάθε μία από αυτές τις υπομονάδες (Κεφάλαιο 3).

Για την καταγραφή αυτών των αλληλεπιδράσεων, η δομή των μοντέλων αυτών έχει αναπόφευκτα και σημαντικά διογκωθεί, και η μη διαθεσιμότητα δεδομένων υποκαθίσταται από πολυάριθμες υποθέσεις που σκοπό έχουν την προσπάθεια αντιμετώπισης της αβεβαιότητας. Ως αποτέλεσμα αυτής της δύσκολης, αμιγώς δεδομενοκεντρικής διαδικασίας ποσοτικής μοντελοποίησης κλίματος-οικονομίας, υπάρχει πολύ περιορισμένος χώρος για τους φορείς χάραξης πολιτικής καθ'αυτούς καθώς και άλλες ομάδες ενδιαφερόμενων φορέων να συμμετέχουν και να προσφέρουν την εμπειρία και τις γνώσεις τους για τη γεφύρωση των γνωσιακών χασμάτων. Αυτή η εξαίρεση του ανθρώπινου παράγοντα από την εξίσωση, σε συνδυασμό με την προαναφερθείσα πολυπλοκότητα, καθιστούν τους φορείς χάραξης πολιτικής απρόθυμους να εμπιστευτούν και να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα των μοντέλων. Είναι εμφανές ότι υπάρχει σημαντική ανάγκη για κατάλληλα πλαίσια υποστήριξης αποφάσεων για τη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ εμπειρογνομόνων και επιστημόνων.

Σε αυτήν την κατεύθυνση, η συμμετοχή των εμπειρογνομόνων στις επιστημονικές διεργασίες έχει αρχίσει να προσελκύει ολοένα και μεγαλύτερη προσοχή στις περιβαλλοντικές και κλιματικές μελέτες (van Vliet et al., 2010), όπως επίσης και η εφαρμογή διαφορετικών ανθρωποκεντρικών προσεγγίσεων υποστήριξης αποφάσεων (Nikas et al., 2017). Μία τέτοια προσέγγιση μπορεί να βρεθεί στα ΠΣΥΑ, τα οποία αποτελούν ένα υποσύνολο εργαλείων της Επιχειρησιακής Έρευνας, τα οποία εστιάζουν στην υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων σε πολυδιάστατους χώρους προβλημάτων, όπου διαφορετικές εναλλακτικές πρέπει να αξιολογηθούν έναντι διαφορετικών κριτηρίων αξιολόγησης, σε διαφορετικές διαστάσεις των χώρων αυτών. Παρά την ιδιαίτερα καθυστερημένη αρχή, λόγω έλλειψης κατάλληλων κατευθυντήριων γραμμών (Borges and Villavicencio 2004), τα ΠΣΥΑ λαμβάνουν ολοένα

και μεγαλύτερη σημασία στον χώρο της κλιματικής πολιτικής, κυρίως λόγω της ανάγκης προσδιορισμού παραμέτρων σεναρίων (π.χ. τεχνολογικές προτιμήσεις, διακριτές τιμές αβέβαιων παραμέτρων, πιθανές μελλοντικές κοινωνικοοικονομικές εξελίξεις, απαιτήσεις σχετικά με το κλίμα και την οικονομία, κλπ.), καθώς και λόγω της αυξανόμενης δημοφιλίας των ΠΣΥΑ σε μελέτες ενεργειακής πολιτικής (Doukas, 2013), η οποία εύλογα αποτελεί μία κεντρική πτυχή της κλιματικής πολιτικής: το ενεργειακό σύστημα αποτελεί τον σπουδαιότερο παράγοντα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Bruckner et al., 2014) και βρίσκεται στην καρδιά όλων των οικονομικών δραστηριοτήτων.

Φυσικά, τα ΠΣΥΑ ενσωματώνουν ένα ποικίλο σύνολο διαφορετικών μεθοδολογιών, οι οποίες φέρουν ποικίλα χαρακτηριστικά και βασίζονται σε θεμελιωδώς διαφορετικές προσεγγίσεις, ενώ μπορούν να εφαρμοστούν σε πολύ μεγάλο αριθμό πεδίων και προβλημάτων χώρου. Ένας πρωταρχικός στόχος αυτού του κεφαλαίου, επομένως, είναι η κριτική επισκόπηση μελετών σχετικών με την κλιματική πολιτική στη βιβλιογραφία των ΠΣΥΑ, με έμφαση στη δυνατότητα ολοκλήρωσής των με διαφορετικά πλαίσια μοντελοποίησης.

Η επισκόπηση αυτή είναι πιο εστιασμένη από αυτήν του [Κεφαλαίου 4](#), εφόσον αποσκοπεί στην επιλογή της κατάλληλης προσέγγισης ΠΣΥΑ. Αξίζει να σημειωθεί ότι μία κρίσιμη πτυχή των ΠΣΥΑ, από την οποία η επιλογή του κατάλληλου μεθοδολογικού πλαισίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό, βρίσκεται στην έμφυτη δυνατότητα υποστήριξης πολλαπλών εμπειρογνομόνων· δεδομένου ότι είναι επιθυμητή η συμμετοχή διαφορετικών ενδιαφερόμενων φορέων με διαφορετικούς τύπους και επίπεδα γνώσης επί διαφορετικών διαστάσεων του χώρου προβλήματος (Xu et al., 2015), είναι ζωτικής σημασίας η έμφαση στην πτυχή εκείνη των ΠΣΥΑ που αφορά στη λήψη αποφάσεων από πολλαπλούς αποφασίζοντες. Ο κύριος σκοπός αυτού του κεφαλαίου, επομένως, είναι η ανάπτυξη ενός εργαλείου υποστήριξης αποφάσεων που μπορεί να υποστηρίξει τη χάραξη κλιματικής πολιτικής μέσω μίας κατάλληλης μεθοδολογίας ΠΣΥΑ καθώς και η έμφαση των επιθυμητών χαρακτηριστικών υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων. Σε αυτό το πλαίσιο, εισάγεται ένα μεθοδολογικό πλαίσιο που περιστρέφεται γύρω από την Behavioural TOPSIS, ενώ αναπτύσσεται και παρουσιάζεται ένα εξειδικευμένο εργαλείο βασισμένο σε υπολογιστικά φύλλα, το οποίο μπορεί να υποστηρίξει αυτήν την διαδικασία και φέρει τη δυνατότητα ελέγχου συμφωνίας. Το αναλυτικό πλαίσιο εν τέλει εφαρμόζεται σε μία μελέτη περίπτωσης που αποσκοπεί στην αξιολόγηση διαφορετικών μέτρων κλιματικής πολιτικής στους οικονομικούς τομείς των κτιρίων, της ενέργειας και των μεταφορών, τα οποία στοχεύουν στην επίτευξη της επιθυμητής πράσινης μετάβασης, με κριτήριο την έκθεσή τους σε διάφορους κινδύνους υλοποίησης,

Έτσι, η [Ενότητα 7.2](#) παρουσιάζει τα ευρήματα της λεπτομερούς και εστιασμένης βιβλιογραφικής ανασκόπησης των εφαρμογών ΠΣΥΑ στη βιβλιογραφία της κλιματικής πολιτικής. Η [Ενότητα 7.3](#) περιγράφει τα στάδια του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου και παρουσιάζει το MACE-DSS (Multiple Alternatives-Criteria-Experts Decision Support System), ένα ειδικά σχεδιασμένο εργαλείο υπολογιστικών φύλλων που μπορεί να υποστηρίξει αυτό το μεθοδολογικό πλαίσιο. Μία εφαρμογή του πλαισίου και εργαλείου πραγματοποιείται στην [Ενότητα 7.4](#), ενώ η [Ενότητα 7.5](#) τερματίζει την ανάλυση, με την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς τη δυνατότητα του εργαλείου να αξιοποιηθεί σε τέτοιας φύσεως προβλήματα, καθώς και με τη συζήτηση των περιορισμών και μελλοντικών προοπτικών του εργαλείου.

7.2 ΠΣΥΑ και ομαδικές αποφάσεις στην κλιματική πολιτική

Σε αυτήν την ενότητα, επιδιώκεται η λεπτομερής ανασκόπηση όλων των μελετών της βιβλιογραφίας των ΠΣΥΑ με προεκτάσεις για την κλιματική αλλαγή, με αφετηρία τις μελέτες που εντοπίστηκαν στο [Κεφάλαιο 4](#). Πρωταρχικό στόχο αυτής της εργασίας αποτελεί η αξιολόγηση της εφαρμοστικότητας των ΠΣΥΑ σε αυτόν τον χώρο, μέσω της εστιασμένης και συγκεντρωτικής αποτύπωσης των μεθόδων ΠΣΥΑ πολλαπλών αποφασιζόντων που χρησιμοποιούνται σε μελέτες σχετικές με την κλιματική πολιτική, της αξιολόγησης της συνέπειας και συνοχής της οικογένειας κριτηρίων αξιολόγησης που χρησιμοποιούν, καθώς και την καταγραφή των οικονομικών τομέων που αγγίζουν, της γεωγραφικής τους τοποθέτησης, και των επιμέρους πεδίων εφαρμογής τους. Σε επόμενο στάδιο και με βάση αυτήν την ανάλυση, προετοιμάζεται το έδαφος για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου με βάση τις απαιτήσεις της ανάλυσης. Για τους σκοπούς της έρευνας, χρησιμοποιήθηκαν οι ακαδημαϊκές μηχανές αναζήτησης των Scopus, ScienceDirect και Google Scholar, όπου πραγματοποιήθηκαν αναζητήσεις για εναλλακτικούς όρους και λέξεις-κλειδιά (όπως “multiple criteria”, “multicriteria”, “MCDA”, “MCDM”, “decision support”, κλπ.), του τελεστή AND και φράσεων που παραπέμπουν στην κλιματική πολιτική (“mitigation”, “adaptation”, “energy policy”, “climate policy”, “climate”, κλπ.). Επιπρόσθετα, δόθηκε έμφαση σε τομείς οικονομικής δραστηριότητας, πέραν των λέξεων και φράσεων που αφορούν στην κλιματική πολιτική εν γένει. Εν συνεχεία, ο τίτλος, η περίληψη και οι λέξεις-κλειδιά όλων των ανακτηθεισών εγγράφων μελετήθηκαν προσεκτικά με σκοπό την προσεκτική επιλογή των δημοσιεύσεων που ανταποκρίνονται στους στόχους της βιβλιογραφικής ανασκόπησης (φιλτράρισμα).

Η σπουδαιότερη δυσκολία στην αποτελεσματική επίβλεψη της σχετικής βιβλιογραφίας βρίσκεται στον γοργό πολλαπλασιασμό των προσεγγίσεων και μεθοδολογικών πλαισίων πολυκριτήριας ανάλυσης τις τελευταίες δύο δεκαετίες, τόσο γενικά όσο και στο πλαίσιο συγγενών χώρων προβλήματος. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν πραγματοποιήθηκαν αναζητήσεις μεμονωμένων μεθόδων ΠΣΥΑ, εφόσον κάτι τέτοιο θα καθυστερούσε σημαντικά τη διαδικασία επιλογής. Επιπλέον, εφόσον η κλιματική πολιτική έχει επιστημονικά υποστηριχθεί κατά βάση με τα ΜΟΑ που έχουν τη δυνατότητα λεπτομερούς μελέτης πολύπλοκων συνόλων οικονομικών, κλιματικών, κοινωνικών και ενεργειακών παραμέτρων, τα ΠΣΥΑ χρησιμοποιούνται είτε ως ένα πλαίσιο διευκόλυνσης της συμμετοχής εμπειρογνομόνων σε μελέτες βασισμένες σε μοντελοποιήσεις κλίματος-οικονομίας είτε σε εφαρμογές περιορισμένου αντικειμένου. Οι τελευταίες ενδέχεται να μην αφορούν ρητά σε προβλήματα επιλογής κλιματικής πολιτικής, ωστόσο έχουν προεκτάσεις για την κλιματική δράση, όπως αναλύεται στο [Κεφάλαιο 4](#).

Από μεθοδολογικής πλευράς, ο πολλαπλασιασμός των μεθόδων ΠΣΥΑ αντικατοπτρίζεται στις 27 μεθόδους που βρέθηκαν στη συγκεκριμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση. Ένα πολύ ενδιαφέρον εύρημα αυτής της ανάλυσης έγκειται στην παρατήρηση των τάσεων των ΠΣΥΑ σε αυτήν την περιοχή, μέσω της συχνότητας εμφάνισης κάθε μεθόδου τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια ([Εικόνα 7.1](#)). Ανάμεσα σε αυτές τις μεθόδους, οι δημοφιλέστερες είναι δύο προσεγγίσεις ανά ζεύγη συγκρίσεων, οι Analytic Hierarchy Process (AHP) και PROMETHEE, καθώς και η βασισμένη στην απόσταση από την ιδεατή λύση μεθοδολογία TOPSIS. Μία ακόμη άμεση παρατήρηση αφορά στα πιο σύγχρονα μεθοδολογικά πλαίσια, τα οποία χαιρούν ολοένα και αυξανόμενης προσοχής στη βιβλιογραφία, όπως η συμβιβαστική προσέγγιση VIKOR ή οι αναλυτικές-συνθετικές προσεγγίσεις (π.χ. UTASTAR). Μεταξύ των «παραδοσιακών» τεχνικών ΠΣΥΑ, ορισμένα έχουν παραμείνει δημοφιλή στον ευρύτερο χώρο της κλιματικής πολιτικής, όπως η PROMETHEE και η οικογένεια μεθόδων ELECTRE, ενώ άλλα όπως η AHP ή η TOPSIS κερδίζουν έδαφος τελευταία.

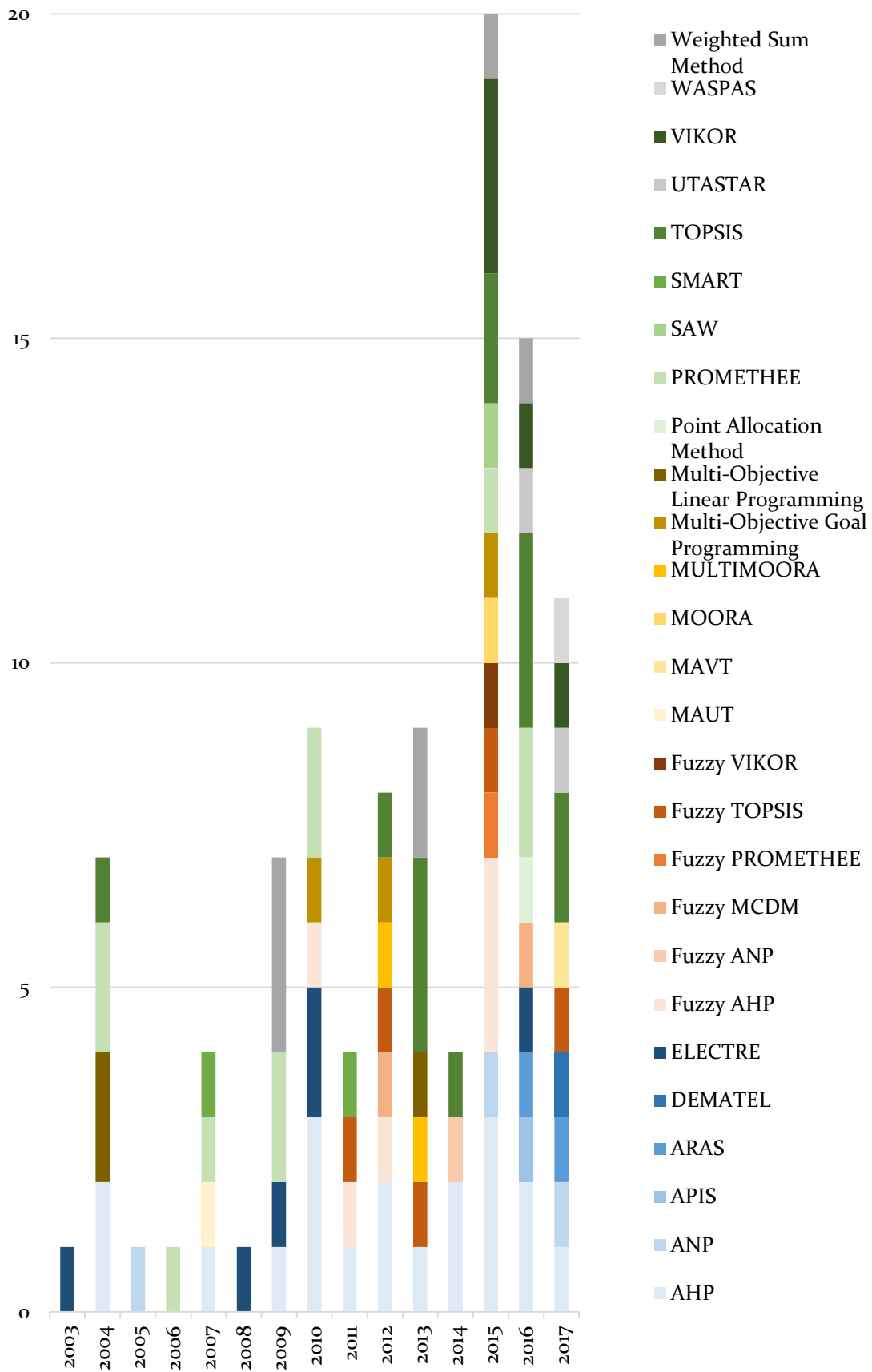
Η [Εικόνα 7.1](#) επίσης αντικατοπτρίζει την αυξανόμενη προσοχή που τα ΠΣΥΑ κερδίζουν τα τελευταία χρόνια. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η ανάλυση ολοκληρώθηκε τον Μάιο 2017, δηλαδή ότι πολλές μελέτες ΠΣΥΑ αναμένεται να έχουν πραγματοποιηθεί έκτοτε.

Όπως συζητείται στην [Ενότητα 7.1](#), μία σημαντική πτυχή των ΠΣΥΑ έγκειται στη δυνατότητά τους όχι μόνο να αξιολογήσουν πολυάριθμες εναλλακτικές έναντι πολλαπλών κριτηρίων με δομημένο τρόπο, αλλά και να υποστηρίξουν την εξαγωγή γνώσης από έναν μεγάλο αριθμό εμπειρογνομόνων (πολυκριτηριακά συστήματα υποστήριξης ομαδικών αποφάσεων). Ο [Πίνακας 7.1](#) παρουσιάζει τις μεθόδους στη βιβλιογραφία της κλιματικής πολιτικής και συγγενών πεδίων εφαρμογών που φέρουν χαρακτηριστικά πολλαπλών αποφασιζόντων, ταξινομημένες με κριτήριο τη μέθοδο ΠΣΥΑ, με έμφαση στους τύπους κριτηρίων αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις αναλύσεις.

Όπως αναφέρεται παραπάνω, τα ΠΣΥΑ δεν δύνανται να αντικαταστήσουν τα ΜΟΑ αλλά, δεδομένης της ανάγκης γεφύρωσης του χάσματος μεταξύ επιστήμης και εμπειρογνομόνων, μπορούν να ενισχύσουν σημαντικά τις διεργασίες υποστήριξης πολιτικής. Έτσι, οι μελέτες ΠΣΥΑ συνήθως πραγματοποιούνται εστιασμένα, σε έναν ή περισσότερους οικονομικούς τομείς εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου. Ο [Πίνακας 7.1](#) επιπρόσθετα καταγράφει τον τομέα της ανθρώπινης δραστηριότητας στον οποίο εφαρμόζεται η αντίστοιχη μελέτη ΠΣΥΑ, συμπεριλαμβανομένων του γεωργικού τομέα, του κτιριακού τομέα, του περιβάλλοντος, της βιομηχανίας, του ενεργειακού συστήματος και του τομέα των μεταφορών.

Παρότι η αξιολόγηση κινδύνου φαίνεται να αποτελεί το αντικείμενο πολύ λίγων εκ των ανακτηθεισών δημοσιεύσεων (π.χ. [Branco et al., 2012](#)), άλλοι ερευνητές επιχείρησαν να αναλύσουν τους κινδύνους κάνοντας χρήση σχετικών μεθοδολογικών πλαισίων παράλληλα με τα ΠΣΥΑ, όπως το Benefits – Opportunities – Costs – Risks ή BOCR ([Ulutaş, 2005](#) και [Yap and Nixon, 2015](#)), ή να αξιολογήσουν τις αβεβαιότητες μέσω ποικίλων προσεγγίσεων, με την πιο επιφανή να είναι η ανάλυση Monte Carlo (π.χ. [Baležentisa and Streimikiene, 2017](#) και [Shmelev and van den Bergh, 2016](#)).

Τα ΠΣΥΑ θεωρούνται ως ένα μέσο που δύναται να φέρει τους εμπειρογνώμονες, δηλαδή τους αποφασίζοντες, πιο κοντά στη διαδικασία υποστήριξης της λήψης αποφάσεων και της χάραξης πολιτικών. Μερικές φορές, ωστόσο, το ίδιο το εργαλείο πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι πολύ περίπλοκο, εμποδίζοντας τους εμπειρογνώμονες να κατανοήσουν τη διαδικασία ή τους αναλυτές να εξάγουν την πληροφορία των πρώτων. Παρόμοιες δυσκολίες εμφανίζονται όταν ο αριθμός των εναλλακτικών ή/και των κριτηρίων είναι σχετικά μεγάλος. Αυτές οι συνθήκες συνήθως απαιτούν τη χρήση απλών στο μαθηματικό τους υπόβαθρο ΠΣΥΑ (π.χ. AHP) ή μίας απλούστερης προσέγγισης συμμετοχής των εμπειρογνομόνων, όπως της Delphi (π.χ. [Xu et al., 2016](#)) ή της ανάλυσης Εισόδου-Εξόδου (π.χ. [Jayaraman et al., 2015](#)).



Εικόνα 7.1 Η εξέλιξη των ΠΣΕΑ στην κλιματική αλλαγή και πολιτική, 2003-2017.

Πίνακας 7.1 Επισκόπηση των μεθόδων ΠΣΥΑ πολλαπλών αποφασιζόντων που χρησιμοποιούνται σε μελέτες σχετικές με την κλιματική πολιτική. Η πλάγια γραφή υποδεικνύει μελέτες με πολλαπλές μεθόδους, είτε σε διαφορετικά στάδια της ανάλυσης είτε συγκριτικά μεταξύ τους. Ο αστερίσκος (*) υποδεικνύει ανάλυση ευαισθησίας.

Μεθοδολογική προσέγγιση ΠΣΥΑ	Δημοσίευση	Τύπος κριτηρίων αξιολόγησης						Τομέας ανθρώπινης δραστηριότητας
		Οικονομικά	Ενεργειακά	Περιβαλλοντικά	Ρυθμιστικά	Κοινωνικά	Τεχνολογικά	
AHP	(Alsabbagh et al., 2016)	✓		✓	✓	✓		Μεταφορές
	(Biloslavo and Dolinšek, 2010)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Ενέργεια
	(Biloslavo and Grebenc, 2012)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Ενέργεια
	<i>(Blechinger and Shah, 2011)*</i>	✓	✓	✓	✓	✓		Ενέργεια
	<i>(Borges and Villavicencio, 2004)</i>	✓		✓		✓	✓	Γεωργία, Ενέργεια, Μεταφορές
	<i>(Büyükozkana and Karabulutb, 2017)</i>	✓		✓		✓		Ενέργεια
	<i>(Cowan et al., 2010)*</i>	✓		✓		✓	✓	Ενέργεια
	(Javid et al., 2014)	✓		✓				Μεταφορές
	<i>(Konidari and Mavrakis, 2007)</i>	✓		✓		✓		Όλοι οι τομείς
	<i>(Montanari, 2004)</i>	✓		✓			✓	Ενέργεια
	<i>(Paul et al., 2015)</i>			✓			✓	Μεταφορές
	<i>(Rojas-Zerpa and Yusta, 2015)</i>	✓	✓	✓		✓	✓	Ενέργεια
	(Shiaua and Liu, 2013)	✓	✓	✓		✓		Μεταφορές
	<i>(Streimikiene et al., 2016)*</i>	✓		✓		✓	✓	Ενέργεια
<i>(Talaie et al., 2014)*</i>	✓		✓		✓	✓	Ενέργεια	
<i>(Yap and Nixon, 2015)*</i>	✓	✓	✓		✓	✓	Ενέργεια	
ANP	<i>(Büyükozkan and Güleriyüz, 2017) *</i>	✓		✓	✓	✓	✓	Ενέργεια
	<i>(Sakthivel et al., 2015)</i>			✓			✓	Μεταφορές
	(Ulutaş, 2005)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Ενέργεια
ARAS	<i>(Streimikiene et al., 2016)*</i>	✓		✓	✓	✓	✓	Ενέργεια
DEMATEL	<i>(Büyükozkan and Güleriyüz, 2017)*</i>	✓		✓	✓	✓	✓	Ενέργεια
ELECTRE	(Georgopoulou et al., 2003)	✓		✓		✓		Ενέργεια

Μεθοδολογική προσέγγιση ΠΣΥΑ	Δημοσίευση	Τύπος κριτηρίων αξιολόγησης					Τομέας ανθρώπινης δραστηριότητας	
		Οικονομικά	Ενεργειακά	Περιβαλλοντικά	Ρυθμιστικά	Κοινωνικά		Τεχνολογικά
	(Karakosta et al., 2009)	✓	✓	✓	✓	✓	Ενέργεια	
	(Michailidou et al., 2016)*	✓		✓		✓	Ενέργεια	
Fuzzy AHP	(Heo et al., 2010)	✓		✓		✓	✓	Ενέργεια
	(Kaya and Kahraman, 2011)*	✓		✓		✓	✓	Ενέργεια
	(Luthra et al., 2015)*	✓		✓		✓	✓	Ενέργεια
	(Ren and Lützen, 2015)*	✓		✓		✓	✓	Βιομηχανία, Μεταφορές
Fuzzy ANP	(Promentilla et al., 2014)	✓		✓		✓	✓	Ενέργεια
Fuzzy MCDM	(Chang et al., 2012)	✓		✓		✓	✓	Κτίρια, Ενέργεια, Μεταφορές
	(Cutz et al., 2016)	✓		✓		✓	✓	Ενέργεια
Fuzzy PROMETHEE	(Chen and Pan, 2015)	✓		✓			✓	Κτίρια
Fuzzy TOPSIS	(Jun et al., 2013)	✓		✓		✓		Κτίρια
	(Kaya and Kahraman, 2011)*	✓		✓		✓	✓	Ενέργεια
	(Onu et al., 2017)	✓		✓	✓	✓	✓	Περιβάλλον, Ενέργεια
Fuzzy VIKOR	(Vahabzadeh et al., 2015)			✓				Βιομηχανία
MAUT	(Konidari and Mavrakis, 2007)	✓		✓	✓			Όλοι οι τομείς
MOORA	(Paul et al., 2015)			✓			✓	Μεταφορές
Multi-Objective Goal Programming	(Cowan et al., 2010)	✓		✓		✓	✓	Ενέργεια
Multi-Objective Linear Programming	(Ribeiro et al., 2013)*	✓	✓	✓		✓	✓	Ενέργεια

Μεθοδολογική προσέγγιση ΠΣΥΑ	Δημοσίευση	Τύπος κριτηρίων αξιολόγησης					Τομέας ανθρωπίνης δραστηριότητας	
		Οικονομικά	Ενεργειακά	Περιβαλλοντικά	Ρυθμιστικά	Κοινωνικά		Τεχνολογικά
Point Allocation Method	(Xu et al., 2016)	✓		✓		✓	✓	Ενέργεια
PROMETHEE	(Borges and Villavicencio, 2004)	✓		✓		✓	✓	Γεωργία, Ενέργεια, Μεταφορές
	(Doukas et al., 2006)	✓		✓		✓	✓	
	(Ghafghazi et al., 2010)	✓	✓	✓			✓	Κτίρια
	(Paul et al., 2015)			✓			✓	Μεταφορές
	(Tsoutsos et al., 2009)*	✓	✓	✓		✓	✓	Ενέργεια
	(Vaillancourt and Waaub, 2004)*	✓	✓	✓		✓		Βιομηχανία
	(Xu et al., 2016)	✓		✓		✓	✓	
SMART	(Bleching and Shah, 2011)*	✓	✓	✓	✓	✓		Ενέργεια
	(Konidari and Mavrakis, 2007)*	✓		✓	✓			Όλοι οι τομείς
TOPSIS	(Brand and Missaoui, 2014)*	✓	✓	✓		✓		Ενέργεια
	(Büyükozkana and Güleriyüz, 2017)*	✓		✓	✓	✓	✓	Ενέργεια
	(Jun et al., 2013)	✓		✓		✓		Κτίρια
	(Montanari, 2004)	✓		✓			✓	Ενέργεια
	(Mourhir et al., 2016)		✓	✓	✓	✓	✓	Περιβάλλον
	(Sakthivel et al., 2015)			✓			✓	Μεταφορές
UTASTAR	(Papapostolou et al., 2016)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Ενέργεια
	(Papapostolou et al., 2017)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Ενέργεια
VIKOR	(Büyükozkana and Karabulutb, 2017)*	✓		✓		✓		Ενέργεια
	(Ren and Lützen, 2015)*	✓		✓		✓	✓	Βιομηχανία, Μεταφορές
	(Rojas-Zerpa and Yusta, 2015)	✓	✓	✓		✓	✓	Ενέργεια
	(Sakthivel et al., 2015)			✓			✓	Μεταφορές
	(de Bruin et al., 2009)	✓		✓				Όλοι οι τομείς

Μεθοδολογική προσέγγιση ΠΣΥΑ	Δημοσίευση	Τύπος κριτηρίων αξιολόγησης					Τομέας ανθρωπίνης δραστηριότητας
		Οικονομικά	Ενεργειακά	Περιβαλλοντικά	Ρυθμιστικά	Κοινωνικά	
Weighted Sum Method	(Jun et al., 2013)	✓		✓		✓	Κτίρια
	(Ribeiro et al., 2013)*	✓	✓	✓		✓	Ενέργεια
	(Roth et al., 2009)*	✓		✓		✓	Ενέργεια

Πίνακας 7.2 Γεωγραφική τοποθέτηση εφαρμογών ΠΣΥΑ στη βιβλιογραφία της κλιματικής πολιτικής και την ευρύτερη βιβλιογραφία με προεκτάσεις για την κλιματική πολιτική.

Πεδίο εφαρμογής	Γεωγραφική τοποθέτηση εφαρμογής				
	Αφρική	Β. Αμερική	Κ. & Ν. Αμερική	Ασία	Ευρώπη
Αξιολόγηση μέτρων και στρατηγικών πολιτικής	(Mourhir et al., 2016) (Onu et al., 2017)	(Javid et al., 2014)	(Blechinger and Shah, 2011) (Borges and Villavicencio, 2004)	(Alsabbagh et al., 2016) (Batubara et al., 2016) (Chen and Pan, 2015) (Shiaua and Liu, 2013)	(Cristóbal, 2012) (de Bruin et al., 2009) (Georgopoulou et al., 2003) (Konidari and Mavrakis, 2007) (Michailidou et al., 2016) (Oliveira and Antunes, 2004) (Streimikiene and Baležentis, 2013b) (Theodorou et al., 2010) (Tsoutsos et al., 2009)
Επιλογή έργων				(Ramazankhameh et al., 2016)	(Diakoulaki et al., 2007) (Montanari, 2004) (Perkoulidis et al., 2010) (Xu et al., 2016)
Αξιολόγηση κινδύνων					(Branco et al., 2012)
Αξιολόγηση σεναρίων				(Jayaraman et al., 2015) (Jun et al., 2013)	(Baležentis and Streimikiene, 2017) (Papadopoulos and Karagiannidis, 2008)

Αξιολόγηση τεχνολογικών επιλογών	(Brand and Missaoui, 2014) (Karakosta et al., 2009)	(Cowan et al., 2010) (Cutz et al., 2016) (Doukas et al., 2006) (Fozer et al., 2017) (Ghafghazi et al., 2010) (Karakosta et al., 2009) (Klein and Whalley, 2015) (Maimoun et al., 2015) (Mohamadabadi et al. 2009)	(Cutz et al., 2016) (Rojas-Zerpa and Yusta, 2015)	(Büyüközkan and Güleriyüz, 2017) (Büyüközkan and Karabulutb, 2017) (Karakosta et al., 2009) (Onar et al., 2015) (Paul et al., 2015) (Promentilla et al., 2014) (Sadeghi et al., 2012) (Şengül et al., 2015) (Talaie et al., 2014) (Ulutaş, 2005) (Yap and Nixon, 2015)	(Almaraz et al., 2013) (Antunes et al., 2004) (Doukas et al., 2006) (Ribeiro et al., 2013) (Roth et al., 2009) (Shmelev and van den Bergh, 2016) (Shmelev and van den Bergh, 2016) (Streimikiene et al., 2016) (Streimikiene and Baležentis, 2013a) (Volkart et al., 2016) (Yap and Nixon, 2015)
Προτεραιοποίηση παραγόντων				(Heo et al., 2010) (Luthra et al., 2015)	
Αξιολόγηση χωρών	(Papapostolou et al., 2016)				(Dace and Blumberga, 2016) (Papapostolou et al., 2017)

Όσον αφορά την καταλληλότητά τους να αποτελέσουν μέρος μίας ολοκληρωμένης προσέγγισης, τα ΠΣΥΑ έχουν επιτυχώς συνδυασθεί τόσο με μεθοδολογίες ημιποσοτικής μοντελοποίησης, όπως οι ΑΓΧ (π.χ. [Biloslavo and Grebenc, 2012](#)), όσο και με τεχνικές αμιγώς ποσοτικής μοντελοποίησης, όπως ΜΟΑ (π.χ. [Baležentisa and Streimikiene, 2017](#)), μοντέλα ενεργειακών συστημάτων (π.χ. [Shmelev and van den Bergh, 2016](#)), μοντέλα κλιματικής ανάλυσης ([Jun et al., 2013](#)), και ΑΧ ([Almaraz et al., 2013](#)).

Τέλος, αναφορικά με τη γεωγραφική τους τοποθέτηση, οι περισσότερες μελέτες ΠΣΥΑ στην βιβλιογραφία της κλιματικής πολιτικής έχουν πραγματοποιηθεί στην Ευρώπη σε εθνικό επίπεδο, με λίγες μόλις να πραγματοποιούνται σε επίπεδο ΕΕ ([Baležentisa and Streimikiene, 2017](#) και [Branco et al., 2012](#)) ή υπερεθνικό επίπεδο ([Konidari and Mavtrakis, 2007](#) και [Xu et al., 2016](#)), ενώ μία μελέτη αφορούσε δύο χώρες από διαφορετικές περιοχές/ηπείρους ([Yap and Nixon, 2015](#)). Ο Πίνακας 7.2 συνοψίζει τη γεωγραφική θέση και το πεδίο εφαρμογής των δημοσιεύσεων ΠΣΥΑ στην κλιματική πολιτική.

Από τους Πίνακες 7.1 – 7.2, είναι εμφανές ότι σχεδόν όλες οι μελέτες ΠΣΥΑ εστιάζουν σε έναν συγκεκριμένο οικονομικό τομέα, με εξαίρεση τις τρεις μελέτες που αξιολογούν δια-τομεακά μέτρα κλιματικής πολιτικής, καθώς και δύο αναλύσεις τεχνολογικής αξιολόγησης ([Chang et al., 2012](#) και [Ren and Lützen, 2015](#)). Φαίνεται επίσης ότι οι μελέτες αξιολόγησης πολιτικών κατανέμονται ομοιόμορφα σε εφαρμογές από όλο το φάσμα των οικονομικών τομέων, ενώ αντίθετα η συντριπτική πλειοψηφία του συνόλου των μελετών της ανασκόπησης αφορά κατά βάση στον ενεργειακό τομέα, με τον τομέα των μεταφορών να ακολουθεί. Όσον αφορά τα πεδία εφαρμογής, το πιο δημοφιλές αποτελεί η αξιολόγηση τεχνολογιών, ακολουθούμενη από την αξιολόγηση πολιτικών.

7.3 Το εργαλείο MACE-DSS

Με βάση τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανάλυσης, η μέθοδος πολυκριτήριας ανάλυσης Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) των Hwang and Yoon (1981) επιλέγεται ως το βασικό συστατικό του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου. Η TOPSIS αναπτύχθηκε ως μία εναλλακτική στην οικογένεια μεθόδων ELECTRE, και αποτελεί μία μέθοδο αποζημιωτικής σύνθεσης/συνάθροισης, η οποία βασίζεται στην αρχή ότι η επιλεχθείσα δράση πρέπει να φέρει τη μικρότερη γεωμετρική απόσταση από την θετική ιδεατή λύση και τη μεγαλύτερη γεωμετρική απόσταση από την αρνητική. Η μέθοδος TOPSIS περιλαμβάνει την διαμόρφωση και κανονικοποίηση του πίνακα απόφασης (εναλλακτικές x κριτήρια), τον υπολογισμό του σταθμισμένου πίνακα απόφασης, τον προσδιορισμό της θετικής και της αρνητικής ιδεατής λύσης, για την εύρεση μίας τελικής κατάταξης. Στην πορεία η TOPSIS επεκτάθηκε από τον Chen (2000), μέσω της εισαγωγής μίας τριγωνικής μεθόδου για τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ δύο τριγωνικών ασαφών αριθμών, διαμορφώνοντας έτσι τη μέθοδο Fuzzy TOPSIS, η οποία επεκτάθηκε περαιτέρω για να διαχειρίζεται διαφορετικούς τύπους δεδομένων ([Chen and Tsao, 2008](#) και [Chen and Lee, 2010](#)).

Όπως φαίνεται στους Πίνακες 7.1 – 7.2, έχει υπάρξει πλήθος εφαρμογών TOPSIS και Fuzzy TOPSIS στη βιβλιογραφία της κλιματικής πολιτικής, το οποίο χαρακτηρίζεται από ποικίλο σύνολο πεδίων εφαρμογής και οικονομικών τομέων και το οποίο περιλαμβάνει την αξιολόγηση εναλλακτικών δράσεων έναντι κριτηρίων ενός ποικίλου πλήθους αξόνων αξιολόγησης. Μέρος της αιτιολόγησης της επιλογής της TOPSIS συνοψίζεται στον Πίνακα 7.3. Ένας από τους λόγους είναι ότι η TOPSIS φαίνεται να χαρακτηρίζεται από την πλέον ισορροπημένη κατανομή εφαρμογών ατομικών και ομαδικών αποφάσεων, υποδηλώνοντας έτσι την καταλληλότητά της να υποστηρίξει οποιοδήποτε πρόβλημα

πολλαπλών κριτηρίων, ανεξαρτήτως του αριθμού των αποφασιζόντων ή εμπειρογνομόνων που πρέπει να συμμετέχουν στις διαδικασίες λήψης απόφασης. Επίσης, πολλές από αυτές τις μελέτες φέρουν ανάλυση ευαισθησίας, οδηγώντας σε αποτελέσματα υψηλής ευρωστίας. Αλλά, ακόμη πιο σημαντικά, και σε συμφωνία με τους βασικούς στόχους του παρόντος κεφαλαίου αλλά και της διδακτορικής διατριβής γενικότερα, η TOPSIS έχει συνδυασθεί με άλλα πλαίσια ποσοτικής μοντελοποίησης περισσότερο από κάθε άλλη μεθοδολογία. Μάλιστα, με την εξαίρεση δύο μελετών που χρησιμοποίησαν δύο διαφορετικά πλαίσια ΠΣΥΑ, τα APIS (Shmelev and van den Bergh, 2016) και PROMETHEE (Vaillancourt and Waaub, 2004), μόνο η TOPSIS έχει ολοκληρωθεί με εργαλεία αμιγώς ποσοτικής μοντελοποίησης. Συγκεκριμένα, οι Almaraz et al. (2013) σχεδίασαν μία αλυσίδα εφοδιασμού υδρογόνου με την χρήση του μεικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού και αξιολόγησαν έναν αριθμό λύσεων με βάση το κόστος του, τη δυνατότητα μετριασμού της κλιματικής αλλαγής και τον κίνδυνο ασφάλειάς τους, συνδυάζοντας την προσέγγιση AX ε-constraint με την TOPSIS καθώς και μία τροποποιημένη εκδοχή της TOPSIS (M-TOPSIS). Οι Baležentisa and Streimikiene (2017) κατέταξαν ένα πλήθος σεναρίων ενεργειακής πολιτικής στην ΕΕ, χρησιμοποιώντας δύο MOA (WITCH και TIAM-WORLD) και τρεις μεθοδολογίες ΠΣΥΑ (WASPAS, ARAS and TOPSIS), εφαρμόζοντας παράλληλα προσομοιώσεις Monte Carlo για την ανάλυση της ευαισθησίας των αποτελεσμάτων τους σε αλλαγές των βαρών των κριτηρίων. Οι Brand and Missaoui (2014) χαρακτήρισαν την TOPSIS ως μία λογική που αντιπροσωπεύει με σχετική ακρίβεια την λογική της ανθρώπινης επιλογής που πραγματοποιείται με μία απλή υπολογιστική διεργασία, και την συνέδεσαν με το από κάτω προς τα πάνω μοντέλο γραμμικής βελτιστοποίησης συστήματος ηλεκτρισμού των Brand et al. (2012), για να αξιολογήσουν διαφορετικά μίγματα ηλεκτροπαραγωγής στην Τυνησία. Σε μία ακόμη πιο κοντινή στο πεδίο της κλιματικής αλλαγής εφαρμογή, οι Jun et al. (2013) χρησιμοποίησαν δύο κλιματικά μοντέλα του Εθνικού Κέντρου Ατμοσφαιρικής Έρευνας, τα Community Climate System Model 3 και MM5, με σκοπό να αναπτύξουν 19 διαφορετικά σενάρια κλιματικής αλλαγής, τα οποία στη συνέχεια κατέταξαν με την Fuzzy TOPSIS. Τέλος, έξω από το αυστηρά ποσοτικό πλαίσιο της κλιματικής και ενεργειακής μοντελοποίησης, οι Mourhir et al. (2016) χρησιμοποίησαν το πλαίσιο ολοκληρωμένης περιβαλλοντικής αποτίμησης Driving Forces-Pressures-State-Impact-Response (DPSIR) για να διευκολύνουν τους εμπειρογνώμονες να επιλέξουν κατάλληλους δείκτες, για την ποιοτική σχεδίαση και περιγραφή ενός ΑΓΧ, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση και κατάταξη των βέλτιστων σεναρίων με την TOPSIS.

Πίνακας 7.3 Επισκόπηση των εφαρμογών της βιβλιογραφίας κλιματικής πολιτικής όπου η TOPSIS χρησιμοποιήθηκε με άλλα εργαλεία μοντελοποίησης. Έντονη γραφή υποδεικνύει Fuzzy TOPSIS.

Δημοσίευση	Αποφασίζοντες	Ανάλυση ευαισθησίας	Ολοκλήρωση με άλλα εργαλεία
(Almaraz et al., 2013)	Ένας		AX
(Baležentisa and Streimikiene, 2017)	Ένας	✓	MOA, Ανάλυση Monte Carlo
(Brand and Missaoui, 2014)	Πολλαπλοί	✓	Ηλεκτρικά μοντέλα
(Büyükközkcan and Gülerüyüz, 2017)	Πολλαπλοί	✓	
(Dace and Blumberga, 2016)	Ένας		
(Jun et al., 2013)	Πολλαπλοί		Μοντέλα CCSM-3 & MM5
(Kaya and Kahraman, 2011)	Πολλαπλοί	✓	
(Maimoun et al., 2015)	Ένας	✓	
(Montanari, 2004)	Πολλαπλοί		
(Mourhir et al., 2016)	Πολλαπλοί		ΑΓΧ, Πλαίσιο DPSIR
(Onu et al., 2017)	Πολλαπλοί		
(Ramazankhami et al., 2016)	Ένας	✓	

(Sadeghi et al., 2012)	Ένας	
(Sakthivel et al., 2015)	Πολλαπλοί	
(Şengül et al., 2015)	Ένας	✓
(Streimikiene and Baležentis, 2012)	Ένας	
(Streimikiene and Baležentis, 2013a)	Ένας	

Παρά το γεγονός ότι υπάρχει πληθώρα προσεγγίσεων ΠΣΥΑ (π.χ. PROMETHEE, ELECTRE, AHP, UTA, κλπ.) (Greco et al., 2016), τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανάλυσης συνοψίζουν εν μέρει την αιτιολόγηση της επιλογής της TOPSIS ως καρδιάς του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου. Επιπλέον, όπως σημειώνουν οι Kim et al. (1997) και Shih et al. (2007), η TOPSIS χαρακτηρίζεται από μία συμπαγή λογική που αναπαριστά τη λογική της ατομικής επιλογής, ταυτόχρονα θεωρεί τόσο την ιδεατή όσο και την αντί-ιδεατή λύση, και χρησιμοποιεί μία συστηματική, ξεκάθαρη εύκολα προγραμματιζόμενη υπολογιστική διεργασία. Μακριά από τις μεθόδους διμερών συγκρίσεων, επιτρέπει επίσης την αξιολόγηση μεγάλου αριθμού εναλλακτικών έναντι μεγάλου αριθμού κριτηρίων. Πέραν των καταγεγραμμένων πλεονεκτημάτων και της δημοφιλίας της μεθόδου στον συγκεκριμένο χώρο, όπως φαίνεται από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, η επιλογή της TOPSIS παρακινείται επίσης από την διαθεσιμότητα των μεθοδολογικών επεκτάσεων της στο ασαφές περιβάλλον, διευκολύνοντας έτσι την προοπτική βελτίωση του εργαλείου, καθώς και από την δυνατότητα της μεθόδου να επιλύσει αποτελεσματικά προβλήματα της προβληματικής που μας ενδιαφέρει, δηλαδή την κατάταξη των εναλλακτικών. Τέλος, παρά την παρουσία της στη βιβλιογραφία των ΠΣΥΑ για σχεδόν τέσσερις δεκαετίες και βάσει της ανάγκης να ενσωματωθεί η έννοια της συμπεριφοράς που επιδιώκει την αποφυγή απωλειών, η TOPSIS μόλις πρόσφατα αναπτύχθηκε περαιτέρω από μέρος της ερευνητικής ομάδας που την είχε αρχικά σχεδιάσει, δημιουργώντας την Behavioural TOPSIS (Yoon and Kyung, 2017). Μάλιστα, το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο περιλαμβάνει αυτήν την εκδοχή της TOPSIS, εφόσον αυτή επιπλέον ενσωματώνει την συμπεριφορική τάση των αποφασιζόντων να αποφύγουν τις απώλειες και διευκολύνει την διεκπεραίωση αναλύσεων ευαισθησίας των αποτελεσμάτων έναντι μεταβολών στα βάρη και στην στάση απέναντι στον κίνδυνο.

Η προτεινόμενη προσέγγιση αποτελείται από τρία στάδια: (α) την ενοποίηση των δεδομένων εισόδου, (β) την πολυκριτήρια ανάλυση, και (γ) τον έλεγχο συμφωνίας. Σε αυτήν την κατεύθυνση, αναπτύχθηκε ένα εργαλείο βασισμένο σε υπολογιστικά φύλλα, το MACE-DSS, με τη δυνατότητα αντιμετώπισης προβλημάτων έως 12 εναλλακτικών έναντι έως 12 κριτηρίων από έως 12 αποφασίζοντες, χρήσης ανάμεσα σε δύο διαφορετικές κλίμακες γλωσσικών όρων, απόδοσης βαρών σε κριτήρια και αποφασίζοντες, καθώς και προσδιορισμού των κατωφλίων ελέγχου συμφωνίας. Η μόνη απαίτηση από τον χρήστη αφορά στη συμπλήρωση των δεδομένων εισόδου στο πρώτο υπολογιστικό φύλλο, συμπεριλαμβανομένης της κρίσης των εμπειρογνομόνων για κάθε εναλλακτική έναντι κάθε κριτηρίου, καθώς και του αριθμού των εναλλακτικών, κριτηρίων και εμπειρογνομόνων, των κατωφλίων, της επιλεχθείσας γλωσσικής κλίμακας, και των βαρών κριτηρίων και αποφασιζόντων.

Τα τρία στάδια περιγράφονται με λεπτομέρεια στις [Ενότητες 7.3.1 – 7.3.3](#).

7.3.1 Ενοποίηση δεδομένων εισόδου

Εφόσον οι αρχικές μέθοδοι TOPSIS και Behavioural TOPSIS επεξεργάζονται αριθμητικά δεδομένα και δεδομένου ότι ορισμένοι εμπειρογνώμονες ενδέχεται να είναι απρόθυμοι να παρέχουν την πληροφορία τους σε αμιγώς αριθμητική κλίμακα ή να δυσκολεύονται να την εκφράσουν σε τέτοια κλίμακα εξαιτίας

της ποιοτικής φύσης των απόψεων (Agell et al. 2012 και Estrella et al., 2017), η δυνατότητα χρήσης γλωσσικών μεταβλητών έχει συχνά χρησιμοποιηθεί στη βιβλιογραφία και στην περίπτωση του MACE-DSS οφείλει να εξασφαλιστεί. Ωστόσο, πριν την πολυκριτήρια ανάλυση, οφείλει να υπάρχει ομοιογένεια μεταξύ των δεδομένων εισόδου.

Ως εκ τούτου, όλα τα δεδομένα αρχικώς μετασχηματίζονται σε μία ομοιόμορφη αριθμητική κλίμακα. Ο αναλυτής δύναται να επιλέξει μία συγκεκριμένη αριθμητική κλίμακα και μία κατάλληλη κλίμακα γλωσσικών όρων, έτσι ώστε κάθε εμπειρογνώμονας να είναι ελεύθερος να παρέχει την πληροφορία του σε οποιαδήποτε κλίμακα αισθάνεται μεγαλύτερη άνεση. Οι όροι της γλωσσικής κλίμακας αντιστοιχίζονται στους διακριτούς αριθμούς της αριθμητικής κλίμακας και η τελική είσοδος είναι αριθμητική.

Δεδομένου ότι η αριθμητική πληροφορία είναι συνεχής ενώ οι γλωσσικές μεταβλητές είναι διακριτές, το MACE-DSS επιτρέπει την αξιολόγηση ενός υβριδικού μοντέλου εισόδου, έτσι ώστε όσοι αποφασίζοντες επιθυμούν να μπορούν να παρέχουν την πληροφορία τους με τη μορφή ενός γλωσσικού όρου «και κάτι επιπλέον», ώστε να αντισταθμιστεί το κενό ακρίβειας μεταξύ των δύο τύπων.

7.3.2 Πολυκριτήρια ανάλυση

Η πολυκριτήρια ανάλυση βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο μεθοδολογικό πλαίσιο της Behavioural TOPSIS. Το μοντέλο TOPSIS (Hwang and Yoon, 1981) περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

1. Σχεδίαση του πίνακα απόφασης A (1), ο οποίος αποτελείται από εναλλακτικές και κριτήρια αξιολόγησης.

$$A = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{1n} \\ x_{m1} & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

όπου A_1, A_2, \dots, A_m , $i = 1, 2, \dots, m$ είναι οι εναλλακτικές, C_1, C_2, \dots, C_n , $j = 1, 2, \dots, n$, είναι τα κριτήρια και x_{ij} είναι η επίδοση της εναλλακτικής A_i έναντι του κριτηρίου C_j .

2. Υπολογισμός του κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης R (2), κάθε στοιχείο του οποίου μπορεί να υπολογισθεί ως εξής:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (2)$$

όπου το r_{ij} αναπαριστά την κανονικοποιημένη επίδοση της εναλλακτικής A_i έναντι του κριτηρίου C_j .

3. Υπολογισμός του σταθμισμένου κανονικοποιημένου πίνακα P , πολλαπλασιάζοντας τον κανονικοποιημένο πίνακα R με τα αντίστοιχα βάρη. Το διάνυσμα βαρών $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ αποτελείται από τα επιμέρους βάρη w_j για κάθε κριτήριο C_j που ικανοποιούν τον περιορισμό της (3):

$$\sum_{j=1}^{j=n} w_j = 1 \quad (3)$$

Η σταθμισμένη κανονικοποιημένη αξία p_{ij} μπορεί έτσι να υπολογισθεί (4):

$$p_{ij} = w_j \times r_{ij} \quad (4)$$

4. Προσδιορισμός των διανυσμάτων της θετικής ιδεατής λύσης P^+ (κριτήρια θετικής επίδρασης) (5) και της αρνητικής ιδεατής λύσης P^- (κριτήρια αρνητικής επίδρασης) (6), υπολογίζοντας τις θετικές (7) και αρνητικές (8) ιδεατές λύσεις για κάθε κριτήριο:

$$P^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_n^+) \quad (5)$$

$$P^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_n^-) \quad (6)$$

$$p_i^+ = \{(\max p_{ij}, j \in J) \text{ or } (\min p_{ij}, j \in J')\} \quad (7)$$

$$p_i^- = \{(\min p_{ij}, j \in J) \text{ or } (\max p_{ij}, j \in J')\} \quad (8)$$

όπου το J αναπαριστά κριτήρια θετικής επίδρασης (οφέλους) και το J' κριτήρια αρνητικής επίδρασης (κόστους).

5. Υπολογισμός της απόστασης κάθε εναλλακτικής από την θετική ιδεατή λύση (9) και την αρνητική ιδεατή λύση (10):

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - p_j^+)^2} \quad (9)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - p_j^-)^2} \quad (10)$$

6. Υπολογισμός, τέλος, της σχετικής εγγύτητας D_i στην θετική ιδεατή λύση για κάθε εναλλακτική A_i (11):

$$D_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (11)$$

Ξεφεύγοντας από το αρχικό μοντέλο TOPSIS, η Behavioural TOPSIS αναγνωρίζει την σχέση μεταξύ της απόστασης από την ιδεατή (ή θετικά ιδεατή) λύση S_i^+ και της απόστασης της αντί-ιδεατής (ή αρνητικά ιδεατής) λύσης S_i^- , θεωρώντας την πρώτη ως απώλεια ευκαιρίας και την δεύτερη ως το όφελος από την λήψη της λύσης A_i αντί της αντί-ιδεατής λύσης. Έτσι ορίζεται ένας λόγος αποφυγής της απώλειας (12).

$$\lambda = \frac{\text{Change in Gain}}{\text{Change in Loss}} = \frac{\Delta S^-}{\Delta S^+} \quad (12)$$

όπου η συμπεριφορά είναι ριψοκίνδυνη για $\lambda < 1$, ουδέτερη για $\lambda = 1$, και συντηρητική ως προς τον κίνδυνο για $\lambda > 1$. Η συμπεριφορά ως προς τον κίνδυνο μπορεί να ρυθμιστεί στο MACE-DSS. Τέλος, η συνάρτηση αξίας για κάθε εναλλακτική δίνεται στην (13), βάσει της οποίας ταξινομούνται οι εναλλακτικές.

$$V = S^- - \lambda S^+ \quad (13)$$

Σε διεργασίες λήψης ομαδικών αποφάσεων, η συνάθροιση της εισόδου αποτελεί μία από τις πιο κρίσιμες πτυχές (Lan et al., 2013). Για την ανάπτυξη ενός σχετικού εργαλείου υποστήριξης αποφάσεων από πολλαπλούς εμπειρογνώμονες, η προτεινόμενη προσέγγιση περιλαμβάνει την χρησιμοποίηση του μεθοδολογικού πλαισίου Behavioural TOPSIS δύο φορές, μία για την ανάλυση των ατομικών προτιμησιακών μοντέλων όλων των εμπειρογνομένων και τη συνάθροιση τους σε ένα ομαδικό μοντέλο, και άλλη μία για την αξιολόγηση του συνολικού μοντέλου για την εύρεση της τελικής κατάταξης. Αυτή η προσέγγιση παρουσιάζεται από τους Krohling and Campanharo (2011), παρότι η συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποίησε την Fuzzy TOPSIS σε τριγωνικά ασαφή δεδομένα αντί της Behavioural TOPSIS σε υβριδικό τύπο πληροφορίας.

Στην παρούσα προσέγγιση, μετά την εξαγωγή της γνώσης όλων των αποφασιζόντων και την ενοποίησή της σε μία συνεπή αριθμητική κλίμακα, το μοντέλο της Behavioural TOPSIS χρησιμοποιείται για κάθε έναν εκ των l αποφασιζόντων και ένας πίνακας σχετικής εγγύτητας (Global Closeness, ή GC) διαμορφώνεται έτσι ώστε να ενσωματώνει όλα τα ατομικά προτιμησιακά μοντέλα (14).

$$GC = \begin{bmatrix} C_1^1 & C_1^l \\ C_m^1 & C_m^l \end{bmatrix} \quad (14)$$

Επίσης, εάν έχουν προσδιοριστεί βάρη για κάθε έναν εκ των αποφασιζόντων και με βάση το αντίστοιχο διάνυσμα βαρών $WE = (we_1, we_2, \dots, we_l)$, μπορεί να υπολογισθεί και ο σταθμισμένος πίνακας του ομαδικού προτιμησιακού μοντέλου (15).

$$WGC = \begin{bmatrix} we_1 C_1^1 & we_l C_1^l \\ we_1 C_m^1 & we_l C_m^l \end{bmatrix} \quad (15)$$

Εναλλακτικά, ο χρήστης δύναται να επιλέξει μία διαφορετική προσέγγιση με βάση πάλι την Behavioural TOPSIS, στην οποία υλοποιείται η μέθοδος σταθμισμένου μέσου (weighted sum method ή WSM) για την εύρεση μίας επίδοσης για κάθε εναλλακτική έναντι κάθε κριτηρίου, συναθροίζοντας έτσι τις επιδόσεις όλων των αποφασιζόντων, και στην πορεία η μέθοδος Behavioural TOPSIS εφαρμόζεται μία φορά για την εύρεση της τελικής κατάταξης. Αυτή η προσέγγιση έχει προταθεί από τον Chen (2000), αλλά για την αυθεντική μέθοδο TOPSIS.

Χάριν ενίσχυσης της ποικιλίας και της ευρωστίας των αποτελεσμάτων, μία θεμελιωδώς διαφορετική προσέγγιση που βασίζεται σε ένα μοντέλο συνάθροισης και μετάφρασης των Herrera et al. (2005) επίσης μοντελοποιείται στο εργαλείο, θεωρώντας ότι η τελική αξιολόγηση των εναλλακτικών δράσεων πρέπει να εκφράζεται σε κατανοητούς γλωσσικούς όρους. Αυτή η προσέγγιση επί της ουσίας αξιοποιεί τον σταθμισμένο μέσο και το υπολογιστικό γλωσσικό μοντέλο διπλής αναπαράστασης ή 2-tuple των Martínez and Herrera (2012), ένα συμβολικό μοντέλο που βελτιώνει άλλες προσεγγίσεις γλωσσικής μοντελοποίησης με διάφορους τρόπους (Rodríguez and Martínez, 2013), μέσω της μετάφρασης των συναθροισμένων δεδομένων σε κατανοητή πληροφορία, διασφαλίζοντας παράλληλα ότι δεν λαμβάνει χώρα καμία απώλεια δεδομένων κατά τη διαδικασία:

- Το γλωσσικό υπολογιστικό μοντέλο βασισμένο στα γλωσσικά 2-tuple πραγματοποιεί υπολογιστικές διεργασίες εύκολα και χωρίς απώλεια πληροφορίας.
- Ο γλωσσικός χώρος μπορεί να θεωρηθεί συνεχής, ενώ στα κλασικά γλωσσικά μοντέλα θεωρείται διακριτός.
- Τα αποτελέσματα των υπολογιστικών διεργασιών εκφράζονται πάντα στον αρχικό γλωσσικό χώρο, ως ζεύγος τιμών που περιλαμβάνουν την γλωσσική ετικέτα και πρόσθετη πληροφορία.

Για την αναπαράσταση της γλωσσικής πληροφορίας, το μοντέλο χρησιμοποιεί ένα ζεύγος τιμών που καλείται γλωσσικό 2-tuple (s, α) , όπου s είναι ένας γλωσσικός όρος και α μία αριθμητική τιμή που αναπαριστά μία συμβολική μετάφραση.

Ορισμός 1. Έστω $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ ένα σύνολο γλωσσικών όρων και β το αποτέλεσμα μίας συνάθροισης των δεικτών ενός συνόλου ετικετών που αξιολογούνται σε ένα σύνολο γλωσσικών όρων S , δηλαδή το αποτέλεσμα μίας διαδικασίας συμβολικής συνάθροισης β στο διάστημα $[0, g]$, όπου $g + 1$ ο πληθάρθμος του S . Έστω $i = \text{round}(\beta)$ και $\alpha = \beta - i$ δύο τιμές, ώστε το i να ανήκει στο $[-0.5, 0.5)$, τότε το α καλείται μία συμβολική μετάφραση.

Η συμβολική μετάφραση ενός γλωσσικού όρου s_i είναι μία αριθμητική τιμή στο $[-0.5, 0.5)$ που δείχνει τη διαφορά της πληροφορίας μεταξύ της υπολογισθείσας τιμής $\beta \in [0, g]$, και του εγγύτερου στοιχείου στο $\{s_0, \dots, s_g\}$, δείχνοντας το περιεχόμενο του εγγύτερου γλωσσικού όρου S ($i = \text{round}(\beta)$).

Αυτό το γλωσσικό μοντέλο διπλής αναπαράστασης (2-tuple) επεκτείνει την χρήση δεικτών, τροποποιώντας την ασαφή γλωσσική προσέγγιση με την προσθήκη μίας νέας παραμέτρου, την αποκαλούμενη *συμβολική μετάφραση*, και με την αναπαράσταση της γλωσσικής πληροφορίας μέσω ενός γλωσσικού 2-tuple $(s_i, \alpha) \in S \times [-0.5, 0.5)$, όπου $s \in S$ ένας γλωσσικός όρος και $\alpha \in [-0.5, 0.5)$ μία αριθμητική τιμή που αναπαριστά τη συμβολική μετάφραση (16):

$$a = \begin{cases} [-0.5, 0.5), & \text{if } s_i \in \{s_1, s_2, \dots, s_{g-1}\} \\ [0, 0.5), & \text{if } s_i = s_0 \\ [-0.5, 0), & \text{if } s_i = s_g \end{cases} \quad (16)$$

Το μοντέλο διπλής αναπαράστασης 2-tuple ορίζει ένα σύνολο συναρτήσεων μεταξύ γλωσσικών 2-tuple και αριθμητικών τιμών, το οποίο διευκολύνει τους ακριβείς υπολογισμούς με γλωσσικές πληροφορίες.

Ορισμός 2. Έστω $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ ένα σύνολο γλωσσικών όρων και $\beta \in [0, g]$ μία τιμή που υποστηρίζει το αποτέλεσμα μίας διαδικασίας συμβολικής συνάθροισης. Τότε, το 2-tuple που εκφράζει την ισοδύναμη πληροφορία με το β λαμβάνεται με τη συνάρτηση της (17):

$$\Delta: [0, g] \rightarrow S \times (-0.5, 0.5) \quad (17)$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha), \text{ with } \begin{cases} s_i & i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i & \alpha \in [-0.5, 0.5) \end{cases}$$

όπου *round* η συνήθης συνάρτηση στρογγυλοποίησης, το s_i φέρει την εγγύτερη γλωσσική ετικέτα στο β και το α είναι η τιμή της συμβολικής μετάφρασης.

Για παράδειγμα, για μία πενταβάθμια κλίμακα $\{None, Low, Medium, High, Perfect\}$ και $\beta = 3.8$, η αναπαράσταση 2-tuple της πληροφορίας θα ήταν $\Delta(3.8) = (Perfect, -0.2)$.

Πρόταση 1. Έστω $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ ένα σύνολο γλωσσικών όρων και (S_i, α_i) ένα γλωσσικό 2-tuple. Υπάρχει πάντα μία συνάρτηση Δ^{-1} , τέτοια ώστε από ένα 2-tuple αυτή επιστρέφει την ισοδύναμη αριθμητική τιμή $\beta \in [0, g]$ στο διάστημα της διακριτότητας του S (18).

Απόδειξη. Θεωρούμε την ακόλουθη συνάρτηση:

$$\Delta^{-1}: S \times \{-0.5, 0.5\} \rightarrow [0, g] \quad (18)$$

$$\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha = \beta$$

Σχόλιο 1. Από τους Ορισμούς 1 και 2 και την Πρόταση 1, είναι εμφανές ότι η μετατροπή ενός γλωσσικού όρου σε ένα γλωσσικό 2-tuple αποτελείται από την προσθήκη μίας τιμής α ως συμβολική μετάφραση: $s_i \in S \Rightarrow (s_i, 0)$

Το μοντέλο αυτό έχει μία υπολογιστική τεχνική βασισμένη στο μοντέλο γλωσσικής αναπαράστασης 2-tuple που περιγράφεται με λεπτομέρεια από τους Martínez and Herrera (2012).

7.3.3 Έλεγχος συμφωνίας

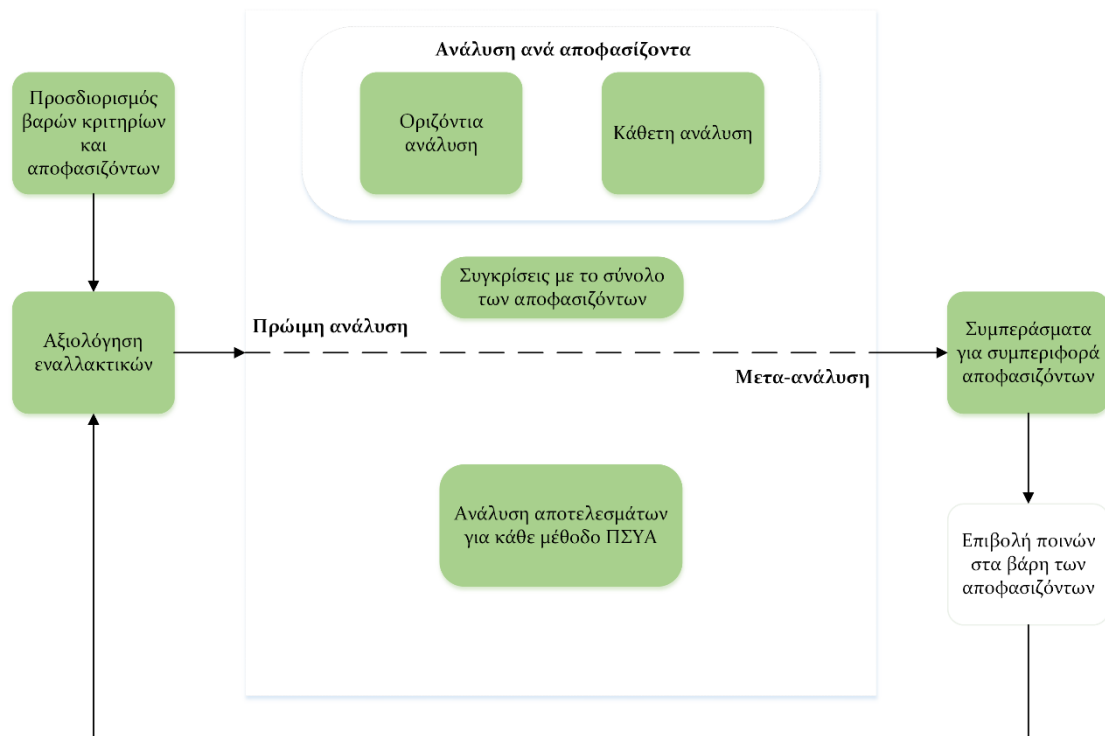
Παρότι η λήψη ομαδικών αποφάσεων είναι μία επαναληπτική διεργασία στην οποία η επιλογή και η συμφωνία είναι αλληλένδετες (Choudhury et al., 2006), ο έλεγχος συμφωνίας στα ΠΣΥΑ είναι καταρχήν μία ξεχωριστή διαδικασία (Dong et al., 2010). Το MACE-DSS επιτρέπει τον έλεγχο συμφωνίας, μία διεργασία ανίχνευσης που βασίζεται στην κλασική στατιστική προσέγγιση, η οποία επιτρέπει στον αναλυτή να εντοπίσει εύκολα πιθανές ασυμφωνίες μεταξύ των εμπειρογνομόνων σε διαφορετικά στάδια της συνολικής διαδικασίας, ώστε να εξομαλυνθούν αυτές οι διαφωνίες και να αυξηθεί ο βαθμός συμφωνίας. Ως εκ τούτου, η είσοδος των εμπλεκόμενων αποφασιζόντων μπορεί να

αξιολογηθεί για την εύρεση χρήσιμων πληροφοριών σχετικών με την συμπεριφορά τους και, προαιρετικά, την εύκολη τροποποίηση των βαρών τους κατάλληλα, ώστε να εξισορροπηθούν οι έντονες μεροληψίες.

Σε πολύ πρώιμο στάδιο και ανεξαρτήτως του επιλεγθέντος μοντέλου ΠΣΥΑ, πραγματοποιείται μία ανάλυση ανά αποφασίζοντα με βάση την αρχική τους πληροφορία. Μία οριζόντια ανάλυση υπολογίζει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση για κάθε εναλλακτική έναντι όλων των κριτηρίων. Το standard score υπολογίζεται και συγκρίνεται με προκαθορισμένα από τον χρήστη κατώφλια, ένα για μικρή και ένα για μεγάλη απόκλιση, στις οποίες περιπτώσεις τα αντίστοιχα κελιά γίνονται κίτρινα και κόκκινα αντίστοιχα. Το standard score εκφράζει τον αριθμό των τυπικών αποκλίσεων κατά τις οποίες μία τιμή βρίσκεται πάνω ή κάτω από τη μέση τιμή. Σε αυτήν την κατεύθυνση, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κατώφλια της δικής του προτίμησης. Για παράδειγμα, ένα κατώφλι ίσο με 1.0 εκφράζει απόκλιση τιμής από τη μέση τιμή κατά μία τυπική απόκλιση. Ένα standard score πάνω από το προκαθορισμένο από τον χρήστη άνω όριο (κατώφλι) δείχνει μεγάλη απόκλιση, ενώ ένα standard score μεταξύ των δύο κατωφλίων δείχνει μικρή απόκλιση. Αυτού του τύπου η ανάλυση βοηθά στην ανίχνευση τυχόν ακραίων επιδόσεων ως εισόδου ενός εμπειρογνώμονα, για συγκεκριμένα κριτήρια, για κάθε εναλλακτική. Μία κάθετη ανάλυση υπολογίζει τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση όλων των εναλλακτικών για κάθε κριτήριο. Πάλι, συγκρίνοντας το standard score με τα προκαθορισμένα από τον χρήστη κατώφλια, ο χρήστης μπορεί να προσδιορίσει εάν ακραίες επιδόσεις έχουν εξαχθεί για συγκεκριμένες εναλλακτικές, σε κάθε κριτήριο. Επιπρόσθετα, μία κάθετη ανάλυση πραγματοποιείται επίσης ανά εναλλακτική, στην οποία για κάθε εναλλακτική η είσοδος όλων των εμπειρογνομένων συγκρίνεται με την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της ομάδας για κάθε κριτήριο. Αυτή συνιστά και την πιο σημαντική πρώιμη ανάλυση που παρέχει το MACE-DSS, εφόσον επιτρέπει την εξέταση της ευθυγράμμισης της συνολικής συμπεριφοράς ενός αποφασίζοντα με τους υπόλοιπους αποφασίζοντες. Μία τέτοια προσέγγιση μπορεί να οδηγήσει στην επιβολή ποινής σε έναν εμπειρογνώμονα, μέσω της τροποποίησης του βάρους της εισόδου τους. Η ποινικοποίηση ενός εμπειρογνώμονα χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου ορισμένοι εμπειρογνώμονες γνωρίζουν σε μικρότερο βαθμό ένα θέμα συγκριτικά με άλλους ή εφαρμόζουν στρατηγικές βελτιστοποίησης του προσωπικού τους οφέλους ως αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας (Yager, 2001), και δεν είναι ασυνήθης στη βιβλιογραφία των ΠΣΥΑ (π.χ. Yager, 2002 και Quesada et al., 2015).

Τέλος, για κάθε μέθοδο, πραγματοποιείται μία τελική μετα-ανάλυση. Σε αυτόν τον τύπο ανάλυσης, οι επιδόσεις για κάθε κριτήριο έχουν συναθροισθεί (ανάλογα με το εκάστοτε πλαίσιο ΠΣΥΑ). Ως εκ τούτου, δύο αναλύσεις λαμβάνουν χώρα στον πίνακα [εναλλακτικές x αποφασίζοντες], παρόμοιες με τις πρώιμες οριζόντιες και κάθετες αναλύσεις, αλλά με τη σύγκριση κάθε εμπειρογνώμονα έναντι των υπολοίπων.

Οι προαναφερθείσες επιλογές ελέγχου συμφωνίας απεικονίζονται στην [Εικόνα 7.2](#).



Εικόνα 7.2 Έλεγχος συμφωνίας στο εργαλείο MACE-DSS.

7.4 Αξιολόγηση κινδύνων και μέτρων πολιτικής

Για την πιλοτική εφαρμογή του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου και εργαλείου, το MACE-DSS εφαρμόζεται σε μία μελέτη περίπτωσης που αποσκοπεί στην αξιολόγηση δώδεκα μέτρων κλιματικής πολιτικής, από το 3^ο ΕΣΔΕΑ (Hellenic Ministry of Environment and Energy, 2014), με κριτήρια δέκα κινδύνους υλοποίησης για την πράσινη μετάβαση των ελληνικών τομέων κτιρίων, ενέργειας και μεταφορών. Έξι εμπειρογνώμονες συμμετείχαν στην διαδικασία, τα αρχικά βάρη των οποίων τέθηκαν με βάση την εμπειρία και θέση τους στους οργανισμούς όπου εργάζονται: {8,8,9,6,7,6}.

Εφόσον τα βάρη των κριτηρίων (κινδύνων υλοποίησης) δεν ήταν εξ αρχής γνωστά, καθώς και δύσκολα να ληφθούν απευθείας από τους εμπειρογνώμονες, η μελέτη περίπτωσης διαίρεται σε δύο στάδια: ένα για τον προσδιορισμό της κατάταξης των κινδύνων υλοποίησης, και άλλο ένα για την αξιολόγηση των μέτρων πολιτικής με βάση αυτούς τους κινδύνους και τα βάρη που προκύπτουν από την κατάταξη του πρώτου σταδίου. Με άλλα λόγια, οι κίνδυνοι αρχικά αποτελούν το σύνολο εναλλακτικών δράσεων και, κατά το δεύτερο στάδιο, το σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης. Πρέπει να σημειωθεί ότι, στο πρώτο στάδιο, η ομαδική συμπεριφορά απέναντι στην απώλεια στο μοντέλο της Behavioural TOPSIS δεν έχει νόημα, εφόσον ο σκοπός αυτού του σταδίου είναι η αξιολόγηση κινδύνων, και το λ τίθεται ίσο με 1, υποδεικνύοντας ουδέτερη στάση απέναντι στον κίνδυνο. Στο δεύτερο στάδιο, σκοπός είναι η αξιολόγηση μέτρων πολιτικής και υποτίθεται συμπεριφορά απέναντι στον κίνδυνο.

7.4.1 Εκτίμηση της σημαντικότητας των κινδύνων υλοποίησης

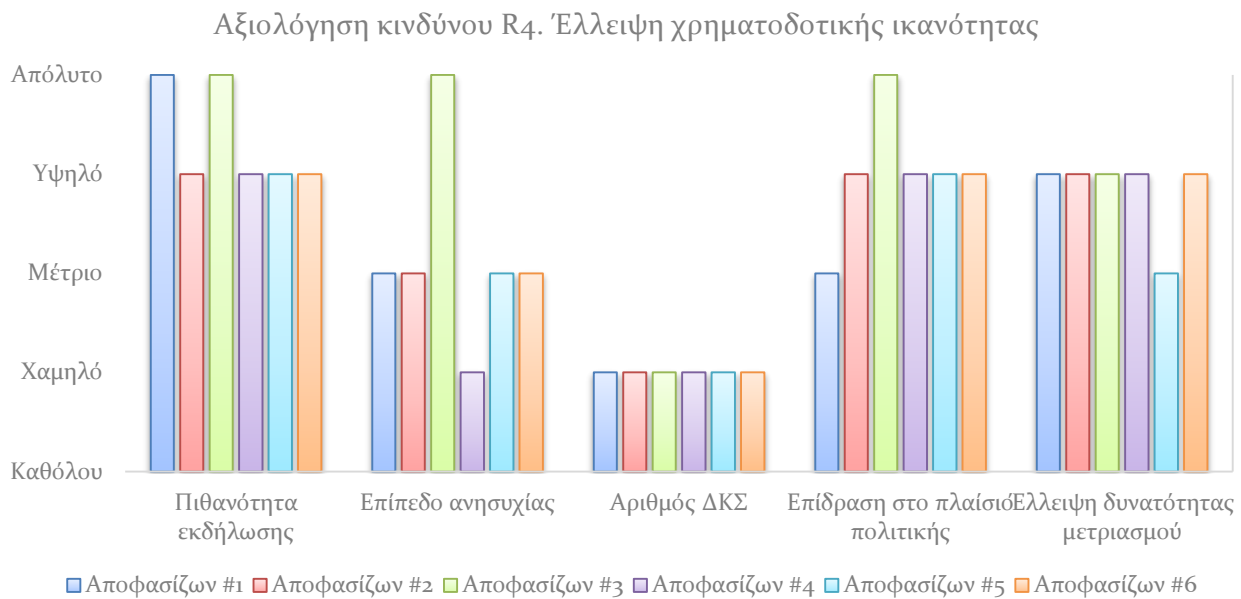
Οι κίνδυνοι περιλαμβάνουν πολιτική αδράνεια και αστάθεια, έλλειψη θεσμικής και χρηματοδοτικής ικανότητας, γραφειοκρατία, έλλειψη εμπιστοσύνης και κοινωνική αποδοχή, ανεπαρκείς τεχνικές

δεξιότητες, αστάθεια αγοράς, και ανεπαρκείς υποδομές. Αυτοί οι κίνδυνοι αξιολογούνται έναντι της πιθανότητας να εμφανιστούν, του επιπέδου ανησυχίας των εμπειρογνομόνων, του βαθμού επίδρασης των στο πλαίσιο κλιματικής πολιτικής, τη δυνατότητα μετριασμού του μεγέθους τους, και τον αριθμό των κοινωνικοοικονομικών μονοπατιών ΔΚΜ τα οποία δύνανται να επηρεάσουν, με βάση τους παράγοντες που συναποτελούν τα αφηγήματά τους (O'Neill et al., 2017). Οι κίνδυνοι αξιολογήθηκαν από τους εμπειρογνώμονες για όλα τα κριτήρια εκτός από αυτό του αριθμού των ΔΚΜ στα οποία δύνανται να εκτυλιχθούν που είναι σταθερά και δεν παρουσιάζει απόκλιση ανά τους εμπειρογνώμονες. Τα βάρη για τα πέντε κριτήρια φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 7.4).

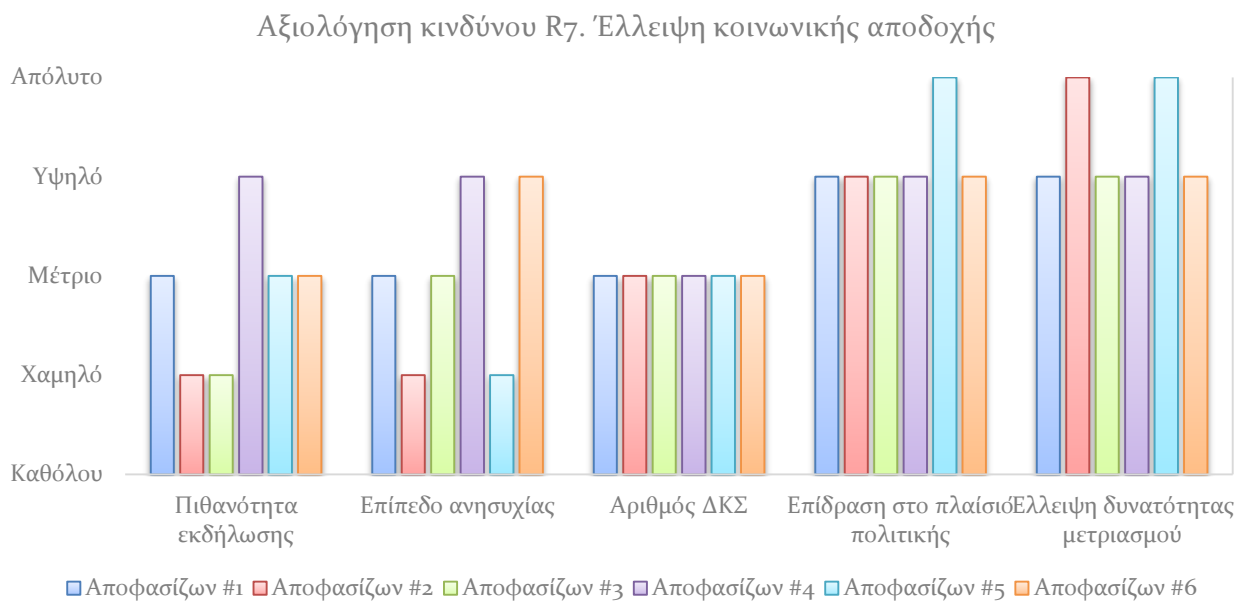
Πίνακας 7.4 Στάδιο 1: Κίνδυνοι υλοποίησης (εναλλακτικές), παράγοντες αξιολόγησης κινδύνων (κριτήρια) και βάρη.

Εναλλακτικές (Κίνδυνοι)	Κριτήρια αξιολόγησης	Βάρη
R1. Απραξία πολιτικής	C1. Πιθανότητα εκδήλωσης	9
R2. Πολιτική αστάθεια	C2. Επίπεδο ανησυχίας	3
R3. Έλλειψη θεσμικής ικανότητας	C3. Αριθμός ΔΚΜ	4
R4. Έλλειψη χρηματοδοτικής ικανότητας	C4. Επίδραση στο πλαίσιο πολιτικής	9
R5. Γραφειοκρατία	C5. Έλλειψη δυνατότητας μετριασμού	5
R6. Έλλειψη εμπιστοσύνης		
R7. Έλλειψη κοινωνικής αποδοχής		
R8. Ανεπαρκείς τεχνικές δεξιότητες		
R9. Αστάθεια αγοράς		
R10. Ανεπαρκείς υποδομές		

Για να μπορέσουν οι εμπειρογνώμονες να αξιολογήσουν τους εναλλακτικούς κινδύνους έναντι των πέντε κριτηρίων αξιολόγησης, χρησιμοποιήθηκε μία πενταβάθμια γλωσσική κλίμακα: {Καθόλου, Χαμηλό, Μέτριο, Υψηλό, Απόλυτο}. Δεδομένου του στόχου αυτής της διεργασίας (δηλαδή του προσδιορισμού μίας λογικής κατάταξης από τον χειρότερο ή πιο σημαντικό έως τον καλύτερο ή λιγότερο σημαντικό κίνδυνο), καθώς και της αρνητικής επίδρασης όλων των κριτηρίων, το πρόβλημα θεωρήθηκε ότι χαρακτηρίζεται από κριτήρια οφέλους. Μετά την εξαγωγή της πληροφορίας από τους αποφασίζοντες (π.χ. Εικόνες 7.3 - 7.4), χρησιμοποιήθηκε το MACE-DSS για τον υπολογισμό των κατατάξεων για κάθε κίνδυνο υλοποίησης (Πίνακας 7.5).



Εικόνα 7.3 Πληροφορία εμπειρογνομόνων για την αξιολόγηση του κινδύνου υλοποίησης R4.



Εικόνα 7.4 Πληροφορία εμπειρογνομόνων για την αξιολόγηση του κινδύνου υλοποίησης R7.

Όπως συμπεραίνεται από τον Πίνακα 7.5, τα τρία μεθοδολογικά πλαίσια εμφανίζουν υψηλή σύγκλιση σχετικά με την τελική κατάταξη των δέκα κινδύνων υλοποίησης. Οι μοναδικές ελαφριές αποκλίσεις παρατηρούνται στις θέσεις 5-8, μεταξύ όλων των μεθοδολογιών. Η παρατηρηθείσα σύγκλιση υποδεικνύει ευρωστία της κατάταξης. Μία ακόμη χρήσιμη παρατήρηση αφορά στις αριθμητικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των κινδύνων για κάθε μεθοδολογικό πλαίσιο. Για παράδειγμα, ορισμένες αποκλίσεις στη μέθοδο 2-tuple WSM μπορεί να φαίνονται ασήμαντες, ενώ στις μεθόδους που βασίζονται στην Behavioural TOPSIS αυτές οι διαφορές υπερβάλλονται. Αυτή η παρατήρηση μπορεί να έχει σημαντικές προεκτάσεις για την ευαισθησία της κατάταξης σε περίπτωση εισαγωγής διαφορετικών προτιμησιακών μοντέλων στο εργαλείο, καθώς και για τα βάρη που παράγονται για το δεύτερο στάδιο της μελέτης περίπτωσης.

Πίνακας 7.5 Στάδιο 1: Τελική συνολική αξιολόγηση των κινδύνων υλοποίησης, σύμφωνα με τις τρεις μεθοδολογίες 2-tuple WSM x WSM (Herrera et al., 2005), TOPSIS x TOPSIS (Krohling and Campanharo, 2011) και WSM x TOPSIS (Chen, 2000).

Κίνδυνοι	2-tuple WSM x WSM Συνολική αξιολόγηση			TOPSIS x TOPSIS	WSM x TOPSIS
				Εγγύτητα σε ιδεατή λύση	Εγγύτητα σε ιδεατή λύση
	$\Delta^{-1}(s_n, \alpha)$	s_n	A		
R1	3.2962	H	0.2962	0.0487	0.0822
R2	2.7894	H	-0.2106	-0.0169	-0.0194
R3	2.5712	H	-0.4288	-0.0185	-0.0038
R4	2.7568	H	-0.2432	-0.0063	-0.0075
R5	2.9614	H	-0.0386	0.0096	0.0257
R6	3.2045	H	0.2045	0.0183	0.0349
R7	2.4894	M	0.4894	-0.0337	-0.0259
R8	2.2939	M	0.2939	-0.0357	-0.0299
R9	3.1394	H	0.1394	0.0159	0.0324
R10	2.7326	H	-0.2674	-0.0064	0.0034

Τα βάρη για τους κινδύνους υλοποίησης, ως κριτήρια αξιολόγησης, στο δεύτερο στάδιο της μελέτης περίπτωσης εξάγονται από τα αποτελέσματα της TOPSIS x TOPSIS μεθόδου των Krohling and Campanharo (2011), όπως αναλύεται στην [Ενότητα 7.3](#). Πριν την εξαγωγή αυτών των βαρών, ωστόσο, έχει ενδιαφέρον να παρατηρηθούν οι ακραίες τιμές που παρείχαν οι αποφασίζοντες για συγκεκριμένες εναλλακτικές ([Πίνακας 7.6](#)), για μικρές και μεγάλες αποκλίσεις από τα κατώφλια ορισμένα στο 1.2 (σημειωμένες με “†”) και 2 (σημειωμένες με “‡”) αντίστοιχα.

Πίνακας 7.6 Στάδιο 1: Αποτελέσματα μετα-ανάλυσης για την Behavioural TOPSIS βάσει της μεθοδολογίας TOPSIS x TOPSIS (Krohling and Campanharo, 2011).

Κίνδυνοι	Αποφασίζων 1	Αποφασίζων 2	Αποφασίζων 3	Αποφασίζων 4	Αποφασίζων 5	Αποφασίζων 6
R1	0.56543	0.05605	0.83832	1.51452†	1.13003	1.18475
R2	0.75971	0.64562	1.12878	1.83305†	0.27327	0.54510
R3	0.53237	1.14515	0.08486	0.01671	1.20505†	1.71627†
R4	0.00368	0.19227	1.91835†	1.10469	0.96909	0.35139
R5	0.68393	0.29723	1.81436†	1.38426†	0.48043	0.07064
R6	0.60050	0.37440	0.96889	0.88868	1.74551†	0.85083
R7	0.16292	1.41566†	1.32047†	0.74634	0.91288	0.91398
R8	0.31309	2.08144‡	1.02228	0.40265	0.21781	0.56122
R9	0.48635	1.39744†	0.62921	0.84823	1.34613†	0.93978
R10	1.58987†	0.42496	1.04092	0.59303	0.53576	1.25279†

Αυτή η μετά-ανάλυση υποδεικνύει ότι πολλοί αποφασίζοντες φαίνονται ενδεχομένως να έχουν δώσει ακραίες τιμές για ορισμένες εναλλακτικές. Κοιτάζοντας λεπτομερώς στην αρχική πληροφορία των εμπειρογνομόνων και πραγματοποιώντας συγκρίσεις μεταξύ καθενός και της ομάδας, ως μέρος του ελέγχου συμφωνίας του MACE-DSS, παρατηρείται ότι ο Αποφασίζων #3 δείχνει τη μεγαλύτερη ασυμφωνία με την ομάδα ([Πίνακας 7.7](#)). Όπως αναμενόταν, καμία απόκλιση δεν παρατηρείται για το τρίτο κριτήριο, αφού σε αυτό όλες οι επιδόσεις είναι κοινές ανά τους αποφασίζοντες.

Πίνακας 7.7 Στάδιο 1: Συγκρίσεις μεταξύ της πληροφορίας του Αποφασίζοντος 3 και του συνολικού προτιμησιακού μοντέλου.

Κίνδυνοι	Κριτήριο C1	Κριτήριο C2	Κριτήριο C3	Κριτήριο C4	Κριτήριο C5
R1	1.414213562†	1.732050808†	0	0.707106781	0.707106781
R2	1	0.707106781	0	0.447213595	1
R3	0.447213595	1.788854382†	0	1.414213562†	0
R4	1.414213562†	2.04264872‡	0	1.732050808†	0.447213595
R5	1	0.447213595	0	0	1.788854382†
R6	1	2.236067977‡	0	0.707106781	1.212678125†
R7	1.212678125†	0	0	0.447213595	0.707106781
R8	1.224744871†	1.212678125†	0	0.707106781	0.707106781
R9	1	0.707106781	0	0.707106781	0
R10	0.447213595	1.212678125†	0	0	0

Με βάση τους παραπάνω πίνακες, πραγματοποιήθηκε μία προσπάθεια επιβολής ποινής στον Αποφασίζοντα #3, μέσω της μείωσης του βάρους του από 9 σε 6 (Πίνακας 7.8). Η νέα πολυκριτήρια ανάλυση έδειξε μικρή διαφορά σχετικά με την κατάταξη των δύο μεθόδων Behavioural TOPSIS και πολύ μικρή διαφοροποίηση στη μέθοδο 2-tuple WSM. Ωστόσο, οι αριθμητικές τιμές διαφοροποιήθηκαν για όλες τις μεθόδους, στον βαθμό που αυτό ενδέχεται να έχει σημαντικές επιπτώσεις για τα βάρη των κινδύνων, όταν αυτά θα χρησιμοποιηθούν ως κριτήρια αξιολόγησης στο δεύτερο στάδιο της μελέτης. Για τους σκοπούς της μελέτης περίπτωσης και παρά τον πειραματισμό με τη δυνατότητα επιβολής ποινής του εργαλείου, τα βάρη των κινδύνων λαμβάνονται από την αρχική (προ ποινής) κατάταξη της κύριας Behavioural TOPSIS μεθοδολογίας.

Πίνακας 7.8 Στάδιο I: Μεταβολές στα αποτελέσματα ΠΣΥΑ πριν και μετά την επιβολή ποινής στον Αποφασίζοντα 3.

2-tuple WSM x WSM (Herrera et al., 2005)				TOPSIS x TOPSIS (Krohling and Campanharo, 2011)				WSM x TOPSIS (Chen, 2000)			
Χωρίς ποινή		Με ποινή		Χωρίς ποινή		Με ποινή		Χωρίς ποινή		Με ποινή	
Κατάταξη	Βαθμός	Κατάταξη	Βαθμός	Κατάταξη	Βαθμός	Κατάταξη	Βαθμός	Κατάταξη	Βαθμός	Κατάταξη	Βαθμός
R1	3.2962	R1	3.2789	R1	0.0487	R1	0.0466	R1	0.0822	R1	0.0822
R6	3.2045	R6	3.2171	R6	0.0183	R6	0.0210	R6	0.0349	R6	0.0349
R9	3.1394	R9	3.1593	R9	0.0159	R9	0.0186	R9	0.0324	R9	0.0324
R5	2.9614	R5	2.9341	R5	0.0096	R5	0.0059	R5	0.0257	R5	0.0257
R2	2.7894	R2	2.7740	R4	-0.0063	R10	-0.0079	R10	0.0034	R10	0.0034
R4	2.7568	R10	2.7228	R10	-0.0064	R4	-0.0128	R4	-0.0038	R3	-0.0038
R10	2.7326	R4	2.7073	R2	-0.0169	R3	-0.0180	R3	-0.0075	R4	-0.0075
R3	2.5712	R3	2.5715	R3	-0.0185	R2	-0.0193	R2	-0.0194	R2	-0.0194
R7	2.4894	R7	2.5130	R7	-0.0337	R7	-0.0299	R7	-0.0259	R7	-0.0259
R8	2.2939	R8	2.3106	R8	-0.0357	R8	-0.0322	R8	-0.0299	R8	-0.0299

7.4.2 Αξιολόγηση μέτρων πολιτικής

Στο δεύτερο στάδιο της μελέτης περίπτωσης, οι κίνδυνοι υλοποίησης δεν αποτελούν πλέον εναλλακτικές του προβλήματος, αλλά κριτήρια αξιολόγησης, με βάρη βάσει των αποτελεσμάτων του πρώτου σταδίου. Τα επιλεχθέντα μέτρα πολιτικής (Hellenic Ministry of Environment and Energy, 2014), καθώς και τα κριτήρια αξιολόγησης και τα αντίστοιχα βάρη (όπως υπολογίσθηκαν στο πρώτο στάδιο και κατόπιν κανονικοποίησης στο MACE-DSS) απεικονίζονται στον Πίνακα 7.9.

Πίνακας 7.9 Στάδιο 2: Μέτρα πολιτικής (εναλλακτικές, κίνδυνοι υλοποίησης (κριτήρια) και βάρη.

Εναλλακτικές (Μέτρα πολιτικής)	Κριτήρια αξιολόγησης (κίνδυνοι)	Βάρη (%)
P1. «Εξοικονόμηση κατ' οίκον»	R1. Απραξία πολιτικής	19.80%
P2. «Εξοικονόμηση στους Δήμους Ι & ΙΙ	R2. Πολιτική αστάθεια	6.90%
P3. Ενεργειακές αναβαθμίσεις κατοικιών	R3. Έλλειψη θεσμικής ικανότητας	7.00%
P4. Ενεργειακές αναβαθμίσεις δημόσιων κτιρίων	R4. Έλλειψη χρηματοδοτικής ικανότητας	8.50%
P5. Ενεργειακές αναβαθμίσεις εμπορικών κτιρίων	R5. Γραφειοκρατία	12.00%
P6. Εκπαιδευτικές δράσεις για προσωπικό υπηρεσιών	R6. Έλλειψη εμπιστοσύνης	14.30%
P7. Διάχυση έξυπνων μετρητών	R7. Έλλειψη κοινωνικής αποδοχής	4.70%
P8. Ενεργειακοί υπεύθυνοι σε δημόσια κτίρια	R8. Ανεπαρκείς τεχνικές δεξιότητες	3.90%
P9. Αντικατάσταση παλαιών δημόσιο/ιδιωτικών ελαφρών φορτηγών	R9. Αστάθεια αγοράς	13.80%
P10. Αντικατάσταση παλαιών επιβατηγών αυτοκινήτων	R10. Ανεπαρκείς υποδομές	9.00%
P11. Ανάπτυξη δικτύου Μετρό Θεσσαλονίκης		
P12. Επέκταση δικτύου Μετρό Αθήνας		

Σε ένα ελαφρώς διαφορετικό πλαίσιο, οι μεταβλητές τώρα αξιολογούνται με την χρήση μίας επταβάθμιας γλωσσικής κλίμακας: {Καθόλου, Πολύ χαμηλό, Χαμηλό, Μέτριο, Υψηλό, Πολύ υψηλό, Απόλυτο}. Επιπρόσθετα, τίθεται συγκεκριμένη συμπεριφορά απέναντι στον κίνδυνο και, όπως προτείνεται από τους Yoon and Kim (2017), το λ τίθεται ίσο με 2. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, τα αποτελέσματα για κάθε μέθοδο φαίνονται στον Πίνακα 7.10. Σημειώνεται ότι η μέθοδος 2-tuple WSM x WSM υποθέτει ότι όσο υψηλότερη είναι η τελική επίδοση, τόσο πιο ριψοκίνδυνη θεωρείται η πολιτική, σε αντίθεση με τις δύο άλλες μεθόδους της Behavioural TOPSIS που ορίζονται με κριτήρια κόστους.

Πίνακας 7.10 Στάδιο 2: Τελική συνολική αξιολόγηση των μέτρων πολιτικής, σύμφωνα με τις τρεις μεθοδολογίες 2-tuple WSM x WSM (Herrera et al., 2005), TOPSIS x TOPSIS (Krohling and Campanharo, 2011) και WSM x TOPSIS (Chen, 2000).

Μέτρα	2-tuple WSM x WSM			TOPSIS x TOPSIS	WSM x TOPSIS
	Συνολική αξιολόγηση			Εγγύτητα σε ιδεατή λύση	Εγγύτητα σε ιδεατή λύση
	$\Delta^{-1}(s_n, \alpha)$	s_n	α		
P1	3.5962	H	-0,4038	-0.10101	-0.0990
P2	3.4466	M	0,4466	-0.09801	-0.0892
P3	3.6235	H	-0,3765	-0.10227	-0.1084
P4	3.1786	M	0,1786	-0.06011	-0.0623
P5	3.6886	H	-0,3114	-0.11409	-0.1044
P6	2.9473	M	-0,0527	-0.06239	-0.0622
P7	3.5885	H	-0,4115	-0.15240	-0.1466
P8	3.4718	M	0,4718	-0.12128	-0.1173

P9	3.6836	H	-0,3164	-0.14396	-0.1341
P10	3.4851	M	0,4851	-0.10756	-0.1087
P11	1.8952	L	-0,1048	0.09079	0.0733
P12	1.7993	L	-0,2007	0.06521	0.0525

Πάλι, κοιτάζοντας τις συγκρίσεις μεταξύ κάθε αποφασίζοντα και της συλλογικής πληροφορίας της ομάδας, φαίνεται ότι οι Αποφασίζοντες #1 και #6 φέρουν τις σπουδαιότερες αποκλίσεις. Ο Πίνακας 7.11 παρουσιάζει την ανάλυση σύγκρισης για τον δεύτερο.

Πίνακας 7.11 Στάδιο 2: Συγκρίσεις μεταξύ της πληροφορίας του Αποφασίζοντος 6 και του συνολικού προτιμησιακού μοντέλου.

Μέτρα	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
P1	1.7179†	1.2127†	2.1106‡	1.0000	0.4472	0.4472	0.3974	1.7179†	0.5222	0.4472
P2	1.0000	1.2999†	2.0426‡	0.7071	0.0000	0.8944	0.8660	1.4142†	0.6030	1.0000
P3	1.2060†	0.9285	2.1106‡	0.6547	0.3974	1.2247†	1.5652†	1.5667†	0.4472	0.7071
P4	0.4472	1.2247†	1.7179†	1.0000	0.4472	0.0000	0.2425	1.0000	0.2673	1.0000
P5	0.7809	0.7071	1.3644†	0.7071	0.6030	1.2247†	1.0000	1.2127†	0.4472	1.2999†
P6	1.2127†	1.2127†	0.7071	0.7071	1.4142†	1.2247†	1.6125†	1.2247†	1.0000	0.0000
P7	1.9373†	1.6977†	0.8660	0.9285	1.7179†	1.9868†	0.8341	1.2127†	0.2425	0.1857
P8	1.6977†	1.6977†	1.0000	0.6547	0.7071	0.6547	1.0932	0.0000	0.9285	0.5222
P9	0.2673	0.6868	0.0000	1.0000	0.6547	0.2425	1.0000	0.2425	1.7321†	1.0000
P10	0.0000	0.4472	1.0000	1.0000	0.4472	0.8944	0.6547	0.8944	0.7071	0.8944
P11	0.4472	1.2999†	1.1921	1.0000	0.7809	0.6547	0.7071	1.7678†	0.4472	0.0000
P12	0.9285	1.2127†	0.5698	0.7071	0.8944	1.7678†	0.9285	1.2247†	0.0000	0.2425

Μειώνοντας τα βάρη των δύο εμπειρογνομώνων (1 και 6), τα νέα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 7.12.

Πίνακας 7.12 Στάδιο 2: Μεταβολές στα αποτελέσματα ΠΣΥΑ πριν και μετά την επιβολή ποινών στους Αποφασίζοντες Ι και 6.

2-tuple WSM x WSM (Herrera et al., 2005)				TOPSIS x TOPSIS (Krohling and Campanharo, 2011)				WSM x TOPSIS (Chen, 2000)			
Χωρίς ποινή		Με ποινή		Χωρίς ποινή		Με ποινή		Χωρίς ποινή		Με ποινή	
Κατάταξη	Βαθμός	Κατάταξη	Βαθμός	Κατάταξη	Βαθμός	Κατάταξη	Βαθμός	Κατάταξη	Βαθμός	Κατάταξη	Βαθμός
P12	1.7993	P12	1.7756	P11	0.09079	P11	0.09216	P11	0.0733	P11	0.0750
P11	1.8952	P11	1.8860	P12	0.06521	P12	0.06979	P12	0.0525	P12	0.0553
P6	2.9473	P6	2.9496	P4	-0.06011	P6	-0.06391	P6	-0.0622	P6	-0.0603
P4	3.1786	P4	3.1911	P6	-0.06239	P4	-0.06420	P4	-0.0623	P4	-0.0620
P2	3.4466	P2	3.4503	P2	-0.09801	P1	-0.09761	P2	-0.0892	P2	-0.0874
P8	3.4718	P10	3.4650	P1	-0.10101	P3	-0.09896	P1	-0.0990	P1	-0.0951
P10	3.4851	P8	3.5036	P3	-0.10227	P2	-0.09965	P5	-0.1044	P5	-0.1028
P7	3.5885	P1	3.5896	P10	-0.10756	P10	-0.10146	P3	-0.1084	P10	-0.1030
P1	3.5962	P3	3.6263	P5	-0.11409	P5	-0.11778	P10	-0.1087	P3	-0.1037
P3	3.6235	P7	3.6422	P8	-0.12128	P8	-0.13256	P8	-0.1173	P8	-0.1212
P9	3.6836	P9	3.6737	P9	-0.14396	P9	-0.14356	P9	-0.1341	P9	-0.1311
P5	3.6886	P5	3.6990	P7	-0.15240	P7	-0.16883	P7	-0.1466	P7	-0.1527

Όσον αφορά τη μέθοδο 2-tuple WSM, είναι εμφανές ότι η επιβολή ποινής στους δύο εμπειρογνώμονες έχει σημαντικές επιπτώσεις στην τελική κατάταξη των μέτρων πολιτικής, μεταξύ των θέσεων 6 – 10. Αναφορικά με την πρώτη Behavioural TOPSIS μέθοδο, μία παρόμοια επίδραση παρατηρείται μεταξύ των θέσεων 3 – 7. Ωστόσο, η επιβολή ποινών βαρών στον πρώτο και τον έκτο αποφασίζοντα έχει πολύ μικρή επίδραση στη δεύτερη Behavioural TOPSIS μέθοδο, επιφέροντας μόνο μία ανατροπή στις θέσεις 8 και 9. Φυσικά, η ποινή επηρέασε τα τελικά αποτελέσματα και των τριών μεθοδολογιών, αλλά χωρίς περαιτέρω επιπτώσεις στην κατάταξη των εναλλακτικών μέτρων πολιτικής.

Αξίζει, ωστόσο, να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα της μεθόδου 2-tuple WSM διαφέρει σημαντικά από τα αποτελέσματα των άλλων δύο μεθόδων, κάτι που μπορεί να αποδοθεί στις μεθοδολογικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των προσεγγίσεων καθώς και τη μεγάλη ευαισθησία των αποτελεσμάτων της 2-tuple WSM στις θέσεις 5 – 12. Παρά τις διαφορές αυτές στα αποτελέσματα των τριών πλαισίων, όλες οι αναλύσεις συμφωνούν στις τέσσερις βέλτιστες πολιτικές (P11, P12, P6 και P4). Ως εκ τούτου, είναι ασφαλές το συμπέρασμα ότι, σύμφωνα με τους έξι αποφασίζοντες που συμμετείχαν στη μελέτη περίπτωσης, οι επενδύσεις στα δίκτυα Μετρό σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη, καθώς και οι ενεργειακές αναβαθμίσεις στα κτίρια του ευρύτερου δημόσιου τομέα και η τεχνική εκπαίδευση στον τομέα των υπηρεσιών, φαίνονται να διαμορφώνουν το βέλτιστο και πιο εύρωστο μείγμα πολιτικής, τουλάχιστον όσον αφορά τους κινδύνους υλοποίησης.

7.5 Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε λεπτομερής βιβλιογραφική ανασκόπηση και ανάλυση της συνεισφοράς των ΠΣΥΑ στην υποστήριξη κλιματικής πολιτικής, ειδικά εστιάζοντας στη δυνατότητά τους να υποστηρίξουν ομαδική λήψη αποφάσεων. Με βάση την ανάλυση αυτή, η TOPSIS φαίνεται να αποτελεί μία δημοφιλή αλλά και κατάλληλη μέθοδο για τον χώρο της κλιματικής πολιτικής. Σε αυτήν την κατεύθυνση, αναπτύχθηκε ένα μεθοδολογικό πλαίσιο και ένα αντίστοιχο εργαλείο γύρω από την Behavioural TOPSIS για την πραγματοποίηση πολυκριτήριας ανάλυσης καθώς και του ελέγχου συμφωνίας των εμπλεκόμενων εμπειρογνομώνων, το MACE-DSS.

Η προτεινόμενη προσέγγιση και το εργαλείο αποτελούνται από τρία βασικά στάδια. Αρχικά, η χρήση γλωσσικών μεταβλητών επιτρέπει στους εμπειρογνώμονες να παρέχουν εύκολα τη γνώση τους, κατά την αξιολόγηση των εναλλακτικών επιλογών, ενώ η δυνατότητα ενσωμάτωσης υβριδικής πληροφορίας μπορεί να ενισχύσει την ακρίβεια της πληροφορίας που παρέχεται. Δεύτερον, το στάδιο της πολυκριτήριας ανάλυσης επιτρέπει την αντιμετώπιση πραγματικών προβλημάτων μέσω της υποστήριξης της αξιολόγησης έως δώδεκα εναλλακτικών επιλογών έναντι έως δώδεκα κριτηρίων αξιολόγησης, από έως δώδεκα αποφασίζοντες/εμπειρογνώμονες, και αποτελείται από τρεις

διαφορετικές μεθοδολογίες ΠΣΥΑ. Ως αποτέλεσμα, ο αναλυτής μπορεί αυτόματα να αντιμετωπίσει προβλήματα με ποικιλία μεθόδων, ενισχύοντας έτσι την ευρωστία των αποτελεσμάτων. Τέλος, το MACE-DSS περιλαμβάνει τη δυνατότητα επισκόπησης και εξαγωγής συμπερασμάτων από τη μελέτη των προτιμησιακών μοντέλων των αποφασιζόντων, μέσω ενός αριθμού αναλύσεων ελέγχου συμφωνίας, καθώς και επιβολής ποινών μέσω αυξομειώσεων στα βάρη των αποφασιζόντων, για την εξισορρόπηση της συλλογικής μεροληψίας, ή ακόμη και την επανάληψη εξαγωγής πληροφοριών από τους εμπειρογνώμονες βάσει ανάδρασης.

Η ανάπτυξη του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου και εργαλείου παρακινήθηκε από την ανάγκη βελτιστοποίησης των διεργασιών υποστήριξης της χάραξης πολιτικής και η επιλογή των μεθοδολογιών ΠΣΥΑ από την ανάγκη αποτελεσματικής αντιμετώπισης των προκλήσεων που σχετίζονται με τον χώρο της κλιματικής πολιτικής. Ωστόσο, η αξιοποίηση του MACE-DSS δεν πρέπει να περιορίζεται στην υποστήριξη της κλιματικής πολιτικής. Το εργαλείο καθαυτό δεν επιβάλλει περιορισμούς αναφορικά με το πεδίο εφαρμογής και δύναται να χρησιμοποιηθεί σε σχετικά πεδία—όπως π.χ. η ενεργειακή πολιτική, η περιβαλλοντική πολιτική, η βιώσιμη ανάπτυξη, κλπ.—καθώς και σε άλλους χώρους προβλημάτων με παρόμοια φύση και τύπο δεδομένων εισόδου, προβληματική και απαιτήσεις ή την αναγκαιότητα συμμετοχής πολλαπλών αποφασιζόντων.

Επί του παρόντος, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί όσον αφορά τη λειτουργία του MACE-DSS και, επομένως, αντίστοιχες διαστάσεις στις οποίες το εργαλείο μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω. Αυτοί οι περιορισμοί πρωτίστως αφορούν στον αριθμό των εναλλακτικών, κριτηρίων και αποφασιζόντων, καθώς και τον αριθμό των υποστηριζόμενων γλωσσικών κλιμάκων. Επίσης, το MACE-DSS μπορεί να βελτιωθεί με την ενσωμάτωση της δυνατότητας διαχείρισης δεδομένων εισόδου σε διαφορετικούς τύπους, όπως τα διαστήματα αβεβαιότητας (π.χ. [Martinez et al., 2007](#)) ή τις σχέσεις ασαφούς προτίμησης (π.χ. [Herrera-Viedma et al., 2007](#)), και με την ανάπτυξη ενός πλέον ποικίλου συνόλου δεικτών ελέγχου συμφωνίας και ευρωστίας.

Ακόμη πιο σημαντικά, το MACE-DSS μπορεί να βελτιωθεί ιδιαίτερα με τη χρήση ενός πλαισίου Fuzzy TOPSIS ώστε να διαχειρίζεται αποτελεσματικά ασαφή γλωσσική πληροφορία, ξεπερνώντας το υφιστάμενο χάσμα ακρίβειας μεταξύ γλωσσικών και αριθμητικών δεδομένων. Σε αυτήν την κατεύθυνση, το μοντέλο γλωσσικής αναπαράστασης 2-tuple μπορεί και πάλι να χρησιμοποιηθεί, για την εξασφάλιση της αντιμετώπισης ενδεχόμενης απώλειας πληροφορίας λόγω των διεργασιών προσέγγισης, όπως εξηγούνται από τους Doukas and Psarras (2009) και Doukas et al. (2010).

Τέλος, το MACE-DSS χαρακτηρίζεται από μία μικρή ποικιλία υποστηριζόμενων ΠΣΥΑ. Όπως φαίνεται από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, άλλες εξίσου διάσημες μεθοδολογίες ΠΣΥΑ (π.χ. AHP, PROMETHEE, κλπ.) δύνανται να αντιμετωπίσουν προβλήματα κλιματικής πολιτικής· η ενσωμάτωσή τους στο εργαλείο μπορεί να ενισχύσει την μεθοδολογική ποικιλία και να προσδώσει τη δυνατότητα αντιμετώπισης προβλημάτων διαφορετικής φύσης, πολυπλοκότητας ή προβληματικής.

7.6 Βιβλιογραφία

- Agell, N., SáNchez, M., Prats, F., & Roselló, L. (2012). Ranking multi-attribute alternatives on the basis of linguistic labels in group decisions. *Information Sciences*, 209, 49-60. DOI: 10.1016/j.ins.2012.05.005
- Almaraz, S. D. L., Azzaro-Pantel, C., Montastruc, L., Pibouleau, L., & Senties, O. B. (2013). Assessment of mono and multi-objective optimization to design a hydrogen supply chain. *International journal of hydrogen energy*, 38(33), 14121-14145. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2013.07.059
- AlSabbagh, M., Siu, Y. L., Guehneemann, A., & Barrett, J. (2016). Integrated approach to the assessment of CO₂ e-mitigation measures for the road passenger transport sector in Bahrain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. DOI: 10.1016/j.rser.2016.12.052
- Antunes, C. H., Martins, A. G., & Brito, I. S. (2004). A multiple objective mixed integer linear programming model for power generation expansion planning. *Energy*, 29(4), 613-627. DOI: 10.1016/j.energy.2003.10.012
- Baležentis, T., & Streimikiene, D. (2017). Multi-criteria ranking of energy generation scenarios with Monte Carlo simulation. *Applied Energy*, 185, 862-871. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.10.085
- Batubara, M., Purwanto, W. W., & Fauzi, A. (2016). Proposing a decision-making process for the development of sustainable oil and gas resources using the petroleum fund: A case study of the East Natuna gas field. *Resources Policy*, 49, 372-384. DOI: 10.1016/j.resourpol.2016.07.010
- Biloslavo, R., & Dolinšek, S. (2010). Scenario planning for climate strategies development by integrating group Delphi, AHP and dynamic fuzzy cognitive maps. *Foresight*, 12(2), 38-48. DOI: 10.1108/14636681011035771
- Biloslavo, R., & Grebenc, A. (2012). Integrating group Delphi, analytic hierarchy process and dynamic fuzzy cognitive maps for a climate warning scenario. *Kybernetes*, 41(3/4), 414-428. DOI: 10.1108/03684921211229497
- Blechinger, P. F. H., & Shah, K. U. (2011). A multi-criteria evaluation of policy instruments for climate change mitigation in the power generation sector of Trinidad and Tobago. *Energy Policy*, 39(10), 6331-6343. DOI: 10.1016/j.enpol.2011.07.034
- Borges, P. C., & Villavicencio, A. (2004). Avoiding academic and decorative planning in GHG emissions abatement studies with MCDA: The Peruvian case. *European Journal of Operational Research*, 152(3), 641-654. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00063-8
- Branco, D. A. C., Rathmann, R., Borba, B. S. M., de Lucena, A. F. P., Szklo, A., & Schaeffer, R. (2012). A multicriteria approach for measuring the carbon-risk of oil companies. *Energy Strategy Reviews*, 1(2), 122-129. DOI: 10.1016/j.esr.2012.06.002
- Brand, B., Stambouli, A. B., & Zejli, D. (2012). The value of dispatchability of CSP plants in the electricity systems of Morocco and Algeria. *Energy Policy*, 47, 321-331. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.04.073
- Brand, B., & Missaoui, R. (2014). Multi-criteria analysis of electricity generation mix scenarios in Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 251-261. DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.069

- Büyüközkan, G., & Güleriyüz, S. (2017). Evaluation of Renewable Energy Resources in Turkey using an integrated MCDM approach with linguistic interval fuzzy preference relations. *Energy*, 123, 149-163. DOI: 10.1016/j.energy.2017.01.137
- Büyüközkan, G., & Karabulut, Y. (2017). Energy project performance evaluation with sustainability perspective. *Energy*, 119, 549-560. DOI: 10.1016/j.energy.2016.12.087
- Chang, P. L., Hsu, C. W., & Lin, C. Y. (2012). Assessment of hydrogen fuel cell applications using fuzzy multiple-criteria decision making method. *Applied energy*, 100, 93-99. DOI: 10.1016/j.energy.2016.12.087
- Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy sets and systems*, 114(1), 1-9. DOI: 10.1016/S0165-0114(97)00377-1
- Chen, T. Y., & Tsao, C. Y. (2008). The interval-valued fuzzy TOPSIS method and experimental analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 159(11), 1410-1428. DOI: 10.1016/j.fss.2007.11.004
- Chen, S. M., & Lee, L. W. (2010). Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the interval type-2 TOPSIS method. *Expert systems with applications*, 37(4), 2790-2798. Doi: 10.1016/j.eswa.2009.09.012
- Chen, L., & Pan, W. (2015). A BIM-integrated Fuzzy Multi-criteria Decision Making Model for Selecting Low-Carbon Building Measures. *Procedia Engineering*, 118, 606-613. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.490
- Choudhury, A. K., Shankar, R., & Tiwari, M. K. (2006). Consensus-based intelligent group decision-making model for the selection of advanced technology. *Decision Support Systems*, 42(3), 1776-1799. DOI: 10.1016/j.dss.2005.05.001
- Cowan, K., Daim, T., & Anderson, T. (2010). Exploring the impact of technology development and adoption for sustainable hydroelectric power and storage technologies in the Pacific Northwest United States. *Energy*, 35(12), 4771-4779. DOI: 10.1016/j.energy.2010.09.013
- Cutz, L., Haro, P., Santana, D., & Johnsson, F. (2016). Assessment of biomass energy sources and technologies: The case of Central America. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1411-1431. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.322
- Dace, E., & Blumberga, D. (2016). How do 28 European Union Member States perform in agricultural greenhouse gas emissions? It depends on what we look at: Application of the multi-criteria analysis. *Ecological Indicators*, 71, 352-358. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.07.016
- de Bruin, K., Dellink, R. B., Ruijs, A., Bolwidt, L., van Buuren, A., Graveland, J., ... & Tassone, V. C. (2009). Adapting to climate change in The Netherlands: an inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives. *Climatic change*, 95(1), 23-45. DOI: 10.1007/s10584-009-9576-4
- Diakoulaki, D., Georgiou, P., Tourkolias, C., Georgopoulou, E., Lalas, D., Mirasgedis, S., & Sarafidis, Y. (2007). A multicriteria approach to identify investment opportunities for the exploitation of the clean development mechanism. *Energy Policy*, 35(2), 1088-1099. DOI: 10.1016/j.enpol.2006.02.009

- Dong, Y., Zhang, G., Hong, W. C., & Xu, Y. (2010). Consensus models for AHP group decision making under row geometric mean prioritization method. *Decision Support Systems*, 49(3), 281-289. DOI: 10.1016/j.dss.2010.03.003
- Doukas, H. (2013). Modelling of linguistic variables in multicriteria energy policy support. *European Journal of Operational Research*, 227(2), 227-238. DOI: 10.1016/j.ejor.2012.11.026
- Doukas, H., Karakosta, C., & Psarras, J. (2010). Computing with words to assess the sustainability of renewable energy options. *Expert Systems with Applications*, 37(7), 5491-5497. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.02.061
- Doukas, H., Patlitzianas, K. D., & Psarras, J. (2006). Supporting sustainable electricity technologies in Greece using MCDM. *Resources Policy*, 31(2), 129-136. DOI: 10.1016/j.resourpol.2006.09.003
- Doukas, H., & Psarras, J. (2009). A linguistic decision support model towards the promotion of renewable energy. *Energy Sources, Part B*, 4(2), 166-178. DOI: 10.1080/15567240701620432
- Estrella, F. J., Cevik Onar, S., Rodríguez, R. M., Oztaysi, B., Martínez, L., & Kahraman, C. (2017). Selecting firms in University technoparks: A hesitant linguistic fuzzy TOPSIS model for heterogeneous contexts. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 33(2), 1155-1172. DOI: 10.3233/JIFS-16727
- Fozer, D., Sziraky, F. Z., Racz, L., Nagy, T., Tarjani, A. J., Toth, A. J., Haaz, E., Benko, T., & Mizsey, P. (2017). Life cycle, PESTLE and Multi-Criteria Decision Analysis of CCS process alternatives. *Journal of Cleaner Production*. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.01.056
- Georgopoulou, E., Sarafidis, Y., Mirasgedis, S., Zaimi, S., & Lalas, D. P. (2003). A multiple criteria decision-aid approach in defining national priorities for greenhouse gases emissions reduction in the energy sector. *European Journal of Operational Research*, 146(1), 199-215. DOI: 10.1016/S0377-2217(02)00250-3
- Ghafghazi, S., Sowlati, T., Sokhansanj, S., & Melin, S. (2010). A multicriteria approach to evaluate district heating system options. *Applied Energy*, 87(4), 1134-1140. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.06.021
- Greco, S., Ehrgott, M. & Figueira, J.R., 2016 (Eds). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, Volumes 1 & 2, Second Edition, International Series in Operations Research & Management Science, Springer. DOI: 10.1007/978-1-4939-3094-4
- Herrera, F., Martinez, L., & Sánchez, P. J. (2005). Managing non-homogeneous information in group decision making. *European Journal of Operational Research*, 166(1), 115-132. DOI: 10.1016/j.ejor.2003.11.031
- Herrera-Viedma, E., Alonso, S., Chiclana, F., & Herrera, F. (2007). A consensus model for group decision making with incomplete fuzzy preference relations. *IEEE Transactions on fuzzy Systems*, 15(5), 863-877. DOI: 10.1109/TFUZZ.2006.889952
- Heo, E., Kim, J., & Boo, K. J. (2010). Analysis of the assessment factors for renewable energy dissemination program evaluation using fuzzy AHP. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2214-2220. DOI: 10.1016/j.rser.2010.01.020
- Hwang, C. L., & Yoon, K. P. (1981). *Multiple attribute decision making: methods and applications*. Berlin. Springer. DOI: 10.1007/978-3-642-48318-9

- Bruckner T., Bashmakov, I. A., Mulugetta, Y., Chum, H., de la Vega Navarro, A., Edmonds, J., Faaij, A., Functam-
 masan, B., Garg, A., Hertwich, E., Honnery, D., Infield, D., Kainuma, M., Khennas, S., Kim, S., Nimir, H. B.,
 Riahi, K., Strachan, N., Wisser, R., & Zhang, X. (2014). Energy Systems. In: *Climate Change 2014: Mitigation
 of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovern-
 mental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S.,
 Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., von
 Stechow, C., Zwickel, T., & Minx, J.C. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and
 New York, NY, USA.
- Javid, R. J., Nejat, A., & Hayhoe, K. (2014). Selection of CO₂ mitigation strategies for road transportation in the
 United States using a multi-criteria approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 960-972.
 DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.005
- Jayaraman, R., Colapinto, C., La Torre, D., & Malik, T. (2015). Multi-criteria model for sustainable development
 using goal programming applied to the United Arab Emirates. *Energy Policy*, 87, 447-454. DOI: 10.1016/j.en-
 pol.2015.09.027
- Jun, K. S., Chung, E. S., Kim, Y. G., & Kim, Y. (2013). A fuzzy multi-criteria approach to flood risk vulnerability
 in South Korea by considering climate change impacts. *Expert Systems with Applications*, 40(4), 1003-1013.
 DOI: 10.1016/j.enpol.2015.09.027
- Karakosta, C., Doukas, H., & Psarras, J. (2009). Directing clean development mechanism towards developing
 countries' sustainable development priorities. *Energy for Sustainable Development*, 13(2), 77-84. DOI:
 10.1016/j.esd.2009.04.001
- Kaya, T., & Kahraman, C. (2011). Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS
 methodology. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 6577-6585. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.11.081
- Kim, G., Park, C. S., & Yoon, K. P. (1997). Identifying investment opportunities for advanced manufacturing
 systems with comparative-integrated performance measurement. *International Journal of Production Eco-
 nomics*, 50(1), 23-33. DOI: 10.1016/S0925-5273(97)00014-5
- Klein, S. J., & Whalley, S. (2015). Comparing the sustainability of US electricity options through multi-criteria
 decision analysis. *Energy Policy*, 79, 127-149. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.01.007
- Konidari, P., & Mavrikis, D. (2007). A multi-criteria evaluation method for climate change mitigation policy
 instruments. *Energy Policy*, 35(12), 6235-6257. DOI: 10.1016/j.enpol.2007.07.007
- Krohling, R. A., & Campanharo, V. C. (2011). Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents
 with oil spill in the sea. *Expert Systems with applications*, 38(4), 4190-4197. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.09.081
- Lan, J., Sun, Q., Chen, Q., & Wang, Z. (2013). Group decision making based on induced uncertain linguistic OWA
 operators. *Decision Support Systems*, 55(1), 296-303. DOI: 10.1016/j.dss.2013.01.030
- Luthra, S., Mangla, S. K., & Kharb, R. K. (2015). Sustainable assessment in energy planning and management in
 Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 58-73. DOI: 10.1016/j.rser.2015.03.007

- Maimoun, M., Madani, K., & Reinhart, D. (2016). Multi-level multi-criteria analysis of alternative fuels for waste collection vehicles in the United States. *Science of the Total Environment*, 550, 349-361. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.154
- Martínez, L., & Herrera, F. (2012). An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: Extensions, applications and challenges. *Information Sciences*, 207, 1-18. DOI: 10.1016/j.ins.2012.04.025
- Martínez, L., Liu, J., Ruan, D., & Yang, J. B. (2007). Dealing with heterogeneous information in engineering evaluation processes. *Information Sciences*, 177(7), 1533-1542. DOI: 10.1016/j.ins.2006.07.005
- Michailidou, A. V., Vlachokostas, C., & Moussiopoulos, N. (2016). Interactions between climate change and the tourism sector: Multiple-criteria decision analysis to assess mitigation and adaptation options in tourism areas. *Tourism Management*, 55, 1-12. DOI: 10.1016/j.tourman.2016.01.010
- Mohamadabadi, H. S., Tichkowsky, G., & Kumar, A. (2009). Development of a multi-criteria assessment model for ranking of renewable and non-renewable transportation fuel vehicles. *Energy*, 34(1), 112-125. DOI: 10.1016/j.energy.2008.09.004
- Montanari, R. (2004). Environmental efficiency analysis for enel thermo-power plants. *Journal of Cleaner Production*, 12(4), 403-414. DOI: 10.1016/S0959-6526(03)00015-5
- Mourhir, A., Rachidi, T., Papageorgiou, E. I., Karim, M., & Alaoui, F. S. (2016). A cognitive map framework to support integrated environmental assessment. *Environmental Modelling & Software*, 77, 81-94. DOI: 10.1016/j.envsoft.2015.11.018
- Hellenic Ministry of Environment and Energy (2014). National Energy Efficiency Action Plan. Pursuant to Article 24(2) of Directive 2012/27/EU. Centre for Renewable Energy Sources (CRES). Athens. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.11.027
- Nikas, A., Doukas, H., Lieu, J., Alvarez-Tinoco, R., Charisopoulos, V., & van der Gaast, W. (2017). Managing stakeholder knowledge for the evaluation of innovation systems in the face of climate change. *Journal of Knowledge Management*, 21(5), 1013-1034. DOI: 10.1108/JKM-01-2017-0006
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D. P., Birkmann, J., Kok, K., & Levy, M. (2017). The roads ahead: narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169-180. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009
- Oliveira, C., & Antunes, C. H. (2004). A multiple objective model to deal with economy-energy-environment interactions. *European Journal of Operational Research*, 153(2), 370-385. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00159-0
- Onar, S. C., Oztaysi, B., Otay, İ., & Kahraman, C. (2015). Multi-expert wind energy technology selection using interval-valued intuitionistic fuzzy sets. *Energy*, 90, 274-285. DOI: 10.1016/j.energy.2015.06.086

- Onu, P. U., Quan, X., Xu, L., Orji, J., & Onu, E. (2017). Evaluation of sustainable acid rain control options utilizing a fuzzy TOPSIS multi-criteria decision analysis model frame work. *Journal of Cleaner Production*, 141, 612-625. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.09.065
- Papadopoulos, A., & Karagiannidis, A. (2008). Application of the multi-criteria analysis method Electre III for the optimisation of decentralised energy systems. *Omega*, 36(5), 766-776. DOI: 10.1016/j.omega.2006.01.004
- Papapostolou, A., Karakosta, C., Marinakis, V., & Flamos, A. (2016). Assessment of RES cooperation framework between the EU and North Africa: A multicriteria approach based on UTASTAR. *International Journal of Energy Sector Management*, 10(3), 402-426. DOI: 10.1108/IJESM-12-2014-0007
- Papapostolou, A., Karakosta, C., Nikas, A., & Psarras, J. (2017). Exploring opportunities and risks for RES-E deployment under Cooperation Mechanisms between EU and Western Balkans: A multi-criteria assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 519-530. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.190
- Paul, S., Sarkar, B., & Bose, P. K. (2015). Eclectic decision for the selection of tree borne oil (TBO) as alternative fuel for internal combustion engine. *Renewable and sustainable energy reviews*, 48, 256-263. DOI: 10.1016/j.rser.2015.03.060
- Perkoulidis, G., Papageorgiou, A., Karagiannidis, A., & Kalogirou, S. (2010). Integrated assessment of a new Waste-to-Energy facility in Central Greece in the context of regional perspectives. *Waste Management*, 30(7), 1395-1406. DOI: 10.1016/j.wasman.2009.11.021
- Pilavachi, P. A., Stephanidis, S. D., Pappas, V. A., & Afgan, N. H. (2009). Multi-criteria evaluation of hydrogen and natural gas fuelled power plant technologies. *Applied Thermal Engineering*, 29(11), 2228-2234. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2008.11.014
- Promentilla, M. A. B., Aviso, K. B., & Tan, R. R. (2014). A group fuzzy analytic network process to prioritize low carbon energy systems in the Philippines. *Energy Procedia*, 61, 808-811. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.11.970
- Quesada, F. J., Palomares, I., & Martínez, L. (2015). Managing experts behavior in large-scale consensus reaching processes with uninorm aggregation operators. *Applied Soft Computing*, 35, 873-887. DOI: 10.1016/j.asoc.2015.02.040
- Ramazankhani, M. E., Mostafaeipour, A., Hosseinasab, H., & Fakhrzad, M. B. (2016). Feasibility of geothermal power assisted hydrogen production in Iran. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(41), 18351-18369. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.08.150
- Ren, J., & Lützen, M. (2015). Fuzzy multi-criteria decision-making method for technology selection for emissions reduction from shipping under uncertainties. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 40, 43-60. DOI: 10.1016/j.trd.2015.07.012
- Ribeiro, F., Ferreira, P., & Araújo, M. (2013). Evaluating future scenarios for the power generation sector using a Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) tool: The Portuguese case. *Energy*, 52, 126-136. DOI: 10.1016/j.energy.2012.12.036

- Rodríguez, R. M., & Martínez, L. (2013). An analysis of symbolic linguistic computing models in decision making. *International Journal of General Systems*, 42(1), 121-136. DOI: 10.1080/03081079.2012.710442
- Rojas-Zerpa, J. C., & Yusta, J. M. (2015). Application of multicriteria decision methods for electric supply planning in rural and remote areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 557-571. DOI: 10.1016/j.rser.2015.07.139
- Roth, S., Hirschberg, S., Bauer, C., Burgherr, P., Dones, R., Heck, T., & Schenler, W. (2009). Sustainability of electricity supply technology portfolio. *Annals of Nuclear Energy*, 36(3), 409-416. DOI: 10.1016/j.anucene.2008.11.029
- Sadeghi, A., Larimian, T., & Molabashi, A. (2012). Evaluation of renewable energy sources for generating electricity in province of Yazd: a fuzzy MCDM approach. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 62, 1095-1099. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.09.187
- Sakthivel, G., Ilangkumaran, M., & Gaikwad, A. (2015). A hybrid multi-criteria decision modeling approach for the best biodiesel blend selection based on ANP-TOPSIS analysis. *Ain Shams Engineering Journal*, 6(1), 239-256. DOI: 10.1016/j.asej.2014.08.003
- San Cristóbal, J. R. (2012). A goal programming model for environmental policy analysis: Application to Spain. *Energy Policy*, 43, 303-307. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.01.007
- Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz, S. E., Gezder, V., & Şengül, A. B. (2015). Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey. *Renewable Energy*, 75, 617-625. DOI: 10.1016/j.renene.2014.10.045
- Shiau, T. A., & Liu, J. S. (2013). Developing an indicator system for local governments to evaluate transport sustainability strategies. *Ecological indicators*, 34, 361-371. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.06.001
- Shih, H. S., Shyur, H. J., & Lee, E. S. (2007). An extension of TOPSIS for group decision making. *Mathematical and Computer Modelling*, 45(7), 801-813. DOI: 10.1016/j.mcm.2006.03.023
- Shmelev, S. E., & van den Bergh, J. C. (2016). Optimal diversity of renewable energy alternatives under multiple criteria: An application to the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 679-691. DOI: 10.1016/j.rser.2016.01.100
- Streimikiene, D., & Baležentis, T. (2013a). Multi-criteria assessment of small scale CHP technologies in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 183-189. DOI: 10.1016/j.rser.2013.05.046
- Streimikiene, D., & Baležentis, T. (2013b). Multi-objective ranking of climate change mitigation policies and measures in Lithuania. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 144-153. DOI: 10.1016/j.rser.2012.09.040
- Streimikiene, D., Baležentis, T., Krisciukaitienė, I., & Baležentis, A. (2012). Prioritizing sustainable electricity production technologies: MCDM approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3302-3311. DOI: 10.1016/j.rser.2012.02.067
- Štreimikienė, D., Šliogerienė, J., & Turskis, Z. (2016). Multi-criteria analysis of electricity generation technologies in Lithuania. *Renewable Energy*, 85, 148-156. DOI: 10.1016/j.renene.2015.06.032

- Talaei, A., Ahadi, M. S., & Maghsoudy, S. (2014). Climate friendly technology transfer in the energy sector: A case study of Iran. *Energy Policy*, 64, 349-363. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.09.050
- Theodorou, S., Florides, G., & Tassou, S. (2010). The use of multiple criteria decision making methodologies for the promotion of RES through funding schemes in Cyprus, A review. *Energy Policy*, 38(12), 7783-7792. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.08.038
- Tsoutsos, T., Drandaki, M., Frantzeskaki, N., Iosifidis, E., & Kiosses, I. (2009). Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete. *Energy Policy*, 37(5), 1587-1600. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.12.011
- Ulutaş, B. H. (2005). Determination of the appropriate energy policy for Turkey. *Energy*, 30(7), 1146-1161. DOI: 10.1016/j.energy.2004.08.009
- Vahabzadeh, A. H., Asiaei, A., & Zailani, S. (2015). Green decision-making model in reverse logistics using FUZZY-VIKOR method. *Resources, Conservation and Recycling*, 103, 125-138. DOI: 10.1016/j.rescon-rec.2015.05.023
- Vaillancourt, K., & Waaub, J. P. (2004). Equity in international greenhouse gases abatement scenarios: A multicriteria approach. *European Journal of Operational Research*, 153(2), 489-505. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00170-X
- van Vliet, M., Kok, K., & Veldkamp, T. (2010). Linking stakeholders and modellers in scenario studies: The use of Fuzzy Cognitive Maps as a communication and learning tool. *Futures*, 42(1), 1-14. DOI: 10.1016/j.futures.2009.08.005
- Volkart, K., Bauer, C., Burgherr, P., Hirschberg, S., Schenler, W., & Spada, M. (2016). Interdisciplinary assessment of renewable, nuclear and fossil power generation with and without carbon capture and storage in view of the new Swiss energy policy. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 54, 1-14. DOI: 10.1016/j.ijggc.2016.08.023
- Xu, B., Nayak, A., Gray, D., & Ouenniche, J. (2016). Assessing energy business cases implemented in the North Sea Region and strategy recommendations. *Applied Energy*, 172, 360-371. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.03.110
- Xu, X. H., Du, Z. J., & Chen, X. H. (2015). Consensus model for multi-criteria large-group emergency decision making considering non-cooperative behaviors and minority opinions. *Decision Support Systems*, 79, 150-160. DOI: 10.1016/j.dss.2015.08.009
- Yager, R. R. (2001). Penalizing strategic preference manipulation in multi-agent decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 9(3), 393-403. DOI: 10.1109/91.928736
- Yager, R. R. (2002). Defending against strategic manipulation in uninorm-based multi-agent decision making. *European Journal of Operational Research*, 141(1), 217-232. DOI: 10.1016/S0377-2217(01)00267-3
- Yap, H. Y., & Nixon, J. D. (2015). A multi-criteria analysis of options for energy recovery from municipal solid waste in India and the UK. *Waste Management*, 46, 265-277. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.08.002

8ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΑΓΧ ΚΑΙ ΜΟΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΜΙΑΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

8.1 Εισαγωγή

Οι ενεργειακές μεταβάσεις σε συστήματα χαμηλών εκπομπών άνθρακα θεωρούνται μακροχρόνιες και πολύπλευρες διεργασίες, οι οποίες απαιτούν δομικές αλλαγές στην παραγωγή ηλεκτρισμού, το κτιριακό περιβάλλον, τις βιομηχανικές δραστηριότητες και τα συστήματα μεταφορών, καθώς και την προώθηση των εννοιών της ενεργειακής αποδοτικότητας, της μείωσης ζήτησης, και της παραγωγής και χρήσης ανανεώσιμης ενέργειας. Παρότι η αποδέσμευση του ηλεκτρισμού από τον άνθρακα δεν αποτελεί τη μόνη απαραίτητη δράση για τις μεταβάσεις που απαιτούνται από τους τρέχοντες κλιματικούς στόχους, θεωρείται ότι μία ταχύτερη απανθρακοποίηση του ηλεκτρικού συστήματος θα διευκολύνει τον μετριασμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και σε άλλους οικονομικούς τομείς, ενώ θα επιταχύνει τη μετάβαση σε μία κοινωνία χαμηλών εκπομπών άνθρακα (Michas et al., 2018). Η περαιτέρω διάχυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η μείωση της συνολικής ζήτησης θεωρούνται κρίσιμες στην πράσινη μετάβαση του ηλεκτρικού συστήματος (Rogelj et al., 2015). Παρότι τα οφέλη μίας τέτοιας μετάβασης αναγνωρίζονται ευρέως, τόσο τα υποκείμενα εμπόδια που παρακωλύουν τα μονοπάτια προώθησης μίας επιτυχούς ενεργειακής μετάβασης όσο και οι ενδεχόμενες αρνητικές επιπτώσεις αυτών των μονοπατιών δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς στη βιβλιογραφία. Και, παρότι περιστρέφονται κυρίως γύρω από τις δυσκολίες ενσωμάτωσης των διακοπτόμενων πηγών ενέργειας σε υφιστάμενα ενεργειακά συστήματα, τόσο τα εμπόδια όσο και αρνητικές επιπτώσεις εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το εθνικό πλαίσιο στο οποίο εξετάζονται.

Η Ελλάδα, συγκεκριμένα, θεωρείται μία από τις πλέον ελκυστικές χώρες για επενδύσεις σε ηλιακά ΦΒ, κυρίως λόγω των επιπέδων ηλιακής ακτινοβολίας στη χώρα (Ramírez et al., 2017). Μία σειρά ρυθμιστικών προσπαθειών που ξεκίνησαν το 2011 για την ενθάρρυνση των ηλιακών επενδύσεων είχε ως αποτέλεσμα η Ελλάδα να βρίσκεται ανάμεσα στις χώρες με το μεγαλύτερο μερίδιο ηλιακής ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή (πάνω από 7%) παγκοσμίως, μέσα σε μόλις τρία χρόνια (SolarPower Europe,

2015). Παρά την ανάπτυξη αυτή, στην πορεία παρατηρήθηκε πλήρης αδρανοποίηση των νέων ηλιακών επενδύσεων: η εγχώρια αγορά επενδύσεων σε ΦΒ εγκαταστάσεις συρρικνώθηκε την περίοδο 2014-2017 στο 1% περίπου του αντίστοιχου μεγέθους το 2013. Αυτή η συρρίκνωση σχετίζεται άμεσα με μία σειρά τροποποιητικών ρυθμιστικών προσπαθειών εξαιτίας των καταστροφικών οικονομικών συνεπειών του πολιτικού πλαισίου (Tselepis, 2015): οι πολύ γενναιόδωρες, εικοσιπενταετείς επιδοτήσεις για μεγάλης κλίμακας έργα, οι οποίες παρέμεναν σε πολύ υψηλά επίπεδα παρά τις παράλληλες μειώσεις του αντίστοιχου κόστους, εξανάγκασαν τις αρχές να εφαρμόσουν αναδρομικές μειώσεις στις επιδοτήσεις για να αντιμετωπίσουν ένα ολοένα αυξανόμενο έλλειμμα στον Ειδικό Λογαριασμό ΑΠΕ. Η συρρίκνωση αυτή μπορεί επίσης να αποδοθεί εν μέρει και στις ενεργειακές επιπτώσεις των πολιτικών και οικονομικών αβεβαιοτήτων που χαρακτήριζαν τη χώρα (Doukas et al., 2014), όπως η κατασκευή νέων συμβατικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρισμού (Simoglou et al., 2018), καθώς και στη συνεχιζόμενη οικονομική ύφεση (Nikas et al., 2019· Flamos, 2016) και τις μακροχρόνιες κοινωνικές επιπτώσεις της (Kaplanoglou and Rapanos, 2018) που συνέβαλαν στη μετατόπιση των επιπέδων αντίληψης και αποδοχής (Papoulis et al., 2015· Papadelis et al., 2016· Anagnostopoulos et al., 2017).

Ένας άλλος περιορισμός της περαιτέρω διάχυσης της ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα βρίσκεται στην παρούσα ανωριμότητα της αγοράς, σε όρους πολιτικών και επιχειρηματικών μοντέλων, να ενδυναμώσει τους καταναλωτές να παράγουν και αποθηκεύουν καθαρή ενέργεια σε τοπικό επίπεδο (ταυτόχρονη παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας ή prosuming). Όσον αφορά την αποκεντρωμένη παραγωγή σε οικιακό επίπεδο, πολύ σημαντικές λύσεις στις δυσκολίες ενσωμάτωσης των ΑΠΕ στο ενεργειακό σύστημα περιλαμβάνουν την ενεργειακή αποθήκευση και την ευελιξία της ζήτησης. Η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να εξισορροπήσει την καθαρή ζήτηση μέσω της χρονικής μετατόπισης ενέργειας. Για παράδειγμα, οι μπαταρίες ήδη παρέχουν βοηθητικές υπηρεσίες σε δίκτυα και, παρότι προς το παρόν υψηλά, τα κόστη αναμένονται να ακολουθήσουν μία πολύ απότομη καμπύλη μάθησης στο μέλλον (Camilo et al., 2017· Nykvist and Nilsson, 2015). Οι μπαταρίες, ωστόσο, είναι ακατάλληλες στη διαχείριση του προβλήματος μακροπρόθεσμης εξισορρόπησης που σχετίζεται με τα σενάρια υψηλών επιπέδων ΑΠΕ, καθώς οι επιλογές αποθήκευσης για μακροπρόθεσμη εξισορρόπηση απαιτούν υψηλή παραγωγική αποδοτικότητα και χαμηλά ενεργειακά κόστη (Eyre et al., 2017). Από την άλλη πλευρά, η ευέλικτη ζήτηση εισάγει την ιδέα της πρόβλεψης και παροχής μέσω της απόκρισης ζήτησης, αντί των μεταβολών στον εφοδιασμό ηλεκτρισμού. Στοιχεία από τη βιβλιογραφία υποδεικνύουν ότι η απόκριση ζήτησης μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στη διαχείριση της βραχυπρόθεσμης (ημερήσιας και ωριαίας) μεταβλητότητας (Torriti et al., 2010). Μέχρις ότου τα κόστη των εναλλακτικών μακροπρόθεσμης αποθήκευσης μειωθούν, η ενθάρρυνση της μείωσης ζήτησης και ευελιξίας μέσω της ενεργειακής αποδοτικότητας παραμένει υψίστης σημασίας.

Η απόκριση ζήτησης αυξάνεται, περιλαμβάνοντας ήδη μικρούς οργανισμούς και μεμονωμένους καταναλωτές, και η διάχυση τεχνολογιών έξυπνης μέτρησης την καθιστά βιώσιμη σε οικονομίες κλίμακας, είτε αυτή αφορά δυναμική τιμολόγηση είτε απαιτεί εξωτερικό έλεγχο ορισμένων φορτίων

(Darby and McKenna, 2012). Ωστόσο, το κλειδί για ένα αποτελεσματικό σχήμα απόκρισης ζήτησης βρίσκεται στη θεμελίωση ή τον επανακαθορισμό των σχέσεων μεταξύ καταναλωτών, παραγωγών, διαχειριστών και τεχνολογικών συστημάτων (Olkkonen et al., 2017). Η σημασία του ανθρώπινου παράγοντα στην ευελιξία ζήτησης δεν πρέπει να παραβλέπεται καθώς, σε ηλεκτρικά συστήματα βασισμένα στις ΑΠΕ, η συν-εξέλιξη τεχνολογίας και κοινωνίας είναι καθοριστική (Miller et al., 2015). Οι ατομικές και κοινωνικές συμπεριφορικές αλλαγές δεν θα ενισχύσουν μόνο την τεχνολογική αποδοχή, μέσω π.χ. εκτεταμένης παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας και συσκευών έξυπνων δικτύων, αλλά θα προάγουν παράλληλα την ενεργό συμμετοχή στην αποκεντρωμένη παραγωγή, τη διανεμημένη αποθήκευση και την απόκριση ζήτησης (Eyre et al., 2017). Καθώς αναμένονται καινοτομίες και εξελίξεις σε αυτό το πεδίο, η παραδοσιακή αντίληψη ενός καταναλωτή ως ενός παθητικού αγοραστή του αγαθού της kWh με περιορισμένες επιλογές (δηλαδή την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση ηλεκτρικού εξοπλισμού, την επιλογή προμηθευτή, κλπ.) πρέπει να επανακαθοριστεί. Ο ρόλος των καταναλωτών στο νέο καθεστώς ηλεκτρισμού πρέπει να είναι πιο ενεργός, περιλαμβάνοντας την υιοθέτηση και την επένδυση σε νέες τεχνολογίες, καθώς και την προσαρμογή σε νέες υποδομές και αγοραίες ρυθμίσεις (Cotton and Devine-Wright, 2012· Vihalemm and Keller, 2016).

Σε αυτό το πλαίσιο, σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η αναγνώριση και αξιολόγηση των επιπτώσεων των κινδύνων υλοποίησης μίας επιτυχούς μετάβασης σε ένα ελληνικό ενεργειακό σύστημα χαμηλών εκπομπών άνθρακα, το οποίο θα βασίζεται σε μικρής και μεγάλης κλίμακας ΦΒ εγκαταστάσεις, με ιδιαίτερη έμφαση στην ιδέα των prosumers, καθώς και ο προσδιορισμός και (όπου αυτό καθίσταται εφικτό) η ποσοτικοποίηση των πιθανών συνεπειών μίας τέτοιας μετάβασης. Η αρχική υπόθεση της μελέτης περιλαμβάνει την αντίληψη ότι τα οφέλη της περαιτέρω ανάπτυξης του ηλιακού τομέα, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που σχετίζονται με την υποστήριξη της αυτοκατανάλωσης, της διανεμημένης ηλεκτροπαραγωγής και της ευελιξίας ζήτησης, είναι μεγαλύτερα από τα κόστη. Ωστόσο, υπάρχει πάντα η πιθανότητα αυτή η υπόθεση να μην ευσταθεί και, ως εκ τούτου, η περαιτέρω ανάλυση και η αξιοποίηση της γνώσης των εμπειρογνομώνων απαιτούνται για τον προσδιορισμό των συνθηκών που δύνανται να επηρεάσουν την υλοποίηση και συνολική επιτυχία ενός τέτοιου μονοπατιού.

Έως τώρα, η βιβλιογραφία έχει αναλύσει τέτοιες μεταβάσεις με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων για την χάραξη πολιτικής συμπερασμάτων, μέσω της επιλογής ανάμεσα σε διαφορετικούς τύπους μοντέλων (Li and Strachan, 2017). Αυτοί περιλαμβάνουν υπολογιστικές προσεγγίσεις, όπως τα μοντέλα ενεργειακών συστημάτων (Redondo and Van Vliet, 2015) και MOA (Forouli et al., 2019) όπως περιγράφεται και στο **Κεφάλαιο 3**, οικονομικών και επιχειρηματικών μοντέλων (Sarasini and Linder, 2018), κλπ. Άλλες μελέτες αναγνωρίζουν τη σημασία του ανθρώπινου παράγοντα και εστιάζουν στην ανάλυση των δυναμικών και διαδράσεων καινοτομίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων (Ehnert et al., 2018), την προσομοίωση των αλλαγών στην καταναλωτική συμπεριφορά και τις αγορές που περιβάλλουν τέτοιες μεταβάσεις (Chappin and Afman, 2013), ή την επιλογή τεχνολογικών κατευθύνσεων και μονοπατιών μετάβασης από την οπτική πλευρά των εμπειρογνομώνων και άλλων

ενδιαφερόμενων φορέων (Daim et al., 2012· Nikas and Doukas, 2016). Εν όψει αυτής της πολλαπλότητας και ποικιλίας των αναλυτικών προσεγγίσεων, αναδυόμενα επιστημονικά υποδείγματα δίνουν έμφαση στη σημασία ενσωμάτωσης διαφορετικών εργαλείων για την καταγραφή του πλήρους φάσματος των απαιτούμενων διεργασιών (Geels et al., 2016· Doukas et al., 2018).

Σε αυτήν την κατεύθυνση, το κεφάλαιο αυτό αξιοποιεί μία ποικίλη και συμπληρωματική εργαλειοθήκη αποτελούμενη από αναλυτικές προσεγγίσεις μεταξύ αυτών που συζητήθηκαν παραπάνω, για την κατανόηση και αξιολόγηση των κινδύνων που σχετίζονται με την πράσινη, βασισμένη στην ηλιακή ενέργεια μετάβαση του ελληνικού ηλεκτρικού συστήματος. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο (Ενότητα 8.2) είναι διεπιστημονικό, από την άποψη ότι περιλαμβάνει διαφορετικές μορφές γνώσης και συνεργασίας μεταξύ τόσο ακαδημαϊκών όσο και μη ακαδημαϊκών φορέων (McGregor, 2004· Toomey, et al, 2015), οι οποίοι επί της ουσίας συνδιαμορφώνουν τις ερευνητικές ερωτήσεις. Στην περίπτωση μας, οι ερευνητικές ερωτήσεις αφορούν στους κινδύνους που πρέπει να αξιολογηθούν, για την ποσοτικοποίηση και τον υπολογισμό των οποίων χρησιμοποιούνται ορισμένα εργαλεία ποσοτικής μοντελοποίησης. Ως κίνδυνο, αντιλαμβανόμαστε μία αρνητική πιθανή έκβαση μίας αβεβαιότητας, δηλαδή μίας γενικότερης έλλειψης γνώσης επί των πιθανών εκβάσεων και των πιθανοτήτων τους, η οποία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το αντικείμενο της μελέτης, ανεξαρτήτως της δυνατότητας ακριβούς ποσοτικοποίησής της ως πιθανότητα ή απόδοσης σε αυτήν ποιοτικής εκτίμησης της πιθανότητας εμφάνισής του, π.χ. βάσει εμπειρίας των συμμετεχόντων ενδιαφερόμενων φορέων. Επίσης, οι κίνδυνοι αυτοί διαχωρίζονται σε κινδύνους υλοποίησης, δηλαδή το δυναμικό ποικίλων αιτιών να επηρεάσουν την υλοποίηση ή επιτυχία μίας δεδομένης πολιτικής, και σε κινδύνους συνεπειών, δηλαδή το δυναμικό μίας δεδομένης πολιτικής να προκαλέσει ποικίλες αρνητικές επιπτώσεις (Hanger-Kopp et al., 2019), όπως αναλύεται και στο Κεφάλαιο 2.

Για την κατανόηση της γνώσης των εμπειρογνομόνων και λοιπών ενδιαφερόμενων φορέων, αρχικά καταγράφονται οι πληροφορίες που παρέχουν, οι οποίες αφορούν στους κινδύνους που σχετίζονται με τα μέτρα πολιτικής για την προώθηση της ηλιακής ενέργειας στην χώρα, μέσω των ΑΓΧ (Ενότητα 8.3). Στη συνέχεια, μεταφράζονται οι πιο κρίσιμοι εξ αυτών κίνδυνοι υλοποίησης σε παραμέτρους αβεβαιότητας, ενώ αναπτύσσονται κατάλληλα σενάρια μοντελοποίησης (Ενότητα 8.4). Βάσει αυτών, χρησιμοποιείται ένα μοντέλο αξιολόγησης επιχειρηματικής στρατηγικής καθώς και ένα μακροοικονομικό δυναμικό στοχαστικό μοντέλο γενικής ισορροπίας (Ενότητα 8.5). Τα δύο μοντέλα επιλέγονται με κριτήριο τη δυνατότητα ποσοτικοποίησης των κινδύνων υλοποίησης, όπως αυτοί προσδιορίστηκαν από τους εμπειρογνώμονες, καθώς και υπολογισμού των θετικών και αρνητικών επιπτώσεων της ανάπτυξης του ηλιακού τομέα, σε σχέση με τους κινδύνους συνεπειών που αναγνωρίστηκαν στον ΑΓΧ. Τέλος, εξάγονται συμπεράσματα και αναλύονται οι περιορισμοί της μελέτης, ενώ διαμορφώνονται και κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα (Ενότητα 8.6).

8.2 Διαμόρφωση του διεπιστημονικού μεθοδολογικού πλαισίου

8.2.1 Ασαφείς γνωστικοί χάρτες

Ο πρώτος σκοπός της μελέτης είναι ο προσδιορισμός των πλέον κρίσιμων κινδύνων υλοποίησης και επιπτώσεων της οραματιζόμενης μετάβασης, προκειμένου αυτοί να αξιολογηθούν στη συνέχεια μέσω εργαλείων ποσοτικής μοντελοποίησης. Προς αυτήν την κατεύθυνση, καταγράφεται η γνώση των εμπειρογνομόνων μέσω της μεθοδολογίας των ΑΓΧ (Kosko, 1986), όπως αυτή πλαισιώνεται στο πεδίο της κλιματικής πολιτικής (Nikas and Doukas, 2016).

Αρχικά, ζητείται από τους εμπλεκόμενους φορείς να σχεδιάσουν τον ΑΓΧ της πράσινης μετάβασης του ελληνικού ενεργειακού συστήματος, επιλέγοντας συγκεκριμένες στρατηγικές που δύνανται να προάγουν την μετάβαση και αναγνωρίζοντας τους σπουδαιότερους κινδύνους που σχετίζονται με τις στρατηγικές αυτές. Στην πορεία, ορίζουν και αξιολογούν τις σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος μεταξύ των συγκεκριμένων στρατηγικών πολιτικής και της μετάβασης ή/και των αναγνωρισμένων αρνητικών συνεπειών. Το μοντέλο που προκύπτει προσομοιώνεται έναντι διαφορετικών σεναρίων, για την αξιολόγηση και σύγκριση των σχετικών επιδόσεων των στρατηγικών πολιτικής, καταλήγοντας σε χρήσιμα συμπεράσματα για την χάραξη πολιτικής. Για την προσομοίωση του ΑΓΧ, χρησιμοποιείται η ακόλουθη συνάρτηση ενεργοποίησης:

$$C_j^{(t)} = f\left(\sum_{i=1}^n C_i^{(t-1)} w_{ij} + C_j^{(t-1)}\right)$$

όπου $C_j^{(t)}$ είναι η τιμή του κόμβου j στο τέλος μίας επανάληψης, $C_j^{(t-1)}$ είναι η τιμή του κόμβου j στην αρχή της επανάληψης, $C_i^{(t-1)}$ είναι η τιμή του κόμβου i στην αρχή της επανάληψης, και f είναι η συνάρτηση μεταφοράς του ΑΓΧ, εν προκειμένω η υπερβολική εφραπτομένη:

$$f(x) = \tanh(x)$$

Κατόπιν αναγνώρισης των πιο κρίσιμων κινδύνων που σχετίζονται με μία πράσινη, βασισμένη στην ηλιακή ενέργεια, χαμηλών εκπομπών άνθρακα μετάβαση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος, επιλέγονται δύο μοντέλα με τη δυνατότητα ποσοτικοποίησης των εμποδίων και υπολογισμού του μεγέθους των αρνητικών επιπτώσεων της μετάβασης.

8.2.2 Το μοντέλο BSAM

Το μοντέλο αξιολόγησης επιχειρηματικής στρατηγικής BSAM (Business Strategy Assessment Model) είναι υψηλής ευκρίνειας ενεργειακό μοντέλο, το οποίο περιλαμβάνει (Papadelis et al., 2012):

- Μία υπομονάδα αγοράς ηλεκτρισμού που προσομοιώνει τη λειτουργία μίας χονδρικής αγοράς ηλεκτρισμού (δηλαδή των πρακτόρων δήλωσης τιμής και του μηχανισμού εκκαθάρισης), με σκοπό την ποσοτικοποίηση διαφορετικών μέτρων πολιτικής και αγοραίων εξελίξεων αναφορικά με την τιμή ηλεκτρισμού και το μίγμα ηλεκτροπαραγωγής.
- Ένα μοντέλο πρακτόρων που προσομοιώνει τις αποφάσεις δηλώσεων τιμών και επενδύσεων ενέργειας των παραγωγών ηλεκτρισμού. Συγκεκριμένα, οι πράκτορες που αναπαριστούν παραγωγούς ηλεκτρισμού μαθαίνουν στρατηγικές σταθερής δήλωσης τιμών, λαμβάνοντας υπόψιν τους τη συμπεριφορά των ανταγωνιστών τους. Οι πράκτορες επηρεάζονται μεταξύ τους εμμέσως, μέσω του περιβάλλοντός τους, και όχι μέσω διμερών αλληλεπιδράσεων.

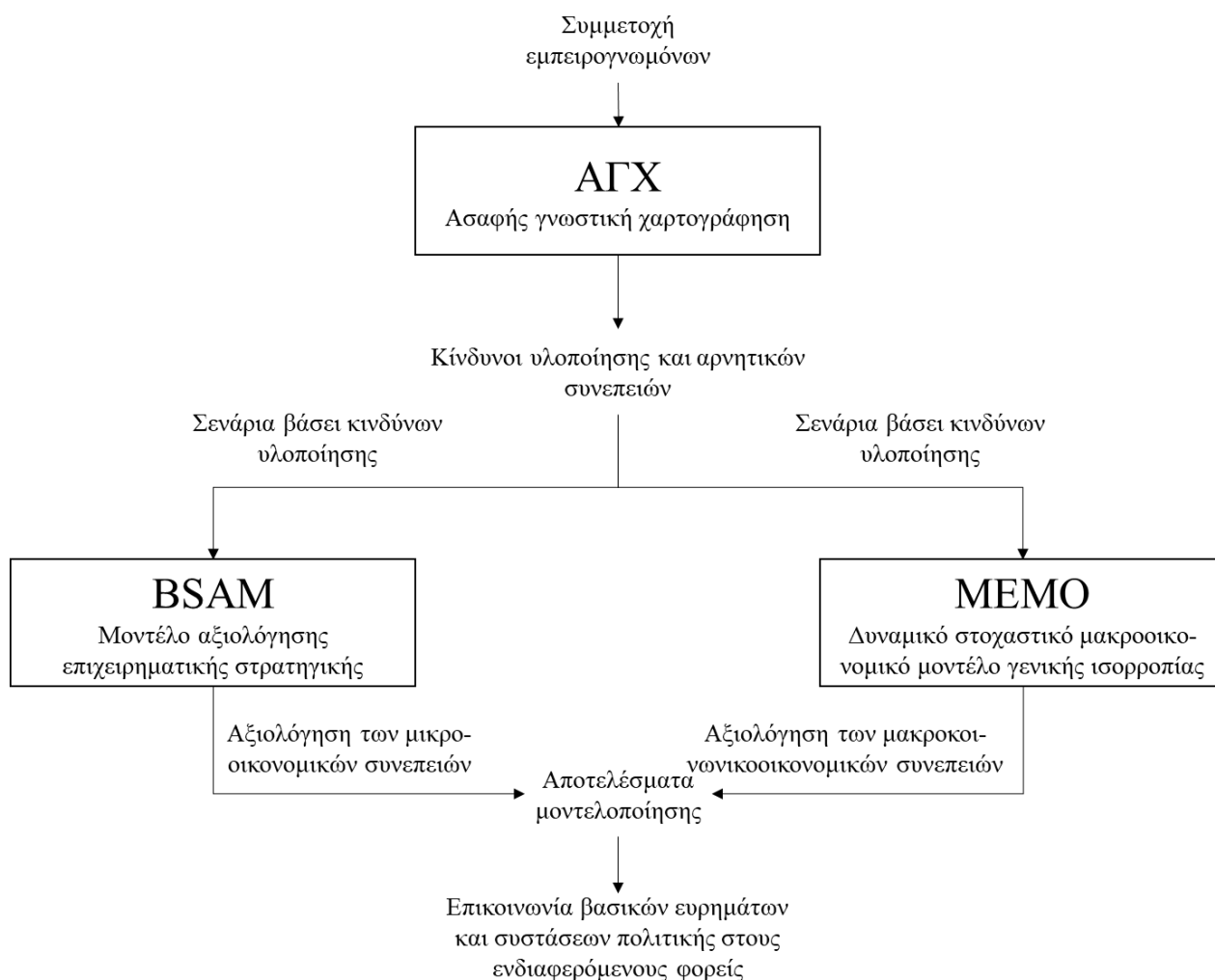
Βάσει αυτών των δυνατοτήτων, το μοντέλο BSAM χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των επιπτώσεων μίας βασισμένης στην αποθήκευση ενέργειας μετάβασης στις τιμές ηλεκτρισμού, για διαφορετικά επίπεδα εγκατεστημένης ισχύος ΦΒ και μεριδίου διείσδυσης των τεχνολογιών αποθήκευσης στην αγορά.

8.2.3 Το μοντέλο MEMO

Το μακροοικονομικό μοντέλο κλίματος-οικονομίας MEMO (MacroEconomic Mitigations Options) είναι ένα ευρείας κλίμακας δυναμικό στοχαστικό μοντέλο γενικής ισορροπίας ανοικτής οικονομίας (όπως εξηγείται αναλυτικά στο [Κεφάλαιο 3](#)), με λεπτομερή αναπαράσταση της αγοράς εργασίας και τομεακή δομή που βαθμονομείται στους πίνακες εισόδου-εξόδου της Eurostat για μία δεδομένη γεωγραφική περιοχή, όπως μία χώρα ή η ΕΕ. Όλες οι εξισώσεις του μοντέλου προέρχονται από τη λύση των διαχρονικών προβλημάτων βελτιστοποίησης. Για παράδειγμα, τα νοικοκυριά μεγιστοποιούν την αναμενόμενη χρησιμότητα από την κατανάλωση αγαθών και υπηρεσιών που υπόκεινται σε προϋπολογιστικούς περιορισμούς, ενώ οι εταιρείες λαμβάνουν αποφάσεις επένδυσης και παραγωγής με βάση τη μεγιστοποίηση των τρέχοντων και μελλοντικών (ανηγμένων) κερδών. Η λύση του μοντέλου περιλαμβάνει τον υπολογισμό της ντετερμινιστικής σταθερής κατάστασης της οικονομίας και μία γραμμική εκτίμηση των δυναμικών γύρω από την σταθερή κατάσταση. Το μοντέλο MEMO μπορεί να αξιολογήσει τις επιπτώσεις εφαρμογής διαφόρων πολιτικών, όπως οι φόροι ή τομεακά σχέδια επένδυσης. Τα αποτελέσματα του μοντέλου αναπαρίστανται από την σταθερή (baseline) κατάσταση μίας ευρείας κλίμακας μεταβλητών, όπως το ΑΕΠ, οι επενδύσεις, το εξωτερικό εμπόριο, η απασχόληση, η κατανάλωση καυσίμων και οι αντίστοιχες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Antosiewicz and Kowal, 2016).

Ως εκ τούτου, το MEMO χρησιμοποιείται εδώ για την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας που σχετίζεται με νέες ΦΒ εγκαταστάσεις και τα συνολικά κόστη κεφαλαίου, λειτουργίας και συντήρησης, και με βάση αυτά για τον υπολογισμό των μακροπρόθεσμων κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων μίας ευρείας κλίμακας διάχυσης ηλιακών ΦΒ, σε μία κλασική οικονομική ανάλυση. Αυτές οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν, όπως υποδεικνύουν οι εμπειρογνώμονες, την μακροπρόθεσμη οικονομική ανάπτυξη, τις επενδύσεις, την δραστηριότητα και την απασχόληση.

Το διεπιστημονικό πλαίσιο απεικονίζεται στην [Εικόνα 8.1](#).



Εικόνα 8.1 Το διεπιστημονικό μεθοδολογικό πλαίσιο της μελέτης περίπτωσης.

8.3 Προσδιορισμός των κινδύνων με τη βοήθεια των εμπειρογνομώνων

Όπως προτείνεται και στο [Κεφάλαιο 2](#), η επίτευξη των επιθυμητών πράσινων μεταβάσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί ιδανικά εάν όλοι οι σχετικοί φορείς εμπλέκονται στον προσδιορισμό, τη

νομιμοποίηση και τη διάχυση νέων τεχνολογιών, πρωτοβουλιών και πρακτικών (Turnheim et al., 2015). Επομένως, η κατανόηση των κινήτρων, ανησυχιών, στρατηγικών και γνώσεων των ενδιαφερόμενων φορέων είναι ζωτικής σημασίας τόσο για την επιστήμη όσο και για την πολιτική, εφόσον αμφότερες αποσκοπούν στη μελέτη ή τον σχεδιασμό πολιτικών που είναι ικανές για να προάγουν κοινωνικά αποδεκτές, εύρωστες και βιώσιμες μεταβάσεις. Αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία κατά τη μελέτη των κινδύνων και αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με αυτές τις μεταβάσεις, καθώς η συντριπτική πλειοψηφία των εργαλείων ποσοτικής μοντελοποίησης διαθέτει περιορισμένη δυνατότητα ενσωμάτωσης του πλήθους των σχετικών κινδύνων, ενώ η έρευνα οφείλει να θεωρεί τους κινδύνους για όλους τους εμπλεκόμενους φορείς (Frantzeskaki and Rok, 2018). Σε αυτήν την ενότητα, χρησιμοποιείται η προσέγγιση των ΑΓΧ για την υποστήριξη των εμπειρογνομόνων από διαφορετικές ομάδες ενδιαφερόμενων φορέων να κατανοήσουν και δομήσουν τη γνώση τους επί της επιθυμητής ενεργειακής μετάβασης στην Ελλάδα και, με τη σειρά τους, να υποστηρίξουν την επιστημονική διαδικασία προσδιορισμού των πλέον κρίσιμων κινδύνων υλοποίησης και συνεπειών αυτής της μετάβασης. Για τους σκοπούς της μελέτης, πραγματοποιήθηκε μία ημερίδα, στην οποία συμμετείχαν 14 εμπειρογνώμονες από διαφορετικές ομάδες και οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων τριών από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), δύο από τον Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ), ενός από τον Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ), τεσσάρων στελεχών του Ελληνικού Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ), δύο ερευνητών, και δύο εμπειρογνομόνων από τον βιομηχανικό τομέα. Η ακριβής διαδικασία εξαγωγής της γνώσης των εμπειρογνομόνων περιγράφεται στο (Nikas and Doukas, 2016).

Εστιάζοντας στους παράγοντες που δύνανται να παρεμποδίσουν την επιτυχή υλοποίηση της επιθυμητής μετάβασης, οι εμπειρογνώμονες αρχικά κατέδειξαν τις προκλήσεις που αφορούν στο οικονομικό περιβάλλον. Αυτές είναι διατομεακές, πιθανώς αφορούν πολλαπλές διαστάσεις, ενώ κυρίως περιστρέφονται γύρω από την πιθανότητα μίας **συνεχιζόμενης οικονομικής κρίσης (B_1)**. Μία αρνητική οικονομική τροχιά θα επηρέαζε σημαντικά τη δυνατότητα των εμπλεκόμενων φορέων, συμπεριλαμβανομένων των επενδυτών σε μεγάλης κλίμακας ΑΠΕ και των κατοικιών που επιθυμούν να μετατραπούν σε prosumers, να προχωρήσουν σε τέτοιες επενδύσεις. Όπως δείχνει η πρόσφατη βιβλιογραφία (Nikas et al., 2019a), το αρνητικό οικονομικό περιβάλλον μπορεί να μετακυλήσει δραματικά τις κοινωνικές προτεραιότητες, μονοπωλώντας τα ενδιαφέροντα των πολιτών που στο παρελθόν εστίαζαν σε ενεργειακές και κλιματικές προτεραιότητες, με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιείται σημαντικά η ανάληψη σχετικών δράσεων. Το τελευταίο, ωστόσο, θεωρήθηκε να επηρεάζεται επίσης από πιθανώς **ανεπαρκή κοινωνική αποδοχή (B_2)**, τόσο των δράσεων σε επίπεδο κατοικίας όσο και των γειτονικών μεγάλης κλίμακας έργων ΑΠΕ (φαινόμενο 'not-in-my-backyard' ή NIMBY).

Στο τεχνολογικό μέτωπο, οι εμπλεκόμενοι εμπειρογνώμονες τόνισαν τη σημασία των επιτευγμάτων στο πεδίο της ηλιακής ενέργειας και την εγχώρια δυνατότητα απορρόφησης αυτών, η οποία θα επιτρέπει

τη μείωση του ενδεχομένου **υψηλού τεχνολογικού κόστους (B_4)**, επιταχύνοντας επενδύσεις και αυξάνοντας το επίπεδο διάχυσης των μονάδων ενεργειακής αποθήκευσης στο δίκτυο. Από πολιτικής και ρυθμιστικής σκοπιάς, κατέδειξαν δύο πιθανούς κινδύνους. Συγκεκριμένα, η **ανεπαρκής πολιτική προτεραιοποίηση (B_5)** μπορεί να αποβεί μοιραία στην πραγμάτωση της μετάβασης αυτής: ακόμη και εάν οι πολιτικοί είναι σοβαροί όσον αφορά την ανάγκη αποδέσμευσης της ελληνικής κοινωνίας από τον άνθρακα, οι πολιτικές αστάθειες και ασυνέπειες (Stavrakakis and Katsambekis, 2018) μπορεί να έχουν καταστροφικές επιπτώσεις στην ενεργειακή μετάβαση. Προς υπεράσπιση αυτού του επιχειρήματος, οι εμπειρογνώμονες τόνισαν την πρόσφατη ανακοίνωση κατασκευής δύο νέων λιγνιτικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής, τους Πτολεμαΐδα V και Μελίτη II, με τον πρώτο να βρίσκεται ήδη υπό κατασκευή. Στις ίδιες γραμμές, οι πολιτικές αστάθειες μπορούν επίσης να καλλιεργήσουν τις συνθήκες για ένα **ασταθές ρυθμιστικό πλαίσιο (B_3)**, όπως ακριβώς δηλαδή είχε η κατάσταση με το προσφάτως ολοένα μεταβαλλόμενο πλαίσιο ΑΠΕ, ως απόρροια των πρόσφατων προσπαθειών για μείωση του ελλείμματος του Ειδικού Λογαριασμού ΑΠΕ.

Για τη διερεύνηση των κινδύνων και πιθανών επιπτώσεων της υπό μελέτη ενεργειακής μετάβασης που βασίζεται σε μεγάλης κλίμακας ηλιακά έργα και το prosuming στις κατοικίες, οι εμπειρογνώμονες επέλεξαν τέσσερα μέτρα πολιτικής για την προώθηση αυτής της μετάβασης: **οικονομικά κίνητρα για μεγάλης κλίμακας έργα ηλιακής ενέργειας (P_1)**, συμπεριλαμβανομένων των επιδοτήσεων και φορολογικών απαλλαγών· **εντεταμένο χωροταξικό σχεδιασμό (P_2)** σε τοπικό/δημοτικό επίπεδο, με σκοπό τη διευκόλυνση της διάχυσης μεγάλων ΦΒ πάρκων· **ευρείας κλίμακας διάχυση έξυπνων μετρητών ενέργειας (P_3)**, συμπεριλαμβανομένης της ευρείας αντικατάστασης των υφιστάμενων μετρητών στο δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού, αποσκοπώντας κυρίως στην προώθηση της ενεργούς συμμετοχής των καταναλωτών στην ενεργειακή αγορά καθώς και στην πλέον αποδοτική ενεργειακή εξισορρόπηση· και **οικονομικά κίνητρα για τη διάχυση και χρήση μονάδων και συσκευών αποθήκευσης (P_4)** για την αποθήκευση ενέργειας σε επίπεδο νοικοκυριών. Η λίστα αυτή των μέτρων πολιτικής δεν είναι εξαντλητική, δεδομένου του πλήθους των πιθανών δράσεων που δύνανται να προάγουν την οραματισθείσα μετάβαση, αλλά θεωρήθηκε από τους εμπειρογνώμονες ως αντιπροσωπευτική των δράσεων επιτάχυνσης της υπό μελέτη ενεργειακής μετάβασης.

Σύμφωνα με το συλλογικό μοντέλο που οι δεκατέσσερις εμπειρογνώμονες διευκολύνθηκαν να σχεδιάσουν στην αποκλειστικά σχεδιασμένη συνεδρία της ημερίδας, τα οικονομικά κίνητρα για μεγάλης κλίμακας έργα (P_1) κυρίως και, σε μικρότερο βαθμό, ο καλύτερος χωροταξικός σχεδιασμός (P_2) μπορούν να βοηθήσουν στην ενεργοποίηση της ανάπτυξης μεγάλης κλίμακας ηλιακών έργων (S_6). Αυτή η επίπτωση είναι ελαφρώς περιορισμένη εξαιτίας ενός πιθανώς ασταθούς ρυθμιστικού πλαισίου (B_3) και της ενδεχομένως περιορισμένης κοινωνικής αποδοχής (B_2), η οποία εκφράζεται κυρίως μέσω περιστάσεων NIMBY (S_{16}), οι οποίες ωστόσο θα πρέπει να περιοριστούν μέσω της κινητοποίησης καλύτερου χωροταξικού σχεδιασμού στο δημοτικό/περιφερειακό επίπεδο. Υπό τον φόβο της επιμονής στην αξιοποίηση των εγχώριων κοιτασμάτων λιγνίτη και της μακροπρόθεσμης τεχνολογικής

δέσμευσης σε αυτά (S_7), οι εμπειρογνώμονες επίσης τόνισαν την επίδραση της κακής πολιτικής προτεραιοποίησης σε επενδύσεις σε μεγάλης κλίμακας έργα ΑΠΕ, η οποία μπορεί να είναι ακόμη χειρότερη στην περίπτωση αρνητικής οικονομικής ανάπτυξης (B_1) ή υψηλών τεχνολογικών κοστών (B_4). Με βάση τα μαθήματα του παρελθόντος, μία ευρείας κλίμακας ηλιακή ενεργειακή μετάβαση μπορεί να οδηγήσει σε δημοσιονομικά προβλήματα και ελλείμματα των λογαριασμών επιδοτήσεων (C_5), ειδικά στην περίπτωση κακού σχεδιασμού των μηχανισμών οικονομικής υποστήριξης. Αυξάνοντας το μερίδιο των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (S_9), το μερίδιο των εγχώριων ορυκτών καυσίμων στο εθνικό ενεργειακό μίγμα (S_8) θα μειωθεί, με άμεσες επιπτώσεις στην ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού (S_{12}), στη σταθερότητα/ευρωστία του δικτύου (S_{10}), και επομένως στις τιμές χονδρικής αγοράς ηλεκτρισμού (S_{11}). Οι τελευταίες, πέραν των λογαριασμών ηλεκτρικής ενέργειας (C_1) και σε συνδυασμό με την αντιληφθείσα τεχνολογική δέσμευση, δύνανται να επηρεάσουν και τις επενδύσεις (C_3). Ταυτόχρονα, όμως, τα μεγάλης κλίμακας ΦΒ πάρκα θα βοηθήσουν στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας μηχανικών, καθώς και στον κατασκευαστικό τομέα (S_{15}), μία επίπτωση ωστόσο που θεωρείται ανεπαρκής να αντισταθμίσει την παράλληλη επίδραση στα επαγγέλματα που σχετίζονται με την εξόρυξη λιγνίτη (S_{13}). Επομένως, η αυξημένη ανεργία (C_4) και η απειλούμενη ασφάλεια εφοδιασμού θέτουν σημαντικά εμπόδια στην οικονομική ανάπτυξη (C_2) μακροπρόθεσμα.

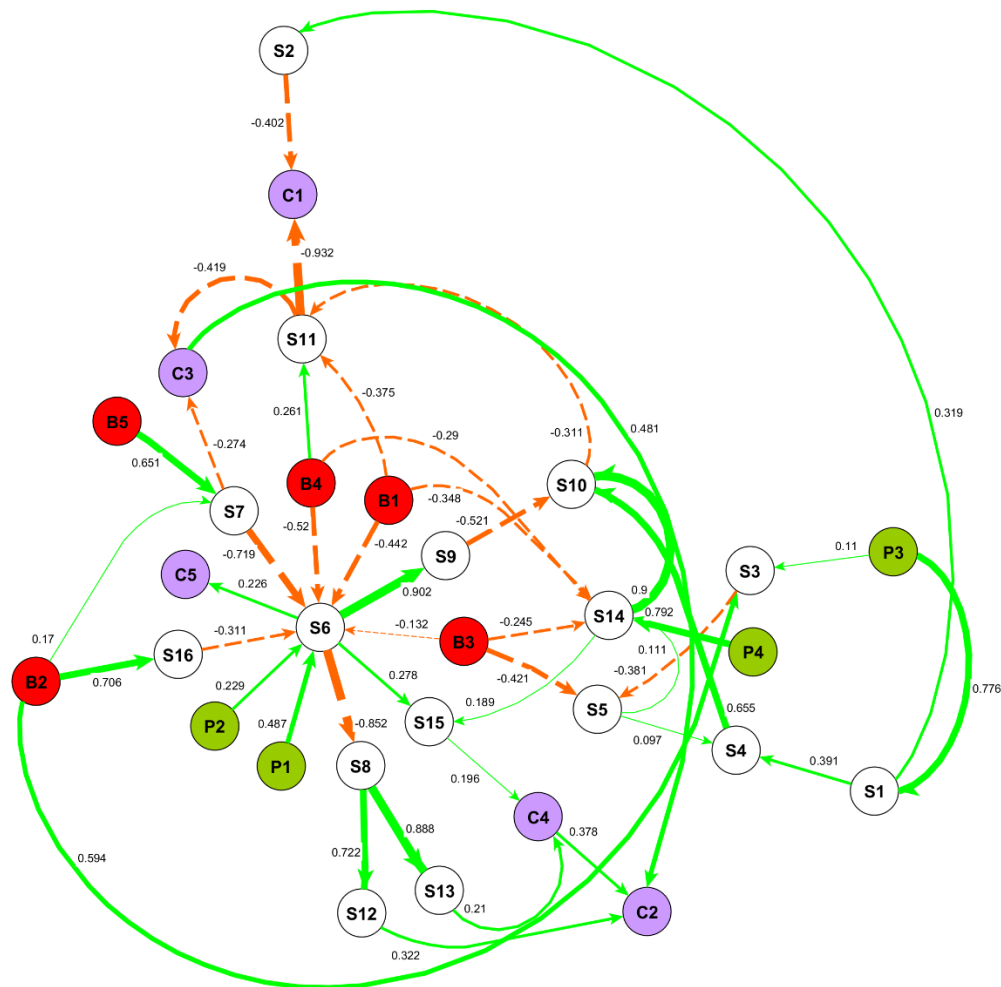
Όσον αφορά την μικρο-παραγωγή και αποθήκευση, οι εμπειρογνώμονες αναγνώρισαν ότι η αυτοκατανάλωση ηλεκτρισμού έχει σημαντικά οφέλη: η κατανομημένη, μικρής κλίμακας ηλεκτροπαραγωγή, η οποία εγκαθίσταται σε και καταναλώνεται από κοντινά ηλεκτρικά φορτία, είναι επιθυμητή επειδή οι απώλειες μετάδοσης μειώνονται, και τα δίκτυα διανομής εν μέρει ανακουφίζονται, με αποτέλεσμα να προεκτείνεται η διάρκεια ζωής τους. Ωστόσο, οι εμπειρογνώμονες επίσης τόνισαν ότι το πρόσημο των επιπτώσεων της αυτοκατανάλωσης στη λειτουργία της ελληνικής αγοράς ενέργειας δεν είναι ευκρινές. Παρότι το μοντέλο αυτοπαραγωγής δύναται να βοηθήσει στην αποφυγή ορισμένων εκ των απαραίτητων επενδύσεων στις υποδομές του δικτύου, αυτό μπορεί εντούτοις να μη συμβεί στην πραγματικότητα αν ο αριθμός των prosumers στο μέλλον αυξηθεί δραματικά: για τον λόγο αυτό, νέα επιχειρηματικά μοντέλα και τεχνικές δυνατότητες θα απαιτούνται για τους παραγωγούς ηλεκτρισμού, έτσι ώστε η λειτουργία του συστήματος να παραμείνει σταθερή και αξιόπιστη. Είναι πιθανό οι μη έχοντες μεγάλα οικονομικά περιθώρια συμμετοχής στο μοντέλο αυτοπαραγωγής να επιβαρυνθούν με επιπλέον κόστη ηλεκτρικής ενέργειας. Ως εκ τούτου, οι διαχειριστές θα πρέπει να μετασχηματιστούν από εταιρείες που επενδύουν σε πρότυπα σε εταιρείες που επενδύουν σε ενσωματωμένες υπηρεσίες διαχείρισης και νέες τεχνολογίες. Οι εμπειρογνώμονες φαίνονται επίσης να συμφωνούν ότι η αυτοκατανάλωση μπορεί να αποτελέσει έναν σημαντικό παράγοντα ευελιξίας ζήτησης: τα αυξανόμενα ποσοστά της αποκεντρωμένης παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας θα επιτρέψει στους prosumers να παρέχουν νέες υπηρεσίες στο ενεργειακό σύστημα, οι οποίες έως τώρα παρέχονται από κεντρικές μονάδες παραγωγής, επιτρέποντας μικρά περιθώρια ευελιξίας. Η ανάγκη εξασφάλισης βέλτιστης χρήσης της αυτοκατανάλωσης μέσω μίας προσέγγισης συστημικής βελτιστοποίησης έχει επισημανθεί και από την Ένωση Ευρωπαϊκών Φωτοβολταϊκών Βιομηχανιών

(European Photovoltaic Industry Association, 2012, 2013). Το θέμα αυτό έχει καλυφθεί και στην επιστημονική βιβλιογραφία προσφάτως, από μελέτες που αξιολόγησαν τα οικονομικά της αυτοκατανάλωσης της ηλιακής ενέργειας, είτε από συστήματα αμιγώς φωτοβολταϊκά είτε από συστήματα συνδυασμένα με αποθήκευση ηλεκτρισμού (Chatzisideris et al., 2017· Metz and Saraiva, 2015· και Schill et al., 2017): αυτές οι μελέτες επίσης συμπεραίνουν ότι μία φιλική προς το σύστημα λειτουργία του μοντέλου αυτοκατανάλωσης, η οποία αποσκοπεί όχι μόνο στην βέλτιστη διανομή της αυτοπαραγόμενης ενέργειας (δηλαδή την ελαχιστοποίηση του κόστους για τους prosumers) αλλά και στην ελαχιστοποίηση των απωλειών της αποδοτικότητας του συστήματος (δηλαδή, μέσω της πρόβλεψης επιπρόσθετων υπηρεσιών στο δίκτυο, π.χ. εξομάλυνση της κατανάλωσης), είναι απαραίτητη για τον περιορισμό των αυξήσεων στα κόστη.

Συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες εμπειρογνώμονες πιστεύουν ότι η ευρεία διάχυση έξυπνων μετρητών (P_3), εκτός του ότι επιτρέπουν καλύτερη εποπτεία της ενεργειακής κατανάλωσης των καταναλωτών (S_1), όπως και στην περίπτωση της Ολλανδίας (Nikas et al., 2018), μπορεί να αποβεί ιδιαίτερα επιβλαβής για την εμπιστοσύνη των πολιτών στους θεσμούς (S_5). Και οι δύο αυτές σχέσεις θεωρούνται πως έχουν περιορισμένη επίδραση στην ευελιξία ζήτησης (S_4), παρέχοντας καλύτερο έλεγχο των λογαριασμών ηλεκτρισμού (S_2) και μειώνοντας έτσι τα ηλεκτρικά κόστη για τους καταναλωτές (C_1), καθώς και στην δημιουργία του κατάλληλου εδάφους για τη διάχυση της αποθήκευσης ενέργειας μικρής κλίμακας (S_{14}). Αντιθέτως, οι αστάθειες στο θεσμικό πλαίσιο (B_3), με τα υψηλά κόστη αποθήκευσης (B_4) και μία πιθανώς συνεχιζόμενη οικονομική ύφεση (B_1), μπορεί να θέσουν σημαντικά εμπόδια στην ομαλή υλοποίηση μίας τέτοιας προσπάθειας, η οποία θεωρείται ζωτικής σημασίας σύμφωνα με τους εμπειρογνώμονες, επηρεάζοντας την σταθερότητα του δικτύου και των τιμών χονδρικής ηλεκτρικής ενέργειας (S_{11}). Πρέπει να σημειωθεί ότι, παρότι η εμπιστοσύνη στους θεσμούς είναι σημαντική για την ανάπτυξη έργων αποθήκευσης μικρής κλίμακας, τα οικονομικά κίνητρα για μονάδες και συσκευές αποθήκευσης (P_4) είναι κρίσιμα για την αποτελεσματική ενσωμάτωσή τους στο δίκτυο.

Το συλλογικό μοντέλο ΑΓΧ απεικονίζεται στην [Εικόνα 8.2](#).

Τέλος, σε μία προσπάθεια προσομοίωσης αυτών των τεσσάρων πολιτικών έναντι διαφορετικών πιθανών συνδυασμών των ποσοστών έντασης των κινδύνων υλοποίησης, σχεδιάστηκαν πέντε σενάρια που περιγράφουν διαφορετικές κοινωνικοοικονομικές μελλοντικές καταστάσεις στην Ελλάδα, με βάση τη μεθοδολογία που περιγράφεται στο [Κεφάλαιο 6](#) (Nikas et al., 2018, 2019b). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες που περιγράφουν τα πέντε ΔΚΜ (O'Neill et al., 2017) για την ποσοτικοποίηση των κόμβων που αντιστοιχούν στους κινδύνους υλοποίησης (B_1 - B_5) του ΑΓΧ, διαμορφώνοντας έτσι τα πέντε σενάρια ΑΓΧ.



Σημειώσεις:

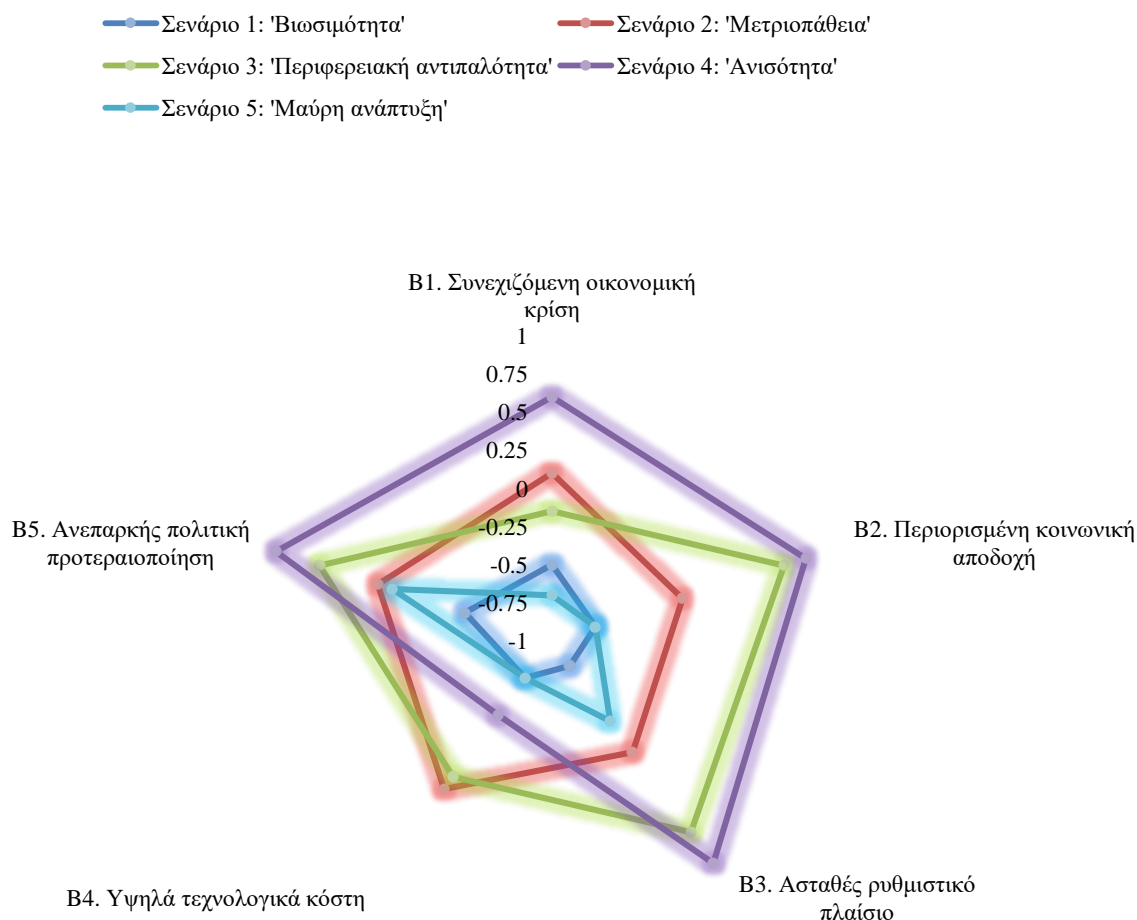
- B1. Συνεχιζόμενη κοινωνική κρίση
- B2. Ανεπαρκής κοινωνική αποδοχή
- B3. Ασταθές ρυθμιστικό πλαίσιο
- B4. Υψηλά τεχνολογικά κόστη
- B5. Ανεπαρκής πολιτική προτεραιοποίηση
- P1. Οικονομικά κίνητρα για μεγάλης κλίμακας έργα
- P2. Εντεταμένος χωροταξικός σχεδιασμός
- P3. Ευρείας κλίμακας διάχυση έξυπνων μετρητών
- P4. Οικονομικά κίνητρα για μονάδες αποθήκευσης
- S1. Δυνατότητα εποπτείας ενεργειακής κατανάλωσης
- S2. Έλεγχος των λογαριασμών ηλεκτρισμού
- S3. Ανησυχίες σχετικές με τα προσωπικά δεδομένα
- S4. Ευελιξία ζήτησης
- S5. Εμπιστοσύνη στους θεσμούς
- S6. Ανάπτυξη μεγάλης κλίμακας ΦΒ έργων

- S7. Τεχνολογική δέσμευση (lock-in)
- S8. Μερίδιο λιγνίτη στο ενεργειακό μίγμα
- S9. Μερίδιο ΑΠΕ στο μίγμα ηλεκτροπαραγωγής
- S10. Σταθερότητα/ευστάθεια δικτύου
- S11. Τιμές χονδρικής ηλεκτρικής ενέργειας
- S12. Ασφάλεια ενεργειακού σχεδιασμού
- S13. Θέσεις εργασίας στον τομέα εξόρυξης λιγνίτη
- S14. Μικρής κλίμακας αποθήκευση ενέργειας
- S15. Νέες, πράσινες θέσεις εργασίας
- S16. Φαινόμενο Not-In-My-Backyard (NIMBY)
- C1. Κόστη ηλεκτρισμού για τους τελικούς καταναλωτές
- C2. Μακροπρόθεσμη οικονομική ανάπτυξη
- C3. Επενδύσεις
- C4. Απασχόληση
- C5. Δημοσιονομικά ελλείμματα λόγω επιδοτήσεων

Εικόνα 8.2 Γραφική απεικόνιση του ΑΓΧ. Οι πολιτικές απεικονίζονται με πράσινο χρώμα, οι κίνδυνοι υλοποίησης με κόκκινο, οι επιπτώσεις με μωβ, όλοι οι υπόλοιποι κόμβοι με λευκό· οι θετικές διαδράσεις με πράσινες, συνεχείς ακμές, ενώ οι αρνητικές με κόκκινες, διακοπτόμενες ακμές, το πάχος των οποίων υποδηλώνει το μέσο βάρος των συνδέσμων, όπως προσδιορίστηκε από τους 14 εμπειρογνώμονες.

Το πρώτο σενάριο (*‘Βιωσιμότητα’*) περιγράφει ένα κοινωνικοοικονομικά αισιόδοξο μέλλον, στο οποίο η οικονομική ανάπτυξη είναι σχετικά ταχεία· η κοινωνική συνοχή και συμμετοχή και επομένως η αποδοχή της ηλιακής ενέργειας είναι σε πολύ υψηλά επίπεδα· η αυστηρή νομοθεσία και η καλύτερη περιβαλλοντική διαχείριση καλλιεργούν ιδανικές συνθήκες για ένα σταθερό ρυθμιστικό πλαίσιο· η ταχεία τεχνολογική αλλαγή, απομακρυσμένη από τα ορυκτά καύσιμα και προσανατολισμένη στην αποδοτικότητα και τις ΑΠΕ, οδηγεί σταδιακά σε χαμηλότερα τεχνολογικά κόστη· ενώ η πολιτική προτεραιοποίηση είναι αποτελεσματική και εστιάζει στη βιώσιμη ανάπτυξη. Το δεύτερο σενάριο (*‘Μετριοπάθεια’*) περιγράφει έναν κόσμο μετριοπαθών προκλήσεων στην κλιματική δράση γενικότερα, στον οποίο όλες οι ενδιαφέρουσες παράμετροι θεωρούνται μέσες. Το Σενάριο 3, ή *‘Περιφερειακή αντιπαλότητα’*, περιγράφει έναν δύσκολο δρόμο με πολύ υψηλές προκλήσεις, τόσο στις προσπάθειες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής όσο και στις προσπάθειες προσαρμογής σε αυτήν: η οικονομική ανάπτυξη και η τεχνολογική αλλαγή είναι σχετικά αργές, και η χαμηλή προτεραιοποίηση των περιβαλλοντικών και κλιματικών θεμάτων καλλιεργούν ένα δύσκολο πλαίσιο για την πολιτική προτεραιοποίηση και την σταθερότητα του ρυθμιστικού πλαισίου, ενώ παράλληλα οι πολίτες δεν είναι ιδιαίτερα δεκτικοί ως προς τις πράσινες τεχνολογίες. Το Σενάριο 4 (*‘Ανισότητα’*) περιγράφει ένα μέλλον με πολλές προκλήσεις για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, δηλαδή έναν κόσμο με εξίσου περιορισμένη κοινωνική συμμετοχή και ακόμη λιγότερη συνοχή, χαμηλότερη οικονομική ανάπτυξη σε χώρες σαν την Ελλάδα, με πολιτικές προτεραιότητες εστιασμένες στα οφέλη μίας κλειστής επιχειρηματικής ελίτ αντί ολόκληρης της κοινωνίας· οι τεχνολογικές εξελίξεις, ωστόσο, είναι ταχύτερες οδηγώντας σε χαμηλότερα κόστη σχετικά με τις ΑΠΕ και την ενεργειακή αποδοτικότητα. Τέλος, το πέμπτο σενάριο, ή η *‘Μαύρη ανάπτυξη’*, περιγράφει έναν κόσμο με υψηλές προκλήσεις για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, με μεγάλη ωστόσο οικονομική άνθιση και σχετικά καλή κοινωνική συμμετοχή και αποδοχή νέων τεχνολογιών, σχετικά σταθερό ρυθμιστικό πλαίσιο, πολύ γρήγορη ανάπτυξη και μετάδοση των τεχνολογικών εξελίξεων άρα και πολύ χαμηλότερα κόστη εγκατάστασης και λειτουργίας, αλλά με προσανατολισμό στην ανταγωνιστικότητα των αγορών αντί της βιωσιμότητας. Οι τιμές των κινδύνων υλοποίησης που προσδιορίστηκαν από τους εμπειρογνώμονες μέσα στο πεδίο $[-1, 1]$ των ΑΓΧ (Nikas and Doukas, 2016), για κάθε ένα εκ των πέντε κοινωνικοοικονομικών σεναρίων, παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 8.3).

Σενάρια ΑΓΧ



Εικόνα 8.3 Ποσοτικοποίηση των κόμβων των κινδύνων υλοποίησης για κάθε ένα εκ των πέντε κοινωνικοοικονομικών σεναρίων που χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις του ΑΓΧ.

Ο ΑΓΧ προσομοιώνεται στην πορεία πέντε φορές για κάθε σενάριο, μία φορά για καθεμία εκ των τεσσάρων πολιτικών και μία ακόμη φορά χωρίς καμία πολιτική ενεργοποιημένη (αδράνεια). Κοιτάζοντας τις διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων κάθε πολιτικής και της προσομοίωσης της αδράνειας, δύναται να εκτιμηθεί τι αναμένουν οι εμπειρογνώμονες από κάθε πολιτική και ποιες πιθανές επιπτώσεις της πράσινης μετάβασης μπορούν να αναγνωριστούν.

Τα αποτελέσματα για το Σενάριο 1 υποδεικνύουν ότι οι εξετασθείσες πολιτικές θεωρούνται ότι συνεισφέρουν λίγο στην οραματισθείσα μετάβαση σε ένα κοινωνικοοικονομικά αισιόδοξο μέλλον, σε όρους ανάπτυξης, απασχόλησης, επενδύσεων, κοστών ηλεκτρισμού ή δημοσιονομικών προβλημάτων.

οι μεγαλύτερες (πλην αμελητέες) συνολικές επιδράσεις παρατηρούνται στην περίπτωση μίας ευρείας κλίμακας διάχυσης των έξυπνων μετρητών ενέργειας, η οποία θα επέφερε μικρές μειώσεις στις τιμές ηλεκτρισμού, καθώς και νέες επενδύσεις και μικρή ανάπτυξη του ΑΕΠ. Αντίστοιχα, σχετικά μικρές επιπτώσεις παρατηρούνται για το σενάριο της μαύρης ανάπτυξης (Σενάριο 5).

Αντίθετα, τα αποτελέσματα του μετριοπαθούς σεναρίου (Σενάριο 2), το οποίο χαρακτηρίζεται από μέτριες κοινωνικοοικονομικές προκλήσεις, δείχνουν μεγαλύτερες και επομένως πιο ευδιάκριτες διαφορές μεταξύ των πολιτικών. Πιο σημαντικά, αυτό το σενάριο θεωρείται ότι καλλιεργεί το έδαφος για την ανάπτυξη αρνητικών οικονομικών επιπτώσεων εξαιτίας των οικονομικών κινήτρων για μεγάλα ηλιακά έργα, ειδικά όσον αφορά την ανεργία και το ΑΕΠ, καθώς και για την ανάπτυξη δημοσιονομικών προβλημάτων εξαιτίας των ανεπαρκώς σχεδιασμένων μηχανισμών οικονομικής στήριξης, με ελάχιστη ανταπόδοση. Αυτό το εύρημα υπονοεί ότι η εστίαση σε τέτοια οικονομικά κίνητρα δύναται να διεγείρει έντονες κοινωνικοοικονομικές ανισότητες, ενώ αντικατοπτρίζει με ακρίβεια τα λάθη του παρελθόντος, ειδικά δεδομένου ότι αυτό το σενάριο είναι το εγγύτερο στα ιστορικά πρότυπα (O'Neill et al., 2017) και παρόμοια θέματα έχουν παρατηρηθεί στην Ελλάδα στο πρόσφατο παρελθόν. Όσον αφορά τις άλλες πολιτικές, ο κοινωνικοοικονομικός τους αντίκτυπος είναι σχεδόν μηδενικός, με τις όποιες αμελητέες επιδράσεις να είναι κατά βάση αρνητικές.

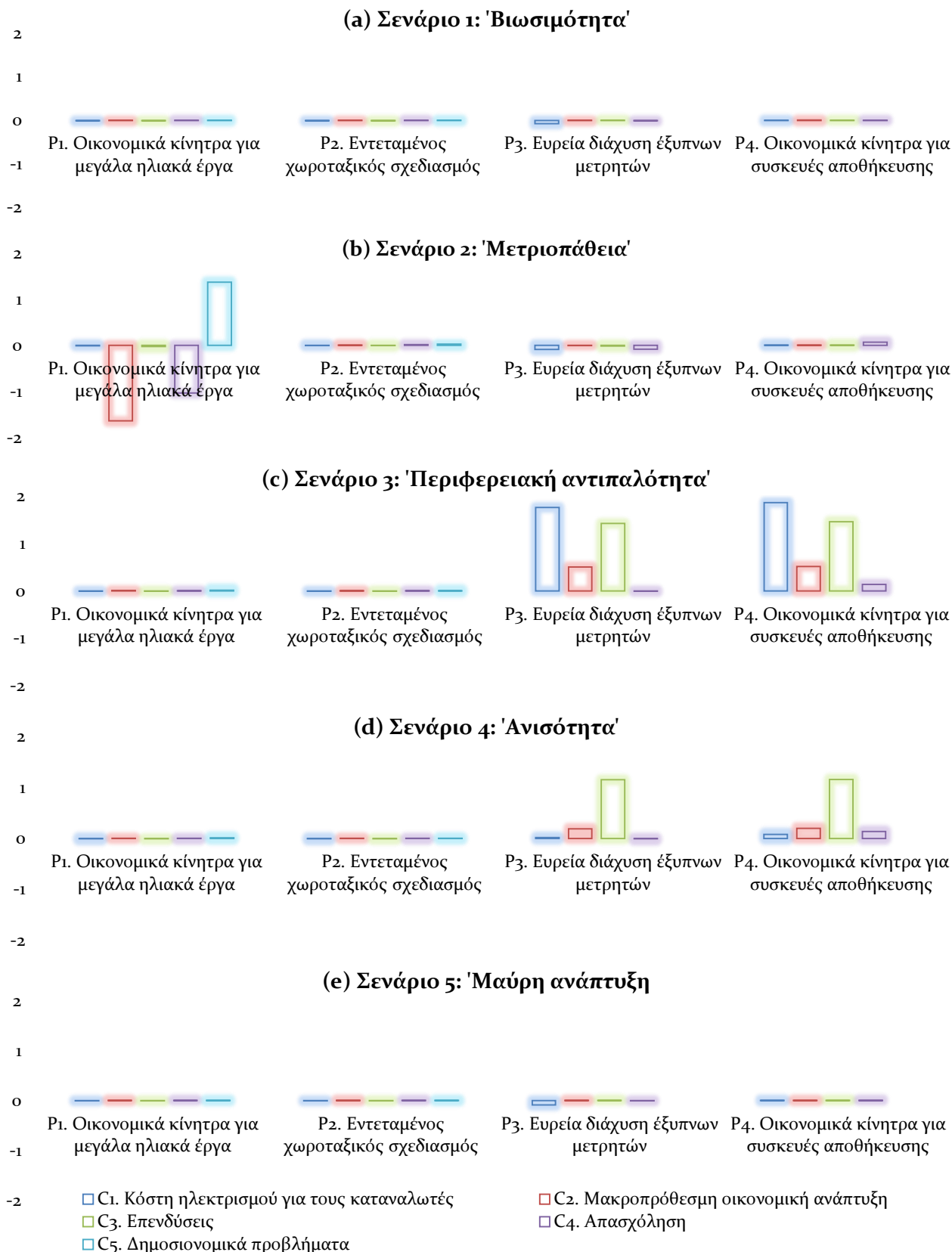
Το σενάριο της περιφερειακής αντιπαλότητας (Σενάριο 3) είναι εξ ορισμού συνδεδεμένο με περιορισμένες τεχνολογικές εξελίξεις και αργή οικονομική ανάπτυξη. Για την αντιμετώπιση αυτών των αδυναμιών και της τεχνολογικής αδράνειας, οι στρατηγικές που εστιάζουν στους έξυπνους μετρητές και τα οικονομικά κίνητρα για συσκευές αποθήκευσης εμφανίζουν τις πιο θετικές επιδράσεις της μετάβασης. Ωστόσο, και οι δύο πολιτικές βρίσκονται στα αρχικά στάδια ανάπτυξης, επομένως απαιτούν σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις ώστε να ενσωματωθούν ομαλώς στο υφιστάμενο δίκτυο. Επομένως, η γρήγορη τεχνολογική ανάπτυξη για την υποστήριξη της αποτελεσματικής ενσωμάτωσης των συστημάτων έξυπνης μέτρησης και των μονάδων αποθήκευσης στο σύστημα, παράλληλα με τα υψηλά κόστη εγκατάστασης και λειτουργίας αυτών, δεν προσαρμόζονται εύκολα, με αποτέλεσμα μία αξιοσημείωτη αύξηση στις τιμές χονδρικής του ηλεκτρισμού. Ωστόσο, η σημαντική τους συνεισφορά στις επενδύσεις και το ΑΕΠ καθώς και μία ελαφριά ώθηση της απασχόλησης αναμένονται να αντισταθμίσουν τον αρνητικό τους αντίκτυπο.

Στον δύσβατο δρόμο του Σεναρίου 4, οι κοινωνικές ανισότητες και μία μετατόπιση προς την αξιοποίηση των ορυκτών καυσίμων αναδεικνύονται ως σημαντικοί παράγοντες και ιδιαίτερα κυρίαρχουσες ανησυχίες, διαμορφώνοντας ένα πολύ ευνοϊκό πλαίσιο για τη διάχυση των έξυπνων μετρητών και την επιδότηση των μονάδων αποθήκευσης ενέργειας. Μία τέτοια μετάβαση θεωρείται πως θα οδηγήσει σε διεθνείς συνεργασίες και ξένες επενδύσεις. Ως εκ τούτου, η αύξηση των επενδύσεων και η οικονομική ανάπτυξη, καθοδηγούμενες από την αυξανόμενη ζήτηση και τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας αντίστοιχα, είναι τα κύρια θετικά αποτελέσματα των δύο αυτών πολιτικών. Παρότι θεωρούνται να

έχουν μικρότερη θετική επίδραση στις επενδύσεις και την απασχόληση σε αυτό το σενάριο, συγκριτικά με το Σενάριο 3, αυτές οι πολιτικές καταφέρνουν να μην επιβαρύνουν ιδιαίτερα τα νοικοκυριά με υψηλά κόστη ηλεκτρισμού.

Τα αποτελέσματα του ΑΓΧ απεικονίζονται στην [Εικόνα 8.4](#). Εξετάζοντας λεπτομερώς τον τρόπο με τον οποίο κάθε μέτρο πολιτικής επηρεάζει τις βασικές κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές (πάντα συγκριτικά με την προσομοίωση βάσης/αδράνειας) σε κάθε σενάριο, φαίνεται ότι μόνο τα μέτρα που προσανατολίζονται στο prosuming θεωρούνται να έχουν θετικές κοινωνικοοικονομικές επιδράσεις στην μετάβαση, η μεγαλύτερη δυναμική των οποίων παρατηρείται στα δύο σενάρια που περιγράφουν τις υψηλότερες κοινωνικοοικονομικές προκλήσεις για προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή. Δεν προκύπτει το ίδιο για τις πολιτικές που περιστρέφονται γύρω από την κεντρική παραγωγή ενέργειας από μεγάλης κλίμακας ΦΒ πάρκα, οι οποίες έχουν αμελητέες επιδράσεις, εκτός από έναν κόσμο που ακολουθεί ένα μονοπάτι στο οποίο οι κοινωνικές, οικονομικές και τεχνολογικές τάσεις δεν μεταβάλλονται ριζικά από τα παρελθοντικά πρότυπα, και στο οποίο τα ανεπαρκώς σχεδιασμένα οικονομικά κίνητρα για μεγάλα ηλιακά έργα θεωρούνται ενδεχομένως επιβλαβή για την οικονομική ανάπτυξη και την απασχόληση στην χώρα, καθώς και για τα δημοσιονομικά της κυβέρνησης.

Παρότι τα αποτελέσματα δεν μπορούν να αξιοποιηθούν ποσοτικά και αποκτούν σημασία σε μία συγκριτική βάση, αυτή η καθοδηγούμενη από την ανθρώπινη γνώση και εμπειρία διαδικασία κατέδειξε και έδωσε έμφαση στη σημασία σημαντικών κινδύνων υλοποίησης καθώς και σε πιθανές αρνητικές επιπτώσεις μίας βασισμένης στην ηλιακή ενέργεια μετάβασης στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα, οι εμπειρογνώμονες που συμμετείχαν στη διαδικασία προσδιόρισαν και υπερθεμάτισαν τις πιθανές επιπτώσεις της αποθήκευσης ενέργειας και της ευελιξίας ζήτησης στις τιμές χονδρικής ηλεκτρικής ενέργειας και ως εκ τούτου στα κόστη ηλεκτρισμού για τους τελικούς καταναλωτές, καθώς και τις πιθανές αρνητικές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις (κίνδυνοι συνεπειών) μίας ευρείας κλίμακας διάχυσης της ηλιακής ενέργειας συνολικά. Στις επόμενες δύο ενότητες, διαμορφώνεται ένα σύνολο μοντέλων, το οποίο χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση και αξιολόγηση των κινδύνων αυτών. Συγκεκριμένα, το σύνολο αυτό αποτελείται από το BSAM για την αξιολόγηση των μικροοικονομικών επιπτώσεων και το MEMO για την αξιολόγηση των μακρο-κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων.



Εικόνα 8.4 Αποτελέσματα ΑΓΧ για τις επιπτώσεις των τεσσάρων μέτρων πολιτικής στα κόστη ηλεκτρισμού, τη μακροπρόθεσμη οικονομική ανάπτυξη, τις επενδύσεις, την εργασία/απασχόληση, και τα πιθανά δημοσιονομικά

προβλήματα για την κυβέρνηση, στα Σενάρια 1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d) και 5 (e), συγκριτικά με ένα μέλλον όπου δεν εφαρμόζεται καμία εκ των πολιτικών.

8.4 Ανάπτυξη ενός συνδυαστικού πλαισίου μοντελοποίησης

Σε αυτήν την ενότητα, αναπτύσσεται ένα πλαίσιο μοντελοποίησης με τη δυνατότητα ποσοτικοποίησης των προαναφερθέντων κινδύνων υλοποίησης καθώς και αξιολόγησης του βαθμού των πιθανών αρνητικών επιπτώσεων, όπως αναγνωρίστηκαν στην καθοδηγούμενη από εμπειρογνώμονες προσέγγιση των ΑΓΧ. Το πλαίσιο αποτελείται από τα μοντέλα BSAM και MEMO, τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες των οποίων παρουσιάστηκαν συνοπτικά στην [Ενότητα 8.2](#). Στις επόμενες υποενότητες, αναπτύσσονται λεπτομερώς τα σενάρια, οι παράμετροι και οι υποθέσεις της μοντελοποίησης.

8.4.1 Ανάλυση σεναρίων

Το μοντέλο BSAM εφαρμόζεται για την διερεύνηση των αβεβαιοτήτων σχετικά με τις επιπτώσεις της διάχυσης μικρής κλίμακας (1-10 kWp) συσκευών αποθήκευσης ενέργειας στις τιμές χονδρικής της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Πρέπει να σημειωθεί ότι, πέραν των μεγάλης και μικρής κλίμακας έργων, υπάρχει στη χώρα και η δυνατότητα υλοποίησης μεσαίου μεγέθους πάρκων (10 – 10,000 kWp), τα οποία μπορεί να αποτελούν ιδιαίτερα ελκυστική επένδυση για μικρές τοπικές επιχειρήσεις και ενεργειακές κοινότητες· αυτή η ανάλυση, ωστόσο, διαφοροποιεί τα μικρής κλίμακας από όλα τα υπόλοιπα έργα. Η λογική αυτής της ανάλυσης προέρχεται από την υπόθεση ότι οι δυνατότητες της πλευράς της ζήτησης οφείλουν να συντονίζονται παράλληλα με τις ανάγκες και τους περιορισμούς ευελιξίας του δικτύου, αλλιώς τα οφέλη από την ενσωμάτωση της απόκρισης ζήτησης μέσα στη λειτουργία του δικτύου ενδέχεται να περιορίζονται σημαντικά. Για τον σκοπό αυτό, μελετώνται εννέα σενάρια ([Πίνακας 8.1](#)), για την εγκατεστημένη ισχύ ΦΒ και το μερίδιο αγοράς της μικρής κλίμακας αποθήκευσης ηλεκτρισμού.

Πίνακας 8.1 Σενάρια του BSAM για την εγκατεστημένη ισχύ και το μερίδιο αγοράς των συσκευών αποθήκευσης ενέργειας σε τοπικό επίπεδο (μικρής κλίμακας).

Ισχύς ΦΒ (MWp)	Μερίδιο αγοράς αποθήκευσης		
	0%	5%	10%
2,611	SC00	SC01	SC02
3,900	SC10	SC11	SC12
5,900	SC20	SC21	SC22

Ενδεικτικά, για το BSAM:

- Το Σενάριο SC₀₀ αντιστοιχεί στις συνθήκες αγοράς (ζήτηση και τιμές) του 2016 για το ελληνικό ενεργειακό σύστημα (HELAPCO, 2018).
- Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των 3,900 MW αντιστοιχεί σε έναν ενδεικτικό εθνικό στόχο για το 2025, ενώ αυτή των 5,900 MW σε έναν ενδεικτικό εθνικό στόχο για το 2030, όπως υποδείχθηκε από τους εμπειρογνώμονες που συμμετείχαν.
- Το μερίδιο αγοράς των συσκευών αποθήκευσης αντιστοιχεί στο ποσοστό των μικρής κλίμακας εγκαταστάσεων ΦΒ που συνδυάζονται με αποθήκευση ηλεκτρισμού, συγκριτικά με τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ μικρής κλίμακας ΦΒ.
- Ο λόγος των μεγάλης προς μικρής κλίμακας εγκαταστάσεων ΦΒ είναι 6:1 (όπως το 2016).
- Ακολουθώντας μία παρόμοια προσέγγιση με αυτήν του Waffenschmidt (2014), η αποθήκευση θεωρείται ότι εισάγεται στο σύστημα με δυνατότητα 3.5 kWh (δηλαδή μερίδιο αγοράς 5%) και 7 kWh (δηλαδή μερίδιο αγοράς 10%) για κάθε 10 kWp εγκατεστημένης ισχύος μικρής κλίμακας ΦΒ (συνολική αποδοτικότητα 92%).
- Όλες οι άλλες παράμετροι (π.χ. συνολική ζήτηση ενέργειας, τιμές ορυκτών καυσίμων, κλπ.) υποτίθενται σταθερές στις τιμές του 2016.

Για κάθε ένα εκ των παραπάνω σεναρίων, χρησιμοποιείται μία επιπλέον υπομονάδα μοντελοποίησης που υπολογίζει, στο επίπεδο του καταναλωτή: αυτοκατανάλωση (kWh), συνολική ενέργεια που εισέρχεται στο δίκτυο (kWh), συνολική ενέργεια που αγοράζεται από το δίκτυο (kWh), και αριθμό ισοδύναμων πλήρων κύκλων ανά έτος για τη μονάδα αποθήκευσης.

Αυτή η υπομονάδα προσομοιώνει τη λειτουργία της αποθήκευσης, όταν ο στόχος της είναι η μεγιστοποίηση της αυτοκατανάλωσης, και βοηθά στη μετάφραση των σεναρίων για τη διάχυση της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε σενάρια για τα επίπεδα αυτοκατανάλωσης που αμέσως επηρεάζουν τη ζήτηση που εξυπηρετείται από την χονδρική αγορά ενέργειας. Για το μοντέλο λειτουργίας μπαταρίας, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος των Quoilin et al. (2016), με την δυνατότητα αποθήκευσης να κατανέμεται με βέλτιστο τρόπο, ώστε να μεγιστοποιείται η αυτοκατανάλωση: εάν η ισχύς ΦΒ είναι υψηλότερη του φορτίου, τότε η μπαταρία φορτίζεται πλήρως, αλλιώς αποφορτίζεται πλήρως.

Παρότι τα προτεινόμενα σενάρια περιλαμβάνουν συγκεκριμένες και ντετερμινιστικές παραμέτρους, η αβεβαιότητα στην υπό μελέτη περίπτωση προκύπτει από τον τρόπο με τον οποίο προκύπτουν οι τιμές χονδρικής του ηλεκτρισμού. Οι τιμές είναι το αποτέλεσμα της συμπεριφοράς δήλωσης τιμών των παραγωγών ενέργειας, η οποία δεν προκαθορίζεται αλλά εκμαθαίνεται από τους πράκτορες καθώς

δραστηριοποιούνται στην αγορά σε προσομοίωση. Οι μοναδικές απαιτήσεις για τις στρατηγικές δήλωσης τιμών τους, και των αλγορίθμων εκμάθησης που χρησιμοποιούνται, είναι ότι:

- Οι τιμές δεν γίνονται αδικαιολόγητα χαμηλές (εκτός αν υπάρχει σημαντική υπερκάλυψη) ή υψηλές (εκτός κατά τις περιόδους έλλειψης, για την αποφυγή χαμηλής απόδοσης της αγοράς και μακροπρόθεσμων αυξήσεων του κόστους), στον βαθμό που η ρυθμιστική παρέμβαση θα ήταν αναγκαία.
- Οι στρατηγικές είναι σταθερές, δηλαδή προσεγγίζεται μία κατάσταση ισορροπίας.

Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα τιμών αναπαριστούν πιθανές και όχι σίγουρες εκβάσεις.

Όσον αφορά το μοντέλο MEMO, αυτό εφαρμόζεται για την αξιολόγηση μακροοικονομικών επιπτώσεων καθώς και επιπτώσεων στην αγορά εργασίας. Υποτίθεται ότι η ένταση αναζήτησης είναι σχετικά ελαστική, δηλαδή ότι μικρές αλλαγές στους μισθούς προκαλούν την κινητοποίηση μεγάλου αριθμού εργατών στην αγορά εργασίας. Αυτό παρακινείται από την προϋπόθεση ότι η πρόσφατη κρίση και οι διαρκώς χαμηλοί μισθοί έχουν αποθαρρύνει πολλούς εργάτες να αναζητήσουν δουλειά. Στο πλαίσιο της διατριβής, υποτίθεται ότι μία αύξηση στη ζήτηση, κατόπιν μείωσης των ενεργειακών κοστών, θα μπορούσε να επαναφέρει αυτούς τους εργάτες στην αγορά εργασίας. Εάν αυτή η υπόθεση δεν ευσταθεί, η θετική επίδραση της ηλεκτρικής ενέργειας από τη διάχυση των ΑΠΕ στο ΑΕΠ και τους ρυθμούς απασχόλησης θα είναι χαμηλότερη από αυτήν που προβλέπεται από το μοντέλο, καθώς η αύξηση της παραγωγής δεν θα τροφοδοτείται πλέον από μία αύξηση των διαθέσιμων εργατών.

Για την αξιολόγηση της αβεβαιότητας που σχετίζεται με τα κόστη τεχνολογικής εγκατάστασης, πραγματοποιούνται τρεις προσομοιώσεις:

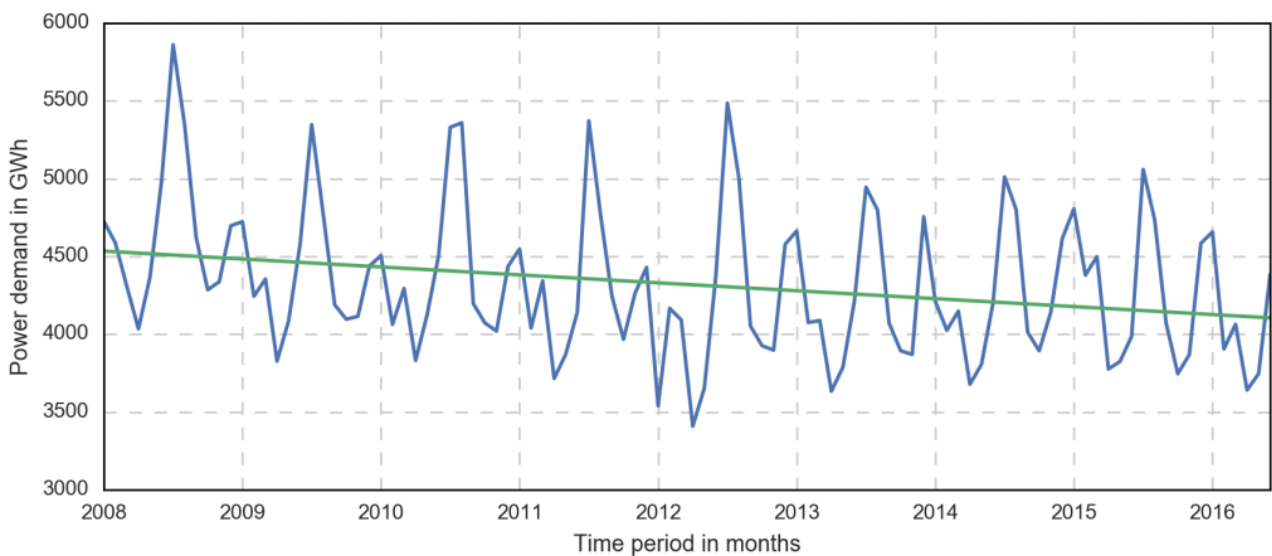
1. Πρόβλεψη 'αναμενόμενων τεχνολογικών κοστών': ορίζεται μία βάση αναφοράς για τα τεχνολογικά κόστη, όπως περιγράφεται στην [Ενότητα 8.4.2.3](#),
2. Πρόβλεψη 'χαμηλών τεχνολογικών κοστών': υποτίθεται ότι όλα τα τεχνολογικά κόστη εγκατάστασης ΑΠΕ είναι κατά 40% χαμηλότερα από τα αναμενόμενα επίπεδα,
3. Πρόβλεψη 'υψηλών τεχνολογικών κοστών': υποτίθεται ότι αυτά τα κόστη είναι κατά 40% υψηλότερα από τα αναμενόμενα επίπεδα.

8.4.2 Υποθέσεις και παράμετροι μοντελοποίησης

Εδώ, παρουσιάζονται οι υποθέσεις και οι παράμετροι των σεναρίων που προσομοιώνονται από τα μοντέλα BSAM ([Ενότητα 8.4.2.1](#)) και MEMO ([Ενότητες 8.4.2.2 - 8.4.2.3](#)).

8.4.2.1 Η προβλεπόμενη ανάπτυξη της ζήτησης ηλεκτρισμού

Για την αναπαράσταση των μελλοντικών αγοραίων συνθηκών με όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικό τρόπο, πραγματοποιούνται προβλέψεις της μελλοντικής συνολικής ζήτησης ηλεκτρισμού στην Ελλάδα. Εξαιτίας της οικονομικής ύφεσης, η ακαθάριστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει διαρκή μείωση από το 2008 κι έπειτα. Η [Εικόνα 8.5](#) παρακάτω απεικονίζει την εξέλιξη της μηνιαίας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (ηπειρωτική Ελλάδα) από το 2008 έως τα μέσα του 2016 ([HTSO, 2018](#)). Η φθίνουσα τάση αντιστοιχεί σε κλίση ίση με 1% ανά έτος.



Εικόνα 8.5 Εξέλιξη της μηνιαίας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην ηπειρωτική Ελλάδα, από το 2008 έως τα μέσα του 2016. Οι κάθετες γραμμές πλέγματος αντιστοιχούν στον Ιανουάριο κάθε χρόνου.

Χρησιμοποιήθηκε μία γραμμική τάση που ξεκινά από τα 49,200 GWh το 2016 έως τα 53,000 GWh το 2020 και τα 58,500 GWh το 2030.

8.4.2.2 Νέες εγκαταστάσεις ΑΠΕ

Οι υποθέσεις για την εγκατεστημένη ισχύ ανανεώσιμης ενέργειας παρουσιάζεται στον [Πίνακα 8.2](#). Για τα ΦΒ, συγκεκριμένα, ο λόγος των μεγάλης προς μικρής κλίμακας εγκαταστάσεων είναι 6:1, όπως το 2016.

Πίνακας 8.2 Υποθέσεις για τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ ηλιακής (ΦΒ) και αιολικής ενέργειας, για την περίοδο 2020 – 2050.

Έτος	Ισχύς ΦΒ (MW)	Ισχύς αιολικών (MW)
2016	2,443	1,987

Έτος	Ισχύς ΦΒ (MW)	Ισχύς αιολικών (MW)
2020	2,900	2,831
2025	3,900	3,675
2030	4,900	4,519
2035	5,900	5,363
2040	6,900	6,207
2045	7,900	7,051
2050	8,900	7,900

8.4.2.3 Κόστη ΑΠΕ

Για κάθε 1 MW εγκατεστημένος ισχύος (μεγάλης κλίμακας ΦΒ έργα), το ποσοστό μέσης ετήσιας ισχύος είναι 22% και η ετήσια μείωση της απόδοσης 0.5%. Επίσης, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης θεωρείται 1% του συνολικού κόστους επένδυσης κατ' έτος. Το κόστος επένδυσης είναι 1 €/W.

Για μικρά ΦΒ συστήματα επί στέγης, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης θεωρείται 2% του συνολικού κόστους επένδυσης κατ' έτος. Το ποσοστό μέσης ετήσιας ισχύος για επί στέγης ΦΒ είναι 15%, και η ετήσια μείωση της απόδοσης 0.5%. Το κόστος επένδυσης είναι 1.3 €/W.

Το κόστος κεφαλαίου για αιολικά συστήματα στην Ελλάδα είναι 1.2 €/W. Το ποσοστό μέσης ετήσιας ισχύος για διασυνδεδεμένα αιολικά πάρκα είναι 25%, ενώ τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης μπορούν να διατυπωθούν ως ποσοστό του αρχικού κεφαλαίου που επενδύεται, όπως φαίνεται στον Πίνακα 8.3.

Πίνακας 8.3 Κόστη λειτουργίας και συντήρησης ως ποσοστό του αρχικού κεφαλαίου επένδυσης για αιολικά ενεργειακά συστήματα στην Ελλάδα.

Κόστη λειτουργίας και συντήρησης	Συντελεστής
Συντήρηση ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού	2%
Συντήρηση δημοσίων έργων	0.5%
Ασφάλιση ηλεκτρομηχανικού εξοπλισμού	0.6%
Ασφάλιση δημοσίων έργων	0.6%

Ο Πίνακας 8.4 παρουσιάζει το μίγμα ηλεκτροπαραγωγής υποτίθεται για τα σενάρια του μοντέλου MEMO.

Πίνακας 8.4 Δομή του μίγματος ηλεκτροπαραγωγής στο σενάριο βάσης (baseline) του μοντέλου MEMO.

<i>Μίγμα ηλεκτροπαραγωγής υπολειμματικής ζήτησης (%)</i>			
Έτος	Λιγνίτης	Φυσικό αέριο	Υδροηλεκτρικά
2016	32	41	27
2020	25	45	30
2025	26	44	30
2030	25	42	33
2035	26	41	33
2040	28	37	35
2045	15	47	38
2050	9	53	38

8.5 Αποτελέσματα μοντελοποίησης: κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις

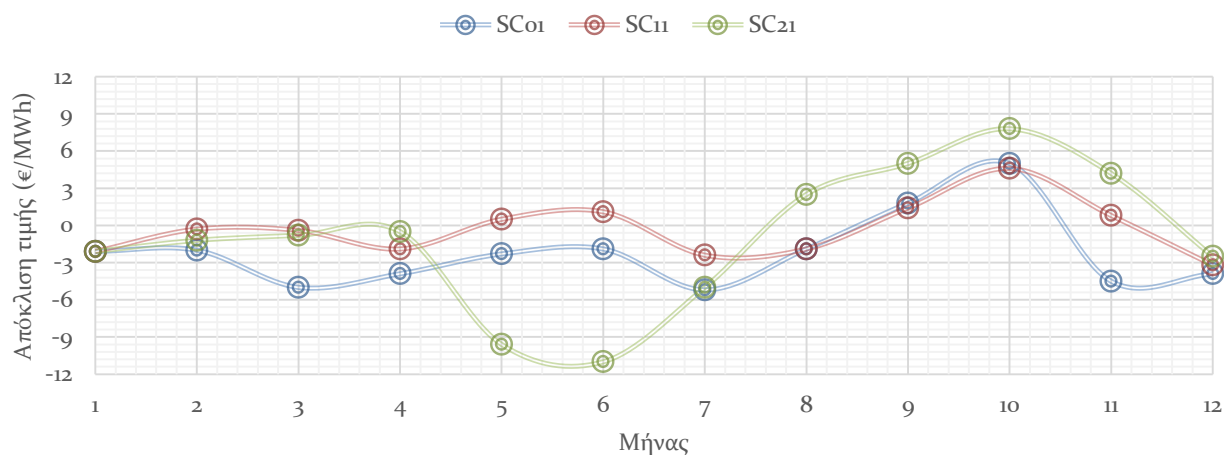
Σε αυτήν την ενότητα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μοντελοποίησης των μοντέλων BSAM και MEMO, για τις υποθέσεις και τις παραμέτρους που αναλύονται στην [Ενότητα 8.4](#). Οι οικονομικές επιπτώσεις του μέρους της ενεργειακής μετάβασης που αφορά στο prosuming (δηλαδή οι τιμές ηλεκτρισμού) διερευνώνται με το μοντέλο BSAM, ενώ οι πιθανές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις της συνολικής, βασισμένης στην ηλιακή ενέργεια μετάβασης στην οικονομική ανάπτυξη, τις επενδύσεις και την αγορά εργασίας διερευνώνται με το μοντέλο MEMO.

Για το MEMO, συγκεκριμένα, συγκρίνονται τα μακροοικονομικά αποτελέσματα υπό δύο σενάρια: το σενάριο διάχυσης των ΑΠΕ, και ένα business-as-usual (BAU) σενάριο, το οποίο υποθέτει τη διατήρηση του status quo, δηλαδή την ίδια δομή εισόδων στον ενεργειακό τομέα (επενδύσεις, χρήση πόρων και εργατικού δυναμικού ανά MWh) με σήμερα.

8.5.1 Οικονομικοί κίνδυνοι

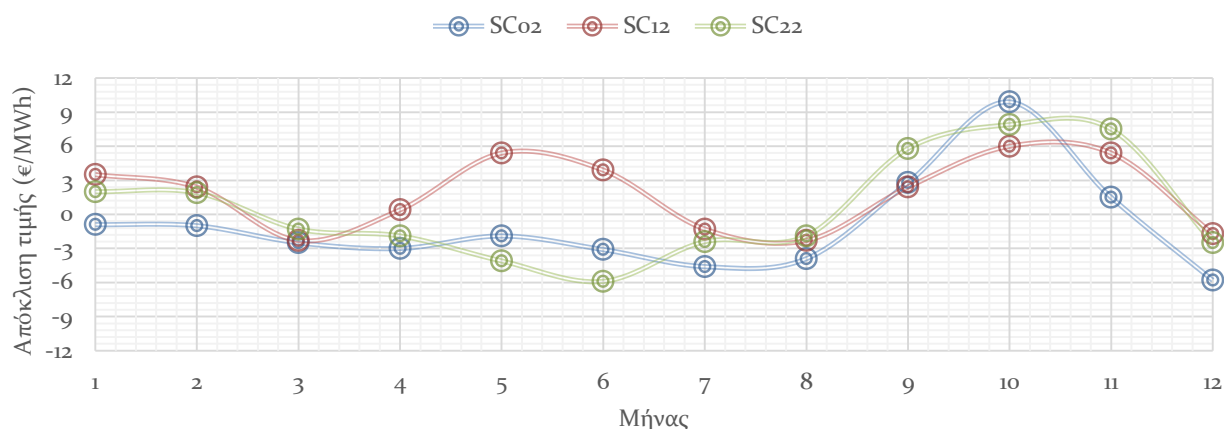
Οι [Εικόνες 8.6](#) και [8.7](#) παρουσιάζουν την απόκλιση της μέσης μηνιαίας τιμής χονδρικής του ηλεκτρισμού (€/MWh) των σεναρίων με αποθήκευση από τα σενάρια χωρίς αποθήκευση (δηλαδή SC₀₀, SC₁₀ και SC₂₀), όπως προέκυψε από το μοντέλο BSAM ([Πίνακας 8.1](#)). Η [Εικόνα 8.6](#) παρουσιάζει τις αποκλίσεις μεταξύ των περιπτώσεων αναφοράς και μεριδίου αγοράς ίσου με 5%, ενώ η [Εικόνα 8.7](#) τις αποκλίσεις μεταξύ των περιπτώσεων αναφοράς και μεριδίου αγοράς ίσου με 10%.

Μερίδιο αγοράς αποθήκευσης ενέργειας ίσο με 5%



Εικόνα 8.6 Η εκτιμώμενη επίπτωση της αποθήκευσης ηλεκτρισμού στις τιμές χονδρικής ηλεκτρισμού για μερίδιο αγοράς της αποθήκευσης ενέργειας ίσο με 5% (SC01, SC11 and SC21).

Μερίδιο αγοράς αποθήκευσης ενέργειας ίσο με 10%



Εικόνα 8.7 Η εκτιμώμενη επίπτωση της αποθήκευσης ηλεκτρισμού στις τιμές χονδρικής ηλεκτρισμού για μερίδιο αγοράς της αποθήκευσης ενέργειας ίσο με 10% (SC02, SC12 and SC22).

Στη βιβλιογραφία, πολλές μελέτες αναγνωρίζουν ότι τα σχήματα αυτοκατανάλωσης γίνονται ολοένα και πιο ελκυστικά στους ιδιοκτήτες σπιτιού, λόγω της δυνατότητας αύξησης των ενεργειακών εξοικονομήσεων και μείωσης των λογαριασμών, καθώς και ότι οι προτιμήσεις για αυτοκατανάλωση με αποθήκευση ενέργειας οφείλει στο μέλλον να επιδοτείται σημαντικά (Camilo et al., 2017). Ωστόσο, υπάρχουν και μελέτες που αναγνωρίζουν ότι η απόδοση των επενδύσεων σε τέτοια σχήματα υποστήριξης σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με την περιορισμένη δυνατότητα πρόβλεψης των τιμών λιανικής της ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αβεβαιότητα (Nikolaidis et al., 2015).

Εάν υποθεθεί ότι αυξάνοντας την αυτοκατανάλωση μειώνεται η τιμή χονδρικής και, επομένως, ότι τα μέτρα για την υποστήριξη/επιδότηση της αυτοκατανάλωσης αντισταθμίζονται από τις αντίστοιχες μειώσεις στην τιμή, γίνεται εμφανές ότι η επιδίωξη της βελτιστοποίησης της αυτοκατανάλωσης δεν είναι απαραίτητα πάντα επωφελής. Ένας μηχανισμός υποστήριξης της αυτοκατανάλωσης ευνοεί τους prosumers, καθώς αυτοί δύνανται να αντισταθμίσουν την ενέργεια που παράγεται από ΦΒ με την ενέργεια που καταναλώνεται σε διαφορετικές ώρες, παρακάμπτοντας έτσι τον ρόλο του δικτύου, για τις υπηρεσίες, τη συντήρηση και την ανάπτυξη του οποίου πληρώνουν όλοι οι καταναλωτές (Chatzisideris et al., 2017).

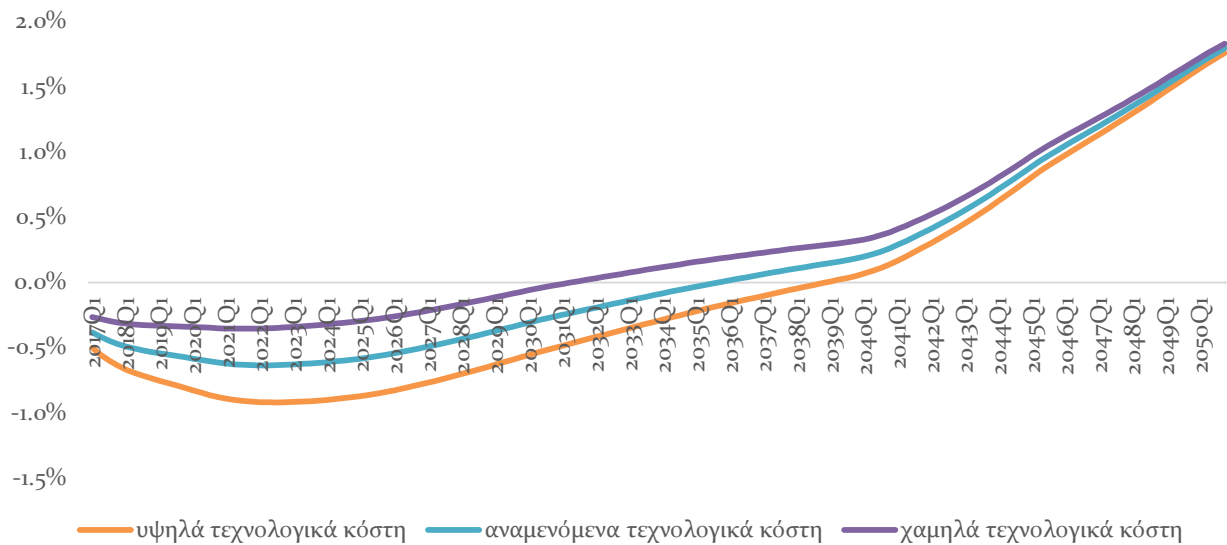
Το μοντέλο BSAM δείχνει ότι το τελευταίο, μαζί με την περιορισμένη ευελιξία του υφιστάμενου ελληνικού ενεργειακού συστήματος, θα μπορούσαν να εξαναγκάσουν τους παραγωγούς ενέργειας να δηλώνουν υψηλότερες τιμές για την εγκατεστημένη ισχύ τους, οδηγώντας σε αυξήσεις στις τιμές λιανικής της ηλεκτρικής ενέργειας. Η αύξηση της αυτοκατανάλωσης θα αυξήσει, τουλάχιστον για κάποιους μήνες του χρόνου, την τιμή που όλοι οι υπόλοιποι καταναλωτές πληρώνουν για την ηλεκτρική ενέργεια, έτσι ώστε οι παραγωγοί να αντισταθμίσουν τις απώλειες των κερδών τους. Αυτά τα ευρήματα επαληθεύουν αντίστοιχες προτάσεις στη βιβλιογραφία (Azarova et al., 2018· Rubino, 2018) και υποδηλώνουν μία πιθανή αρνητική συνέπεια της υπό μελέτη ενεργειακής μετάβασης που πρέπει να ενσωματώνεται ή να λαμβάνεται υπόψιν από οποιαδήποτε πολιτική αποσκοπεί στην υποστήριξη της αυτοκατανάλωσης στην Ελλάδα.

Ωστόσο, δεδομένου ότι τα συγκεκριμένα αποτελέσματα προκύπτουν από τη δυνατότητα συντονισμού των μικρής κλίμακας ΦΒ και της αποθήκευσης ενέργειας με μόνο στόχο την αύξηση της αυτοκατανάλωσης, συμπεραίνεται ότι η εστίαση αποκλειστικά στην υποστήριξη της αυτοκατανάλωσης αποτελεί μία στρατηγική υποβέλτιστη—τουλάχιστον, εάν το βέλτιστο αντιστοιχεί στη μείωση των τιμών που οι καταναλωτές χωρίς αυτοκατανάλωση πρέπει να πληρώσουν. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, η διαμόρφωση πολιτικής θα πρέπει να κινητοποιεί τους ιδιοκτήτες να επενδύσουν στην αυτοκατανάλωση με μέτρα που έχουν ευρύτερη εικόνα της κατάστασης του συστήματος. Τέτοια μέτρα περιλαμβάνουν την υποστήριξη της ευφυούς αυτοκατανάλωσης, δηλαδή της αυτοκατανάλωσης που ενεργοποιείται με βάση τις ανάγκες του ενεργειακού συστήματος καθώς και με βάση τις τάσεις των τιμών. Τα μίγματα μέτρων πολιτικής για την υποστήριξη της αυτοκατανάλωσης του ηλεκτρισμού που παράγεται από ΦΒ οφείλουν να εστιάζουν στην αύξηση της κερδοφορίας και της οικονομικής ελκυστικότητας για τους καταναλωτές. Βιώσιμες πρακτικές σε αυτήν την κατεύθυνση μπορούν να προκύψουν από την παραμετροποίηση της άμεσης υποστήριξης των επενδύσεων σε ΦΒ, της αποθήκευσης ηλεκτρισμού και της αυτοκατανάλωσης· της τιμής αγοράς (και της φορολόγησης) του ηλεκτρισμού που τροφοδοτείται στο δίκτυο· και των τελών δικτύου ενέργειας. Ωστόσο, υπάρχει μία διαρκής ανάγκη συμπλήρωσης τέτοιων μέτρων με τις αναγκαίες υποδομές και ρυθμίσεις για τον έλεγχο και την διεύθυνση της κατανεμημένης παραγωγής με βάση τις ανάγκες του ενεργειακού συστήματος.

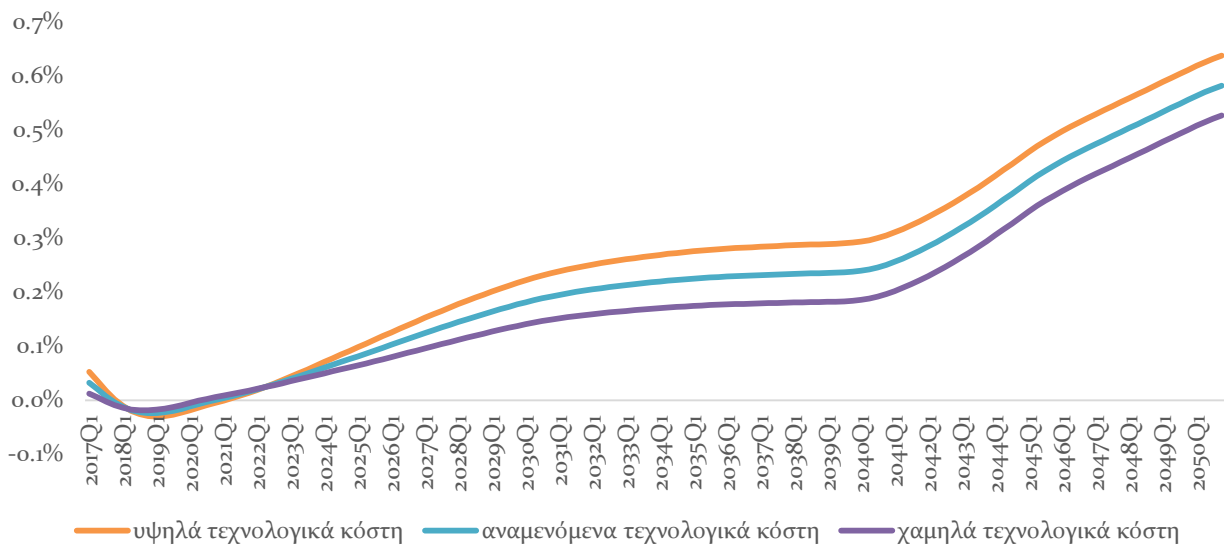
Τέλος, αναμένοντας σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις στην αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας τα προσεχή χρόνια (Camilo et al., 2017), γίνεται εμφανές ότι η επένδυση σε έναν μηχανισμό αυτοκατανάλωσης με αποθήκευση στην Ελλάδα οφείλει να αξιολογηθεί παράλληλα με τις αναμενόμενες μειώσεις στα κόστη για την αποθήκευση, καθώς και με την ανάγκη η αυτοκατανάλωση ηλεκτρισμού από ΦΒ να εξισορροπήσει τη συχνότητα και το πλάτος των γεγονότων αιχμής που καταπονούν το δίκτυο διανομής (Diouf and Pode, 2015· Kyriakopoulos and Arabatzis, 2016). Επομένως, είναι απαραίτητο η χάραξη πολιτικής να εστιάσει σε νέα επιχειρηματικά μοντέλα που θα μεταφράζουν χρηματικά την αξία της αυτοκατανάλωσης με αποθήκευση, και σε νέα ρυθμιστικά πλαίσια που θα προβλέπουν κατάλληλες τεχνολογικές επιχορηγήσεις καθώς και επιδοτήσεις στους διαχειριστές, επιτρέποντας τη δίκαιη κατανομή των οφελών σε όλους τους φορείς του συστήματος.

Επίσης, τα αποτελέσματα από το μοντέλο MEMO συνιστούν ότι, σε όλα τα σενάρια που εξετάζονται, οι επιδράσεις της ανάπτυξης των ΑΠΕ στην ελληνική οικονομία γίνονται θετικές έως το 2040 (Εικόνες 8.8 – 8.9). Οι προβλέψεις συνιστούν ότι, το 2050, η ελληνική οικονομία θα είναι κατά 1.8% μεγαλύτερη στο σενάριο των ΑΠΕ από ό,τι στο σενάριο BAU. Η προσομοίωση αναφοράς δείχνει ότι το μέγεθος των απωλειών σε ΑΕΠ για την ελληνική οικονομία δεν ξεπερνάει ποτέ το 0.6%, παρά μόνο στο σενάριο υψηλών τεχνολογικών κοστών (όπου αγγίζει το 1% πριν μηδενιστεί και εν τέλει οδηγήσει σε κέρδη). Σε οποιαδήποτε περίπτωση, οι συνολικές οικονομικές επιπτώσεις μίας ευρείας διάχυσης της ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα υπολογίζονται θετικές. Αυτό από μόνο του αποτελεί ένα πολύ κρίσιμο εύρημα, το οποίο επί της ουσίας συνιστά ότι μία βασισμένη στην ηλιακή ενέργεια πράσινη μετάβαση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος μπορεί να βοηθήσει στην επιτάχυνση της οικονομικής ανάκαμψης της χώρας.

Μακροπρόθεσμα, οι οικονομικοί τομείς που εμπλέκονται στην παραγωγή αγαθών επένδυσης θα τροφοδοτηθούν από τις εργασιακές εισροές (συμπεριλαμβανομένων των εργατών που απελευθερώνονται από τον τομέα εξόρυξης λιγνίτη) και τις κεφαλαιακές ροές, οδηγώντας σε μεγαλύτερη προσφορά επενδυτικών αγαθών. Επιπρόσθετα, οι παραγωγικοί συντελεστές που απελευθερώνονται από τον τομέα εξόρυξης θα απασχολούνται σε άλλους, πλέον παραγωγικούς τομείς της οικονομίας. Αυτές οι επιπτώσεις θα οδηγήσουν σε οικονομική ανάκαμψη.



Εικόνα 8.8 Επίδραση της ανάπτυξης των ΑΠΕ στο ΑΕΠ της χώρας (ως απόκλιση επί του σεναρίου BAU).

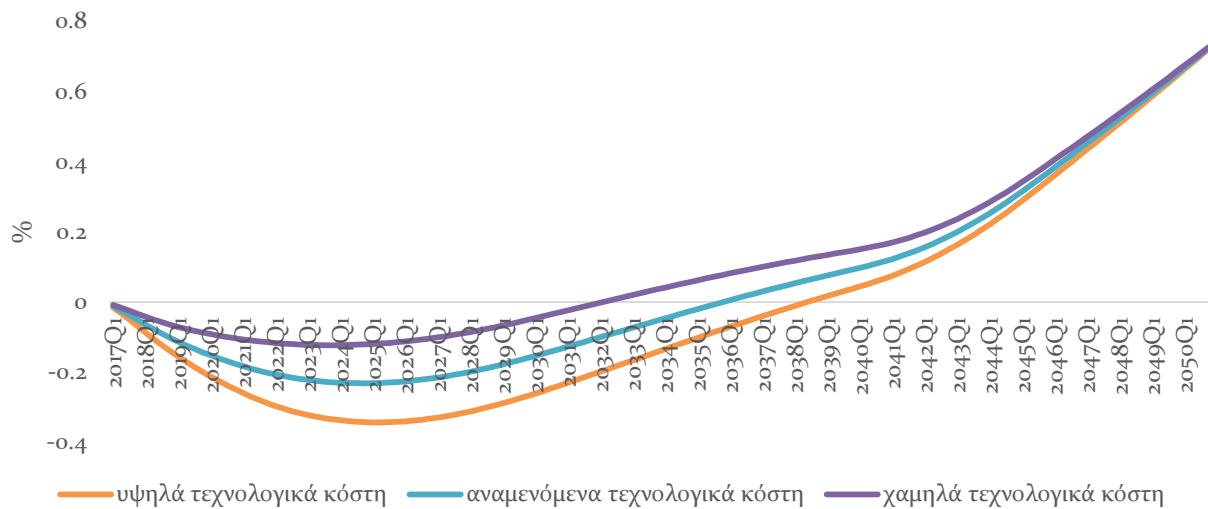


Εικόνα 8.9 Επίδραση της ανάπτυξης των ΑΠΕ στις επενδύσεις στην χώρα (ως απόκλιση επί του σεναρίου BAU).

8.5.2 Κοινωνικοί κίνδυνοι

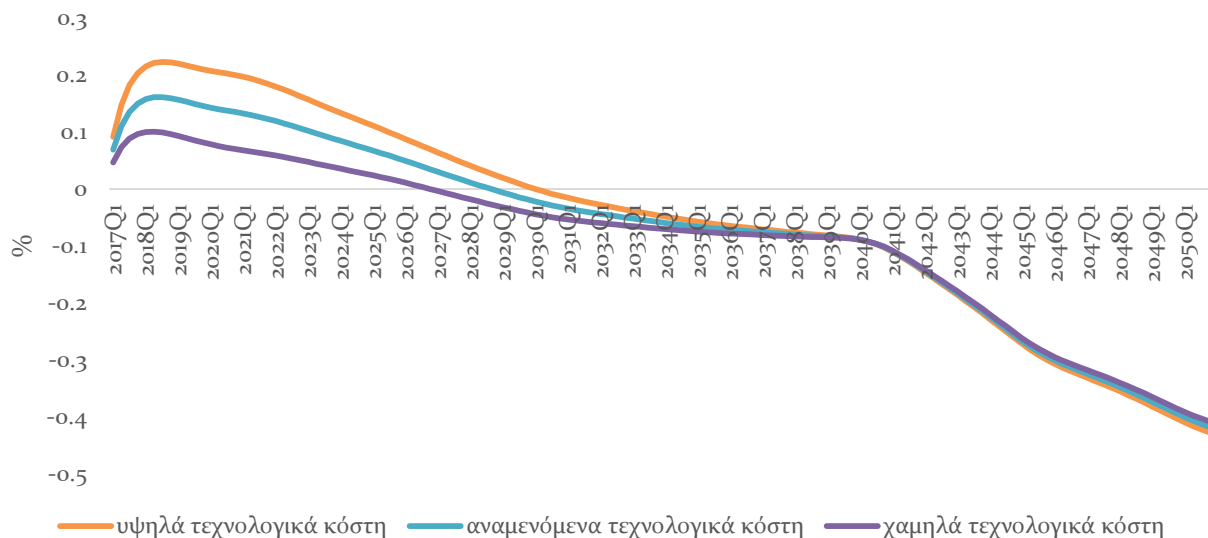
Αναφορικά με την κοινωνική διάσταση, τα αποτελέσματα του ΜΕΜΟ συνιστούν ότι υψηλότεροι μισθοί και καλύτερα ποσοστά εύρεσης εργασίας ενθαρρύνουν εκείνους που δεν αναζητούν ενεργά επαγγελματική αποκατάσταση (π.χ. ανθρώπους ανενεργούς από την αγορά εργασίας, κλπ.) να ξεκινήσουν την αναζήτηση και εν τέλει να εισαχθούν στην αγορά. Έτσι, το ποσοστό δραστηριότητας (δηλαδή το ποσοστό του πληθυσμού που συμμετέχει στην αγορά εργασίας, είτε έχοντας είτε

αναζητώντας θέση εργασίας) αυξάνεται (Εικόνα 8.10). Η διαθεσιμότητα επιπρόσθετου δυναμικού θα αποτελέσει ένα επιπλέον καύσιμο για την άνθιση της παραγωγής.



Εικόνα 8.10 Επίδραση της ανάπτυξης των ΑΠΕ στη δραστηριότητα των πολιτών της χώρας (ως απόκλιση επί του σεναρίου BAU).

Επίσης, μία αύξηση στη ζήτηση αγαθών συνεπάγεται υψηλότερα πραγματικά κέρδη για τις επιχειρήσεις, αύξηση των πραγματικών μισθών, αύξηση του αριθμού των θέσεων εργασίας σε αυτές τις επιχειρήσεις και υψηλότερες πιθανότητες εύρεσης εργασίας για τους ανέργους (Εικόνα 8.11).



Εικόνα 8.11 Επίδραση της ανάπτυξης των ΑΠΕ στα ποσοστά ανεργίας της χώρας (ως απόκλιση επί του σεναρίου BAU).

Είναι εμφανές ότι ένα καθεστώς αυτοκατανάλωσης που βασίζεται σε ευρεία διάχυση των ΑΠΕ περιλαμβάνει μικρότερες απαιτήσεις για την κατανάλωση άνθρακα και μία αυξημένη ζήτηση για επενδυτικά αγαθά. Δεδομένου ότι δεν αλλάζουν απευθείας οικονομικό τομέα απασχόλησης (π.χ. σε κατασκευαστικούς τομείς) όλοι οι εργάτες που δραστηριοποιούνται στην εξόρυξη και χάνουν τη δουλειά τους, και ότι η καμπύλη προσφοράς των αγαθών που απαιτούνται για επενδύσεις είναι σχετικά ανελαστική βραχυπρόθεσμα, οι επενδύσεις στις ΑΠΕ θα οδηγήσουν σε μία αύξηση των τιμών των επενδυτικών αγαθών (σ.σ. αγαθών κεφαλαίου) και, επομένως, θα καθυστερήσουν τη συσσώρευση κεφαλαίου σε άλλους οικονομικούς τομείς. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα μία πρόσκαιρη μείωση της παραγωγικότητας εργασίας. Το μέγεθος και η διάρκεια της προβλεπόμενης μείωσης του ΑΕΠ εξαρτάται στο μέγεθος των επενδύσεων που απαιτούνται για εγκαταστάσεις ΑΠΕ, οι οποίες προσδιορίζονται από τα αντίστοιχα τεχνολογικά κόστη.

8.6 Συμπεράσματα και προοπτικές

Οι μεταβάσεις σε κοινωνίες και οικονομίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα συνδέονται με πολυάριθμες αβεβαιότητες που δύνανται να επιτρέψουν σε πλήθος εμποδίων να εμφανιστούν και πιθανών αρνητικών επιπτώσεων αυτών των μεταβάσεων να εκδηλωθούν. Σε αυτό το κεφάλαιο, επιχειρήθηκε η ποσοτικοποίηση τέτοιων κινδύνων υλοποίησης και επιπτώσεων που σχετίζονται με μία πράσινη μετάβαση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος, η οποία βασίζεται στην ευρείας κλίμακας διάχυση της ηλιακής ενέργειας, συνδυασμένη με αυτοκατανάλωση που υποστηρίζεται από μικρής κλίμακας (τοπική) αποθήκευση ενέργειας και ευελιξία ζήτησης. Η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε είναι διεπιστημονική, από την άποψη ότι η ερώτηση της έρευνας—«ποιοι κίνδυνοι πρέπει να διερευνηθούν;»—επί της ουσίας διαμορφώθηκε από τους 14 συμμετέχοντες εμπειρογνώμονες. Βάσει ενός δομημένου πλαισίου ΑΓΧ, οι εμπειρογνώμονες κατέδειξαν πολυάριθμους κινδύνους που σχετίζονται με την οραματισθείσα ενεργειακή μετάβαση. Οι κίνδυνοι υλοποίησης περιλάμβαναν τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις μίας πιθανώς συνεχιζόμενης ύφεσης, την περιορισμένη κοινωνική αποδοχή των ΑΠΕ, τις αστάθειες του ρυθμιστικού πλαισίου, τα υψηλά τεχνολογικά κόστη, και τον δυσμενή πολιτικό προσανατολισμό με τις επακόλουθες τεχνολογικές δεσμεύσεις. Οι σημαντικότερες αρνητικές επιπτώσεις, από την άλλη, εστιάζονταν κυρίως στα υψηλά κόστη ηλεκτρισμού για τους καταναλωτές, την αργή μακροπρόθεσμη οικονομική ανάπτυξη, τις μειωμένες επενδύσεις, την ανεργία, και πιθανά δημοσιονομικά προβλήματα. Μεταφράζοντας τους κινδύνους υλοποίησης και παρακώλυσης σε υποθέσεις και παραμέτρους σεναρίων, και με βάση ένα μοντελικό σύνολο αποτελούμενο από ένα μοντέλο αποτίμησης/αξιολόγησης της επιχειρηματικής στρατηγικής και ένα δυναμικό στοχαστικό μοντέλο γενικής ισορροπίας κλίματος-οικονομίας, αξιολογήθηκαν οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις της μετάβασης.

Τα αποτελέσματα του BSAM έδειξαν ότι η βελτιστοποίηση της αυτοκατανάλωσης δεν είναι πάντα επωφελής: η περιορισμένη ευελιξία του ενεργειακού συστήματος δύναται να επιτρέψει στους παραγωγούς ενέργειας να δηλώνουν υψηλότερες τιμές για την εγκατεστημένη ισχύ που προσφέρουν στο σύστημα ώστε να αντισταθμίζουν τις απώλειες των κερδών τους εξαιτίας της αυτοκατανάλωσης. Το τελευταίο καταδεικνύει μία πιθανή αρνητική συνέπεια που πρέπει να θεωρείται από οποιαδήποτε προσπάθεια χάραξης πολιτικής που αποσκοπεί στην υποστήριξη της αυτοκατανάλωσης στην Ελλάδα. Ωστόσο, η επένδυση σε ένα σχήμα αυτοκατανάλωσης με αποθήκευση ενέργειας στην Ελλάδα θα πρέπει να αξιολογηθεί παράλληλα με τα αναμενόμενα ολοένα και χαμηλότερα κόστη για αποθήκευση ηλεκτρισμού, ως απόρροια των τεχνολογικών εξελίξεων στο άμεσο μέλλον. Ως εκ τούτου, η αποτελεσματική χάραξη πολιτικής θα εστιάζει σε νέα επιχειρηματικά μοντέλα που μπορούν να μεταφράσουν σε οικονομικούς όρους την αξία της αυτοκατανάλωσης ενέργειας που παράγεται από ΦΒ με αποθήκευση, καθώς και ρυθμιστικά πλαίσια που θα εξασφαλίσουν δίκαια διανεμητικά αποτελέσματα στην κοινωνία, τόσο για τους καταναλωτές (με και χωρίς αυτοκατανάλωση) όσο και για τους παραγωγούς. Τα αποτελέσματα του μοντέλου MEMO, από την άλλη, συνιστούν ότι η ευρεία ανάπτυξη των ΦΒ στη χώρα θα έχει εν τέλει θετικές επιδράσεις στη μακροπρόθεσμη οικονομική ανάπτυξη, ανεξαρτήτως του επιπέδου των τεχνολογικών κοστών που υποτίθενται, καθώς και στα ποσοστά απασχόλησης και τις επενδύσεις. Ωστόσο, το μοντέλο MEMO προέβλεψε επίσης και μία προσωρινή μείωση του ΑΕΠ και της παραγωγικότητας εργασίας, το μέγεθος και η διάρκεια της οποίας θα εξαρτηθεί σημαντικά από το μέγεθος των επενδύσεων που απαιτούνται για εγκαταστάσεις ΑΠΕ, κάτι που επίσης επισημάνθηκε και από τους εμπειρογνώμονες. Και οι δύο διεργασίες μοντελοποίησης συνιστούν ότι η ενεργειακή μετάβαση θα πρέπει να κινητοποιηθεί λαμβάνοντας υπόψιν άλλους παράγοντες, όπως την ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων και την αύξηση της κερδοφορίας και της οικονομικής ελκυστικότητας για τους καταναλωτές.

Τα αποτελέσματα αυτά, ωστόσο, οφείλουν να αξιοποιηθούν παράλληλα με τις υποθέσεις (δηλαδή τους ενδεικτικούς στόχους που υποτίθενται) και τους περιορισμούς οποιασδήποτε δραστηριότητας μοντελοποίησης. Για παράδειγμα, η επίλυση του προβλήματος δέσμευσης μονάδας αποτελεί έναν τυπικό περιορισμό των μοντέλων προσομοίωσης της χονδρικής αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Το BSAM για την ώρα χρησιμοποιεί έναν ευρετικό αλγόριθμο, βασισμένο σε μία προχωρημένη λίστα προτεραιοποίησης των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής· εναλλακτικές προσεγγίσεις (π.χ. αλγόριθμοι υβριδικής ενσωμάτωσης) μπορούν να διερευνηθούν για να αντιμετωπίσουν μοντελικές αβεβαιότητες και να καταστήσουν το BSAM πιο εύρωστο σε όρους καταγραφής τεχνολογικών πτυχών του ενεργειακού συστήματος. Το MEMO, από την άλλη πλευρά, δεν λαμβάνει υπόψη την ακαμψία των μισθών σε τομεακό επίπεδο, καθώς οι μισθοί μπορούν ελεύθερα να προσαρμόζονται σε οποιαδήποτε αλλαγή στη ζήτηση. Για παράδειγμα, μία μείωση της ζήτησης για εργατικό δυναμικό στον λιγνιτικό τομέα θα προκαλέσει σημαντική μείωση των μισθών τους, με σημαντικές επιπτώσεις για τις δυναμικές της ανεργίας. Επίσης, το MEMO δεν λαμβάνει υπόψιν πιθανά εμπόδια εισόδου των εγχώριων εταιρειών στην αγορά τεχνολογιών ΑΠΕ, ή την επίδραση των δομικών αλλαγών στην κατεύθυνση προσπαθειών

E&A και των επιπτώσεών τους στην οικονομική ανάπτυξη. Τέλος, αντίθετα από το BSAM, το μοντέλο MEMO δεν λαμβάνει υπόψιν τους περιορισμούς του δικτύου που σχετίζονται με το εθνικό πλαίσιο· ωστόσο, οποιαδήποτε μετάβαση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος θα πρέπει να αξιολογείται ταυτόχρονα με τις δυνατότητες των υφιστάμενων υποδομών του δικτύου να υποστηρίξουν τα επίπεδα διείσδυσης ηλιακής ενέργειας, με τη δυνατότητα επίτευξης των στόχων ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα χωρίς τη διασύνδεση με το κύριο δίκτυο (της ηπειρωτικής χώρας) των διασυνδεδεμένων νησιών (του Αιγαίου), και με τις δυνατότητες εξαγωγών που διαθέτει το κύριο δίκτυο της χώρας, δηλαδή τριών σημαντικών παραγόντων που αναπαριστούν επιπρόσθετα εμπόδια ή/και κόστη αυτής της μετάβασης. Παρόμοια σημείωση μπορεί να γίνει και για τους ΑΓΧ: παρά την συνεισφορά τους στην κατάδειξη των κινδύνων που σχετίζονται με την οραματισθείσα μετάβαση, η μη ποσοτική φύση τους πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης· επίσης, η διάσταση του χρόνου, αντίθετα από τις δυνατότητες του εργαλείου που αναπτύχθηκε και παρουσιάστηκε στο [Κεφάλαιο 6](#) (π.χ. [Nikas et al., 2018](#)), δεν λήφθηκε υπόψη στο παρόν κεφάλαιο.

Τέλος, ορισμένες μελέτες στη βιβλιογραφία έχουν καταπιαστεί με τις επιπτώσεις των χαρακτηριστικών της χονδρικής αγοράς ηλεκτρισμού στην αξία των διασυνδεδεμένων ΦΒ συστημάτων, αναγνωρίζοντας ότι το αγοραίο προφίλ μπορεί κατ' επέκταση να επηρεάσει το κόστος της λιανικής προσφοράς ηλεκτρισμού και, επομένως, την αξία των μηχανισμών υποστήριξης ([Nikolaidis et al., 2015](#)). Σε αυτήν την κατεύθυνση, το BSAM δύναται μελλοντικά να συνδεθεί με μοντέλα που προσομοιώνουν τη δυναμική της υιοθέτησης μικρής κλίμακας ΦΒ συστημάτων από τους καταναλωτές, διερευνώντας τον τρόπο με τον οποίο το μίγμα των ορυκτών καυσίμων και οι στρατηγικές τιμολόγησης των υπηρεσιών ηλεκτρισμού δύνανται να επηρεάσουν την κοστολόγηση του ηλεκτρισμού και τις οικονομικές αποδόσεις των επενδύσεων σε μικρά ΦΒ. Επιπλέον, μπορεί να διασυνδεθεί με ένα μοντέλο απόκρισης ζήτησης που υποστηρίζει την αξιολόγηση των δυνατοτήτων και περιορισμών της ευελιξίας ζήτησης, για να αξιολογήσει τις αναμενόμενες επιπτώσεις αυτών στην ελληνική ενεργειακή αγορά. Κάτι τέτοιο θα επιτρέψει την διερεύνηση των αντισταθμίσεων μεταξύ μίας μετάβασης που βασίζεται πρωτίστως σε μεγάλης κλίμακας ΑΠΕ και μίας που βασίζεται σε μικρής κλίμακας, αποκεντρωμένη ηλεκτροπαραγωγή.

8.7 Βιβλιογραφία

Anagnostopoulos, P., Spyridaki, N. A., & Flamos, A. (2017). A “New-Deal” for the Development of Photovoltaic Investments in Greece? A Parametric Techno-Economic Assessment. *Energies*, 10(8), 1173.

Antosiewicz, M., & Kowal, P. (2016). *Memo III—A Large Scale Multi-Sector DSGE Model*. IBS: Warszawa, Poland.

- Azarova, V., Engel, D., Ferner, C., Kollmann, A., & Reichl, J. (2018). Exploring the impact of network tariffs on household electricity expenditures using load profiles and socio-economic characteristics. *Nature Energy*, 3, 317.
- Camilo, F. M., Castro, R., Almeida, M. E., & Pires, V. F. (2017). Economic assessment of residential PV systems with self-consumption and storage in Portugal. *Solar Energy*, 150, 353-362.
- Chappin, E. J., & Afman, M. R. (2013). An agent-based model of transitions in consumer lighting: Policy impacts from the EU phase-out of incandescents. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 7, 16-36.
- Chatzisideris, M. D., Laurent, A., Christoforidis, G. C., & Krebs, F. C. (2017). Cost-competitiveness of organic photovoltaics for electricity self-consumption at residential buildings: A comparative study of Denmark and Greece under real market conditions. *Applied Energy*, 208, 471-479.
- Cotton, M., & Devine-Wright, P. (2012). Making electricity networks “visible”: Industry actor representations of “publics” and public engagement in infrastructure planning. *Public understanding of science*, 21(1), 17-35.
- Daim, T. U., Li, X., Kim, J., & Simms, S. (2012). Evaluation of energy storage technologies for integration with renewable electricity: Quantifying expert opinions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 3, 29-49.
- Darby, S. J., & McKenna, E. (2012). Social implications of residential demand response in cool temperate climates. *Energy Policy*, 49, 759-769.
- Diouf, B., & Podes, R. (2015). Potential of lithium-ion batteries in renewable energy. *Renewable Energy*, 76, 375-380.
- Doukas, H., Karakosta, C., Flamos, A., & Psarras, J. (2014). Foresight for energy policy: techniques and methods employed in Greece. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 9(2), 109-119.
- Doukas, H., Nikas, A., González-Eguino, M., Arto, I., & Anger-Kraavi, A. (2018). From Integrated to Integrative: Delivering on the Paris Agreement. *Sustainability*, 10(7), 2299.
- Ehnert, F., Kern, F., Borgström, S., Gorissen, L., Maschmeyer, S., & Egermann, M. (2018). Urban sustainability transitions in a context of multi-level governance: A comparison of four European states. *Environmental innovation and societal transitions*, 26, 101-116.
- European Photovoltaic Industry Association. (2012). *Connecting the Sun: Solar photovoltaics on the road to large-scale grid integration*. Brussels, Belgium.
- European Photovoltaic Industry Association. (2013). *Self Consumption of PV Electricity*. Brussels, Belgium.
- Eyre, N., Darby, S. J., Grünewald, P., McKenna, E., & Ford, R. (2018). Reaching a 1.5° C target: socio-technical challenges for a rapid transition to low-carbon electricity systems. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 376(2119), 20160462.
- Flamos, A. (2016). A Sectoral Micro-Economic Approach to Scenario Selection and Development: The Case of the Greek Power Sector. *Energies*, 9(2), 77.

- Forouli, A., Doukas, H., Nikas, A., Sampedro, J., & Van de Ven, D.J. (2019). Identifying optimal technological R&D portfolios for European power generation towards climate change mitigation: a robust portfolio analysis approach. *Utilities Policy*, in press.
- Frantzeskaki, N., & Rok, A. (2018). Co-producing urban sustainability transitions knowledge with community, policy and science. *Environmental Innovation and Societal Transitions*.
- Geels, F. W., Berkhout, F., & van Vuuren, D. P. (2016). Bridging analytical approaches for low-carbon transitions. *Nature Climate Change*, 6(6), 576.
- Hanger-Kopp, S., Nikas, A., Lieu, J. (2019). Framing risk and uncertainty associated with low-carbon pathways. In Hanger-Kopp, S. J. Lieu, and A. Nikas (eds.). *Narratives of low-carbon transitions: Understanding risks and uncertainties*. Routledge, Abingdon.
- HELAPCO (2018). Statistics for the photovoltaics market for 2017. Hellenic Association of Photovoltaic Companies (in Greek). Available at: http://helapco.gr/wp-content/uploads/pv-stats_greece_2017_11July2018.pdf.
- HTSO (2018). System Load (SCADA). Hellenic Transmission System Operator. Datasets available at: <http://www.desmie.gr/en/operations-data/system-operation/real-time-data/reports/system-load-scada/>.
- Kaplanoglou, G. and Rapanos, V.T. (2018). Evolutions in consumption inequality and poverty in Greece: The impact of the crisis and austerity policies. *Review of Income and Wealth*, 64(1), pp.105-126.
- Kyriakopoulos, G. L., & Arabatzis, G. (2016). Electrical energy storage systems in electricity generation: energy policies, innovative technologies, and regulatory regimes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 1044-1067.
- Li, F. G., & Strachan, N. (2017). Modelling energy transitions for climate targets under landscape and actor inertia. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 24, 106-129.
- McGregor, S. (2004). *The Nature of Transdisciplinary Research and Practice*. Peace and Conflict Studies Program, Mount Saint Vincent University, Halifax. Available at: <https://www.kon.org/hswp/archive/transdiscipl.pdf>
- Metz, D., & Saraiva, J. T. (2015, May). Evaluation of the impact of storage systems on grid electricity demand in the German context. In *European Energy Market (EEM), 2015 12th International Conference on the* (pp. 1-5). IEEE.
- Michas, S., Stavrakas, V., Spyridaki, N. A., & Flamos, A. (2018). Identifying Research Priorities for the further development and deployment of Solar Photovoltaics. *International Journal of Sustainable Energy*, 1-21.
- Miller, C. A., Richter, J., & O'Leary, J. (2015). Socio-energy systems design: a policy framework for energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 6, 29-40.
- Nikas, A. Gkonis, N., Forouli, A., Siskos, E., Arsenopoulos, A., Papapostolou, A., Kanellou, E., Karakosta, C., & Doukas, H. (2019a). Greece: From near-term actions to long-term pathways: risks and uncertainties associated with the national energy efficiency framework. In Hanger-Kopp, S. J. Lieu, and A. Nikas (eds.). *Narratives of low-carbon transitions: Understanding risks and uncertainties*. Routledge, Abingdon.

- Nikas, A., & Doukas, H. (2016). Developing robust climate policies: a fuzzy cognitive map approach. In *Robustness Analysis in Decision Aiding, Optimization, and Analytics* (pp. 239-263). Springer, Cham.
- Nikas, A., Doukas, H., van der Gaast, W., & Szendrei, K. (2018). Expert views on low-carbon transition strategies for the Dutch solar sector: A delay-based fuzzy cognitive mapping approach. *IFAC-PapersOnLine* 51(30), pp. 715-720.
- Nikas, A., Ntanos, E., & Doukas, H. (2019b). A semi-quantitative modelling application for assessing energy efficiency strategies. *Applied Soft Computing*, 76, 140-155.
- Nikolaidis, A. I., Milidonis, A., & Charalambous, C. A. (2015). Impact of fuel-dependent electricity retail charges on the value of net-metered PV applications in vertically integrated systems. *Energy Policy*, 79, 150-160.
- Nykqvist, B., Nilsson, M., 2015. Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nat. Clim. Chang.* 5, 329-332. <https://doi.org/10.1038/nclimate2564>
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D.P., Birkmann, J., Kok, K., & Levy, M. (2017). The roads ahead: narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169-180.
- Olkkonen, L., Korjonen-Kuusipuro, K., & Grönberg, I. (2017). Redefining a stakeholder relation: Finnish energy “prosumers” as co-producers. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 24, 57-66.
- Papadelis, S., Flamos, A., & Androulaki, S. (2012). Setting the framework for a business strategy assessment model. *International Journal of Energy Sector Management*, 6(4), 488-517.
- Papadelis, S., Stavrakas, V., & Flamos, A. (2016). What do capacity deployment rates tell us about the efficiency of electricity generation from renewable energy sources support measures in Greece?. *Energies*, 9(1), 38.
- Papoulis, D., Kaika, D., Bampatsou, C. and Zervas, E. (2015). Public Perception of Climate Change in a Period of Economic Crisis. *Climate*, 3(3), pp.715-726.
- Quoilin, S., Kavvadias, K., Mercier, A., Pappone, I., & Zucker, A. (2016). Quantifying self-consumption linked to solar home battery systems: Statistical analysis and economic assessment. *Applied Energy*, 182, 58-67.
- Ramírez, F. J., Honrubia-Escribano, A., Gómez-Lázaro, E., & Pham, D. T. (2017). Combining feed-in tariffs and net-metering schemes to balance development in adoption of photovoltaic energy: Comparative economic assessment and policy implications for European countries. *Energy Policy*, 102, 440-452.
- Redondo, P. D., & van Vliet, O. (2015). Modelling the energy future of Switzerland after the phase out of nuclear power plants. *Energy Procedia*, 76, 49-58.
- Rogelj, J., Luderer, G., Pietzcker, R. C., Kriegler, E., Schaeffer, M., Krey, V., & Riahi, K. (2015). Energy system transformations for limiting end-of-century warming to below 1.5 C. *Nature Climate Change*, 5(6), 519.
- Rubino, A. (2018). Network charges in a low CO₂ world. *Nature Energy*, 3, 255.
- Sarasini, S., & Linder, M. (2018). Integrating a business model perspective into transition theory: The example of new mobility services. *Environmental innovation and societal transitions*, 27, 16-31.

- Schill, W. P., Zerrahn, A., & Kunz, F. (2017). Prosumage of solar electricity: pros, cons, and the system perspective. *Economics of Energy & Environmental Policy*, 6(1).
- Simoglou, C.K., Bakirtzis, E.A., Biskas, P.N. and Bakirtzis, A.G. (2018). Probabilistic evaluation of the long-term power system resource adequacy: The Greek case. *Energy Policy*, 117, pp.295-306.
- SolarPower Europe. (2015). Global Market Outlook for Solar Power 2015-2019. Available at http://helapco.gr/pdf/Global_Market_Outlook_2015_-2019_lr_v23.pdf.
- Stavrakakis, Y. and Katsambekis, G. (2018). The populism/anti-populism frontier and its mediation in crisis-ridden Greece: from discursive divide to emerging cleavage?. *European Political Science*, pp.1-16.
- Toomey, A. H., Markusson, N., Adams, E., & Brockett, B. (2015). Inter- and transdisciplinary research: A critical perspective. Submitted to Global Sustainable Development Report Chapter 7 Policy Brief. Retrieved from: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/612558-Inter-%20and%20Trans-disciplinary%20Research%20-%20A%20Critical%20Perspective.pdf>
- Torriti, J., Hassan, M. G., & Leach, M. (2010). Demand response experience in Europe: Policies, programmes and implementation. *Energy*, 35(4), 1575-1583.
- Tselepis, S. (2015). The PV Market Developments in Greece. Net-Metering Study Cases. 28th EUPVSEC, Paris, France.
- Turnheim, B., Berkhout, F., Geels, F., Hof, A., McMeekin, A., Nykvist, B., & van Vuuren, D. (2015). Evaluating sustainability transitions pathways: Bridging analytical approaches to address governance challenges. *Global Environmental Change*, 35, 239-253.
- Vihalemm, T., & Keller, M. (2016). Consumers, citizens or citizen-consumers? Domestic users in the process of Estonian electricity market liberalization. *Energy Research & Social Science*, 13, 38-48.
- Waffenschmidt, E. (2014). Dimensioning of decentralized photovoltaic storages with limited feed-in power and their impact on the distribution grid. *Energy Procedia*, 46, 88-97.

9ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΜΟΑ ΚΑΙ ΑΧ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

9.1 Εισαγωγή

Η ΕΕ έχει θέσει έναν μακροπρόθεσμο στόχο μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 80-95%, σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, έως το 2050. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει δημοσιεύσει έναν ενεργειακό οδικό χάρτη για το 2050 για την διερεύνηση οικονομικά αποδοτικών τρόπων μετάβασης προς μία φιλική προς το κλίμα, ενεργειακά αποδοτική ευρωπαϊκή οικονομία, και ταυτόχρονης αύξησης της ανταγωνιστικότητας και της ασφάλειας εφοδιασμού (EC, 2016a). Είναι εμφανές ότι όλοι οι κύριοι οικονομικοί τομείς που ευθύνονται για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου της Ευρώπης—ηλεκτροπαραγωγή, βιομηχανία, μεταφορές, κτιριακός τομέας, κατασκευές και γεωργία/κτηνοτροφία—χρειάζεται να συνεισφέρουν σε αυτήν την μετάβαση, σύμφωνα πάντα με τις τεχνολογικές και οικονομικές δυνατότητες κάθε τομέα. Το 2015, το ένα τέταρτο των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου οφειλόταν στην καύση ορυκτών καυσίμων σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (IPCC, 2014), ενώ στην Ευρώπη οι αντίστοιχες εκπομπές της ενεργειακής βιομηχανίας αντιστοιχούσαν στο 28.2% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Eurostat, 2017). Η αποδέσμευση της παραγωγής ηλεκτρισμού από τον άνθρακα είναι επομένως ζωτικής σημασίας για τις προσπάθειες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής (Arvesen et al., 2018) και δύναται σχεδόν να μηδενίσει τις εκπομπές CO₂ έως το 2050, αξιοποιώντας ΑΠΕ (π.χ. ηλιακή ενέργεια, αιολική ενέργεια, βιομάζα, κλπ.), χρησιμοποιώντας άλλες εναλλακτικές χαμηλών εκπομπών, όπως πυρηνική ενέργεια, ή διάχυση τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (ΔΑΑ) στους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής από ορυκτά καύσιμα (EC, 2016b).

Στη βάση των παραπάνω, αναδεικνύεται η ανάγκη διασφάλισης της υποστήριξης συντονισμένου περιβαλλοντικού, ενεργειακού και κλιματικού σχεδιασμού. Ειδικότερα, η διαδικασία σχεδίασης

τεχνολογικών μιγμάτων για την ηλεκτροπαραγωγή αποκτά ιδιαίτερη σημασία στο πλαίσιο του ενεργειακού και περιβαλλοντικού σχεδιασμού. Σε αυτήν τη διαδικασία, συνήθως πρώτα εξετάζονται παράμετροι που σχετίζονται με το κόστος· ωστόσο, άλλα χαρακτηριστικά οφείλουν να λαμβάνονται υπόψιν, συμπεριλαμβανομένων του επιπέδου εξάρτησης από εισαγόμενους πόρους, της αντίστοιχης ασφάλειας εφοδιασμού και αποδοτικότητας της περιοχής, και του κοινωνικού και περιβαλλοντικού αντίκτυπου της αξιοποίησης των διαθέσιμων τεχνολογιών (Valentine, 2011). Έτσι, ο ενεργειακός σχεδιασμός, ως πρόβλημα επιλογής επενδύσεων (Awerbuch, 2004), διευκολύνει τον μακροπρόθεσμο σχεδιασμό του μίγματος ηλεκτροπαραγωγής που συμβιβάζει με τον βέλτιστο τρόπο την ασφάλεια εφοδιασμού, την (οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική) βιωσιμότητα και την ανταγωνιστικότητα (Hickey et al., 2010). Εξίσου σημαντική είναι η ποικίλη φύση και η αβέβαιη δυναμικότητα των ενεργειακών τεχνολογιών που προς το παρόν είναι ή μπορεί αργότερα να γίνουν διαθέσιμες για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Pugh et al., 2011). Η μεγάλη διάρκεια ζωής των περιουσιακών στοιχείων ηλεκτροπαραγωγής και το υψηλό επίπεδο αβεβαιότητας που αμφότερα εξαρτώνται από τον χρονικό ορίζοντα της ανάλυσης, επηρεάζουν σημαντικά τις διαφορετικές μεταβλητές του προβλήματος επιλογής, οι οποίες αποτελούν μία σύνθεση τεχνολογικών, οικονομικών, ρυθμιστικών και περιβαλλοντικών μεταβλητών (deLlano-Paz et al., 2017). Όλα αυτά περαιτέρω θέτουν προκλήσεις στους φορείς χάραξης πολιτικής, οι οποίοι προσπαθούν να επενδύσουν κεφάλαια σε ένα βέλτιστο χαρτοφυλάκιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Pugh et al., 2011).

Τυπικά, η μοντελοποίηση ολοκληρωμένης αποτίμησης μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα πολύτιμη στην αντιμετώπιση προκλήσεων βιωσιμότητας (Jakeman and Letcher, 2003) και χρησιμοποιείται ευρέως για τη διερεύνηση πιθανών στρατηγικών κλιματικής δράσης και ενεργειακού σχεδιασμού (Krey, 2014). Τα ΜΟΑ, όπως αναλύονται και στο Κεφάλαιο 3, παρέχουν πολύ σημαντικές πληροφορίες στις αντισταθμίσεις και τις συνέργειες μεταξύ στόχων πολιτικής, υποστηρίζουν τον προσδιορισμό σημαντικών διατομεακών διαδράσεων, και σε έναν βαθμό λαμβάνουν υπόψιν τους την αβεβαιότητα (Nikas et al., 2018) σε παράγοντες όπως πληθυσμός και οικονομική ανάπτυξη, τεχνολογική ανάπτυξη, ανθρώπινη συμπεριφορά, και κλιματική αλλαγή (Shi et al., 2017). Ως εκ τούτου, σημαντικές μελέτες που απευθύνονται σε φορείς χάραξης πολιτικής και στο ευρύτερο κοινό εξαρτώνται σε πολύ μεγάλο βαθμό σε σενάρια που παράγονται από τα ΜΟΑ (Arvesen et al., 2018· IPCC, 2014). Παρά το γεγονός ότι σε ακαδημαϊκό επίπεδο οι ερευνητές έχουν εργαστεί εκτενώς, και αξιοποιήσει προσεγγίσεις βασισμένες, σε ΜΟΑ με σκοπό τη διερεύνηση μελλοντικών μονοπατιών ενέργειας, χρήσης γης και εκπομπών άνθρακα σε διάφορες γεωγραφικές κλίμακες (Vuuren et al., 2011), είναι αξιοσημείωτο ότι αυτά τα τυποποιημένα εργαλεία μοντελοποίησης αντιμετωπίζουν σημαντικές δυσκολίες στην εξήγηση των βραχυπρόθεσμων προτύπων που ακολουθεί ο ενεργειακός τομέας (Pietzcker et al., 2017). Επίσης, τα ΜΟΑ τυπικά διαχειρίζονται την αβεβαιότητα ντετερμινιστικά, δηλαδή μέσω σεναρίων (Nikas et al., 2019). Οι Jakeman and Letcher (2003) αναγνωρίζουν την ανάγκη για βελτιωμένες τεχνικές ανάλυσης της αβεβαιότητας και της ευαισθησίας των αποτελεσμάτων των μοντέλων ως μία κεντρική πρόκληση στην χρήση των ΜΟΑ. Τέλος, η μοντελοποίηση κλίματος-οικονομίας βασισμένη σε ΜΟΑ συνήθως

εξαιρεί τους φορείς χάραξης πολιτικής και άλλες ομάδες εμπειρογνομόνων ή περιορίζει την συμμετοχή τους στον βαθμό της μερικής διαμόρφωσης των υποθέσεων, με βάση τις οποίες πραγματοποιούνται οι προσομοιώσεις (van Vliet et al., 2010). Άλλες αδυναμίες που σχετίζονται με τα ΜΟΑ διερευνώνται λεπτομερώς από τους Doukas et al. (2018).

Ως πολύτιμα εργαλεία στη διαχείριση τέτοιων σύνθετων περιβαλλοντικών και ενεργειακών προβλημάτων (Uusitalo et al., 2015), τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων έχουν τη δυνατότητα να συνοψίζουν αποτελεσματικά και να συνδυάζουν διάφορες, διακριτές επιπτώσεις που σχετίζονται με εναλλακτικές επιλογές σχεδιασμού (Doukas, 2013). Όπως υποδεικνύει η πρόσφατη βιβλιογραφία, μία ευρέως καθιερωμένη προσέγγιση αντιμετώπισης των προκλήσεων που σχετίζονται με τον καθορισμό των ενεργειακών σχεδίων για μία συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να βρεθεί στη Σύγχρονη Θεωρία Χαρτοφυλακίου. Τυπικά, η προσέγγιση της ΑΧ βασίζεται στη λύση των προβλημάτων με μία αντικειμενική συνάρτηση που επιζητά την ελαχιστοποίηση είτε του κόστους είτε του κινδύνου του χαρτοφυλακίου, υπό διαφορετικούς περιορισμούς, λαμβάνοντας επίσης υπόψιν ότι τα πραγματικά περιουσιακά στοιχεία ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να προσδιοριστούν σε όρους κόστους ή απόδοσης και οικονομικού κινδύνου, για κάθε εναλλακτική τεχνολογία (deLlano-Paz et al., 2017). Οι πλέον εξαντλητικές και πλήρεις βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις επί της εφαρμογής της σύγχρονης θεωρίας χαρτοφυλακίου στον ενεργειακό σχεδιασμό βρίσκονται στις μελέτες των Delarue et al. (2011) και Jano-Ito and Crawford-Brown (2017). Περισσότερα θέματα σχετικά με τις αρχές της ΑΧ μπορούν να βρεθούν στις έρευνες των Awerbuch and Berger (2003), Awerbuch and Yang (2007), και Elton and Gruber (1997). Επίσης, οι Lahtinen et al. (2017) και Pérez Odeh et al. (2018) παρέχουν μία συνοπτική ανασκόπηση των μεθόδων ΑΧ στη λήψη περιβαλλοντικών αποφάσεων και των εφαρμογών σε αγορές ηλεκτρισμού, αντίστοιχα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, δεδομένου ότι τα προβλήματα αυτού του χώρου προβλήματος υπόκεινται σε πολυάριθμους στόχους και κριτήρια, η ύπαρξη μίας μοναδικής βέλτιστης λύσης που παραπέμπει σε μία συγκεκριμένη πορεία δράσης, επί της οποίας ο αποφασίζων δεν έχει καμία επιρροή, σπάνια επιτυγχάνεται ή έχει νόημα. Μία λύση σε αυτήν την πρόκληση βρίσκεται στην αναγνώριση του συνόλου Pareto των υποβέλτιστων λύσεων (Hamilton et al., 2015). Η προσέγγιση ενός συνόλου υποβέλτιστων λύσεων παρέχει μία πολύ πιο στοχευμένη είσοδο στη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Lempert et al., 2016), και είναι ευκολότερη να εξηγηθεί από οποιαδήποτε άλλη πρακτική σύσταση. Τέτοια ανάλυση είναι κρίσιμη καθώς μπορεί να παρέχει ένα μέτρο εμπιστοσύνης στην ικανότητα διαφοροποίησης ανάμεσα σε διαφορετικές αποφάσεις (Jakeman and Letcher, 2003· Weyant, 2017). Η ΑΧ χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές με πολλαπλούς στόχους και υποστηρίζει ευρέως την στοχαστική διαχείριση της αβεβαιότητας (Forouli et al., 2019).

Σε αυτό το κεφάλαιο, αναπτύσσεται και παρουσιάζεται μία ολοκληρωμένη προσέγγιση διασύνδεσης ΜΟΑ με μία καινοτόμο μέθοδο ΑΧ, με σκοπό την παροχή πλέον αποτελεσματικών και εύρωστων

συστάσεων πολιτικής. Η προτεινόμενη προσέγγιση εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό βέλτιστων χαρτοφυλακίων ηλεκτροπαραγωγής στην ΕΕ, με σκοπό την επίτευξη του στόχου μετασχηματισμού της Ευρώπης σε μία ανταγωνιστική, χαμηλών εκπομπών άνθρακα οικονομία έως το 2050.

Αρχικά, μελετάται η επίδοση των έξι τεχνολογιών, αναφορικά με τις επιτευχθείσες μειώσεις εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τα αντίστοιχα επίπεδα ασφάλειας εφοδιασμού εξαιτίας των συγκεκριμένων τεχνολογικών επιδοτήσεων. Τα σύνολα δεδομένων λαμβάνονται από το Global Change Assessment Model (GCAM), ένα MOA μερικής ισορροπίας (Κεφάλαιο 3). Τα αρχικά αποτελέσματα της μοντελοποίησης αθροίζονται κατάλληλα ώστε να είναι αξιοποιήσιμα στην ΑΧ. Επομένως, μοντελοποιείται και επιλύεται ένα πρόβλημα χαρτοφυλακίου E&A για τις τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής στην Ευρώπη, με τη χρήση πολυστοχικού προγραμματισμού και με διαχείριση στοχαστικής αβεβαιότητας. Το πρόβλημα επιλογής χαρτοφυλακίου εστιάζει σε μία προσέγγιση σε επίπεδο EE-27, και αξιολογεί διαφορετικές επιλογές ηλεκτροπαραγωγής σε μία χρονική κλίμακα έως το 2050. Τα χαρτοφυλάκια αξιολογούνται με βάση τις επιδόσεις τους, αναφορικά με την συνεισφορά τους στη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, και με τις θετικές επιπτώσεις που δύνανται να επιφέρουν στην ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού. Για τη διαχείριση της αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει τις βασικές παραμέτρους του μοντέλου, διενεργείται μία προσομοίωση Monte Carlo. Μέσω αυτής της προσέγγισης, η ευρωστία των υποβέλτιστων χαρτοφυλακίων ενεργειακών τεχνολογιών δύναται να αξιολογηθεί, θεωρώντας ότι η αβεβαιότητα των παραμέτρων του μοντέλου είναι στοχαστικής φύσης. Η ευρωστία των Pareto βέλτιστων λύσεων είναι απαραίτητη για την κατασκευή κλίματος εμπιστοσύνης στους φορείς χάραξης πολιτικής, κατά την επιλογή τεχνολογικών χαρτοφυλακίων που χαρακτηρίζονται από έναν υψηλό βαθμό αβεβαιότητας ως προς την ευπάθειά τους σε πιθανές μελλοντικές εξελίξεις. Αθροίζοντας τα αποτελέσματα σε ένα εύρωστο χαρτοφυλάκιο τεχνολογιών, η προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί έπειτα να συνδεθεί με ένα ντετερμινιστικό μοντέλο.

Οι Baker and Solak (2011) στο παρελθόν χρησιμοποίησαν αποτελέσματα μοντελοποίησης από τα MOA Dynamic Integrated Climate-Economy (DICE) και MiniCAM (παλαιότερη έκδοση του GCAM που χρησιμοποιείται εν προκειμένω) σε μία στοχαστική προσέγγιση ΑΧ, ενώ οι Pugh et al. (2011) άθροισαν διαφορετικά τεχνολογικά σενάρια από το μοντέλο GCAM σε ένα συγκεκριμένο σενάριο και έχτισαν ένα χαρτοφυλάκιο βέλτιστης E&A στην ηλεκτροπαραγωγή, βασισμένο σε διαβαθμισμένη επιστροφή επένδυσης (Ranked ROI).

Το κεφάλαιο οργανώνεται ως εξής. Στην επόμενη ενότητα περιλαμβάνεται μία λεπτομερής περιγραφή των μοντέλων και μεθόδων που χρησιμοποιούνται. Η τρίτη ενότητα προτείνει μία ολοκληρωμένη προσέγγιση, στο πλαίσιο του προτεινόμενου υποδείγματος του Κεφαλαίου 2, για την κατασκευή συνδέσμων μεταξύ των διαφορετικών μοντέλων. Στην τέταρτη ενότητα, εφαρμόζεται η προσέγγιση στη μελέτη περίπτωσης, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται λεπτομερώς τα αποτελέσματα της ΑΧ και της ανάλυσης ευρωστίας. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι προοπτικές.

9.2 Μέθοδοι και μοντέλα

Η προτεινόμενη προσέγγιση βασίζεται, στο πλαίσιο της προτεινόμενου επιστημονικού υποδείγματος, σε ένα μίγμα διαφορετικών μοντέλων και μεθοδολογιών. Στην [Εικόνα 9.1](#) παρουσιάζεται μία επισκόπηση των μοντέλων προς διασύνδεση στην προτεινόμενη προσέγγιση.



Εικόνα 9.1 Μίγμα μεθόδων και μοντέλων προς διασύνδεση.

Τα διαφορετικά μοντέλα περιγράφονται συνοπτικά στις ακόλουθες υποενότητες.

9.2.1 Το μοντέλο GCAM

Το GCAM είναι ένα δυναμικό-αναδρομικό, μερικής ισορροπίας μοντέλο με τεχνολογικά πλούσιες αναπαραστάσεις της οικονομίας, του ενεργειακού τομέα, του υδάτινου συστήματος, του αγροτικού τομέα και της χρήσης γης ([Κεφάλαιο 3](#)). Αναπτύχθηκε από το Joint Global Change Research Institute ([JGCRI, 2017](#)), μία συνεργασία μεταξύ του Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) και του Πανεπιστημίου του Maryland. Εδώ και περισσότερα από 30 χρόνια, το GCAM και οι προκάτοχοί του (π.χ. MiniCAM) έχουν χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές που διερευνούν σενάρια μελλοντικών εκπομπών άνθρακα και μονοπάτια ενεργειακής τεχνολογίας ([Shi et al., 2017](#)). Το GCAM είναι ένα από τα τέσσερα μοντέλα που επιλέχθηκαν για την ανάπτυξη των ΑΜΣ ([van Vuuren et al., 2011](#)) της 5^{ης} Έκθεσης Αποτίμησης της ΔΕΚΑ ([IPCC, 2014](#)) και έχει συμμετάσχει σχεδόν σε όλες τις κύριες κλιματικές/ενεργειακές μελέτες αποτίμησης των τελευταίων χρόνων. Συνδέει υπομονάδες κοινωνικοοικονομικών στοιχείων, ενέργειας, χρήσης γης και κλίματος και αποσκοπεί στην αναπαράσταση των συνεπειών των πολιτικών μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, συμπεριλαμβανομένων των φόρων άνθρακα, της εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών, των ρυθμιστικών παρεμβάσεων και της επιταχυμένης διάχυσης των ενεργειακών τεχνολογιών ([JGCRI, 2017](#)). Χαρακτηριστικές εφαρμογές του μοντέλου GCAM περιλαμβάνουν αυτές των [Collins et al. \(2015\)](#), [Ebi et al. \(2014\)](#) και [Fisher et al. \(2014\)](#).

Το ενεργειακό σύστημα στο GCAM περιλαμβάνει την πρωτογενή παραγωγή ενέργειας, τον ενεργειακό μετασχηματισμό και την χρήση των τελικών μορφών ενέργειας για την παράδοση ενεργειακών υπηρεσιών. Το μοντέλο διακρίνει μεταξύ ανανεώσιμων και μη ανανεώσιμων πόρων ενέργειας. Οι μη ανανεώσιμοι πόροι περιλαμβάνουν τα ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο (συμβατικό και μη), το φυσικό αέριο και ο άνθρακας, και το ουράνιο (για πυρηνική ενέργεια). Οι ανανεώσιμοι πόροι περιλαμβάνουν διαφορετικούς τύπους βιομάζας, αιολικά (χερσαία και υπεράκτια), γεωθερμία, υδροηλεκτρικά, ΦΒ επί στέγης και εδάφους, συμπεριλαμβανομένης της Συγκεντρωμένης Ηλιακής Ενέργειας (ΣΗΕ). Σχετικά με την υπομονάδα της χρήσης γης, το μοντέλο διαιρείται σε 283 αγρο-οικολογικές ζώνες (Monfreda et al., 2008), οι οποίες με τη σειρά τους διαιρούνται σε καλλιεργήσιμη και μη καλλιεργήσιμη γη. Το GCAM επίσης καταγράφει έναν σπουδαίο αριθμό αερίων του θερμοκηπίου, όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) ή το μεθάνιο (CH₄), καθώς και τους πιο καταστροφικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους όπως ο οργανικός και ο μαύρος άνθρακας (OC και BC), το διοξείδιο του θείου (SO₂) ή οξείδια του αζώτου (NO_x).

Για τους σκοπούς αυτής της μελέτης, χρησιμοποιείται η έκδοση GCAM 4.3, δίδοντας αποτελέσματα σε περιφερειακό (συνολικά ευρωπαϊκό) επίπεδο, και όχι σε εθνικό επίπεδο κάθε ευρωπαϊκής χώρας. Υπάρχουν άλλα μοντέλα σχεδιασμένα να εστιάζουν αποκλειστικά στο ευρωπαϊκό ενεργειακό σύστημα, όπως το PRIMES (E3MLab, 2014) ή το JRC-EU-TIMES (Joint Research Centre, 2013). Συγκριτικά με αυτά τα δύο ενεργειακά μοντέλα που διαθέτουν γεωγραφική λεπτομέρεια σε εθνικό επίπεδο, το GCAM είναι μοντέλο μερικής ισορροπίας (Κεφάλαιο 3) που καλύπτει ολόκληρη την Ευρώπη και ολόκληρη την οικονομία, αξιοποιώντας τόσο από κάτω προς τα πάνω όσο και από πάνω προς τα κάτω προσεγγίσεις (Urban et al., 2007) καθώς και αναπαριστώντας τόσο ενδογενή όσο και εξωγενή τεχνολογική πρόοδο (Nikas et al., 2019). Τέλος, έχουν υπάρξει εφαρμογές του μοντέλου στη βιβλιογραφία, οι οποίες φέρουν αξιολόγηση στοχαστικής αβεβαιότητας μέσω προσομοιώσεων Monte Carlo σε περιφερειακό ή παγκόσμιο επίπεδο (π.χ. Scott et al., 1999), καθώς και εφαρμογές ολοκλήρωσης του συγκεκριμένου μοντέλου με προσεγγίσεις ανάλυσης χαρτοφυλακίου (π.χ. Pugh et al., 2011· Baker and Solak, 2011). Όλοι αυτοί οι λόγοι συνθέτουν το πλαίσιο στο οποίο επιλέχθηκε το μοντέλο GCAM.

9.2.2 Ανάλυση χαρτοφυλακίου

9.2.2.1 Πολυστοχική βελτιστοποίηση

Διαφορετικά από τη μονοστοχική βελτιστοποίηση, όπου η βέλτιστη λύση του προβλήματος είναι συνήθως μοναδική, η βέλτιστη λύση στην πολυστοχική βελτιστοποίηση είναι ένα σύνολο επιδόσεων στο εύρος των αντικειμενικών συναρτήσεων (καθεμία εκ των οποίων αντιστοιχεί σε έναν στόχο),

μεταξύ των οποίων προκύπτουν συγκρούσεις. Η πολυστοχική βελτιστοποίηση μπορεί να περιγραφεί με μαθηματικούς όρους ως εξής (ελαχιστοποίηση):

$$\min y = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)] \text{ s. to. } x \in \Omega$$

Όπου Ω είναι η περιοχή εφικτών λύσεων και $f_1(x), \dots, f_n(x)$ είναι n αντικειμενικές συναρτήσεις που βρίσκονται σε σύγκρουση η μία με την άλλη.

9.2.2.1.1 Pareto κυριαρχία

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση, το x^* κυριαρχεί επί μίας άλλης λύσης x (δηλαδή $x^* > x$), εάν οι ακόλουθες δύο συνθήκες ικανοποιούνται:

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, f_i(x^*) \leq f_i(x)$$

$$\exists k \in \{1, 2, \dots, n\} f_k(x^*) < f_k(x)$$

Όπου $x, x^* \in \Omega$.

Με άλλα λόγια, ορίζεται ότι η λύση x^* είναι Pareto κυρίαρχη εάν δεν υπάρχει εφικτό διάνυσμα λύσης x που θα μείωνε την επίδοση σε κάποιο κριτήριο χωρίς να προκαλέσει μία ταυτόχρονη αύξηση σε τουλάχιστον ένα άλλο κριτήριο (υποθέτοντας ότι ο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση).

Πρέπει να σημειωθεί ότι, στην περίπτωση της μεγιστοποίησης στην αντικειμενική συνάρτηση, απαιτείται μόνο μία μεταβολή της κατεύθυνσης των ανισώσεων.

9.2.2.1.2 Pareto βέλτιστη λύση και σύνολο Pareto

Μία λύση x^* είναι μη κυριαρχούμενη και είναι Pareto βέλτιστη εάν

$$\nexists x \in \Omega : x > x^*$$

Το σύνολο όλων των Pareto βέλτιστων λύσεων είναι ένα σύνολο Pareto (PS).

9.2.2.1.3 Μέτωπο Pareto

Μέτωπο Pareto (PF) είναι το σύνολο που αποτελείται από διανύσματα της αντικειμενικής συνάρτησης που σχετίζονται με το PS .

$$PF = \{y = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)]^T | x \in PS\}$$

Η μορφή του PF δείχνει την φύση της αντιστάθμισης μεταξύ των διαφορετικών αντικειμενικών συναρτήσεων.

Επομένως, η πολυστοχική βελτιστοποίηση είναι μία προσέγγιση εύρεσης των Pareto βέλτιστων λύσεων και λήψης του PF. Μία κανονική μέθοδος πολυστοχικής επίλυσης οφείλει να οδηγεί σε ένα PS καθώς και σε λύσεις με την πρέπουσα ποικιλομορφία (Chiandussi et al., 2012· Rayat et al., 2017).

9.2.2.2 Η μέθοδος AUGMECON-2

Η AUGMECON-2 (Mavrotas and Florios, 2013), μία νέα έκδοση της μεθόδου AUGMECON (Mavrotas, 2009), είναι μία γενικού σκοπού μεθοδολογία, η οποία αποτελεί ένα ιδιαίτερα κατάλληλο εργαλείο για προβλήματα πολυστοχικού αντικειμενικού ακέραιου προγραμματισμού.

Η AUGMECON αποτελεί μία βελτίωση της αρχικής μεθόδου ϵ -constraint, η οποία (μαζί με τη σταθμισμένη μέθοδο) είναι εκ των διασημότερων μεθόδων για τη δημιουργία αναπαραστάσεων ενός PF. Όπως περιγράφεται από τον Mavrotas (2009), η ϵ -constraint έχει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τη σταθμισμένη μέθοδο, ειδικά όσον αφορά προβλήματα με διακριτές μεταβλητές. Η προσέγγιση της ϵ -constraint, η οποία παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από τους Haimes et al. (1971), παράγει εφικτές λύσεις μέσω της μετατροπής όλων πλην μίας των αντικειμενικών συναρτήσεων σε περιορισμούς του μοντέλου. Η επαυξημένη ϵ -constraint approach (AUGMECON) που αναπτύχθηκε από τον Mavrotas (2009) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αφαίρεση των ασθενώς εφικτών λύσεων που παράγονται από την κλασική ϵ -constraint (Hombach and Walther, 2015). Η AUGMECON επεκτάθηκε από τους Mavrotas and Florios (2013), οι οποίοι δημιούργησαν την AUGMECON-2 που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συγκεκριμένους τύπους προβλημάτων για την παραγωγή του ακριβούς (ή πλήρους) συνόλου Pareto, δηλαδή όλων των Pareto βέλτιστων λύσεων. Για τον υπολογισμό του ακριβούς PS σε τέτοια προβλήματα με ακέραιους συντελεστές αντικειμενικών συναρτήσεων, η AUGMECON-2 έχει κωδικοποιηθεί στο General Algebraic Modeling System (GAMS).

Στη βιβλιογραφία, διάφορες εκδόσεις της μεθόδου ϵ -constraint έχουν παρουσιαστεί προκειμένου να βελτιωθεί η επίδοσή της ή η προσαρμογή της σε έναν συγκεκριμένο τύπο προβλημάτων (Keshavarz and Toloo, 2015· Mazidi et al., 2016). Οι τεχνικές καινοτομίες της μεθόδου AUGMECON-2 περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τον υπολογισμό του εύρους κάθε αντικειμενικής συνάρτησης, την αποφυγή των ασθενώς Pareto βέλτιστων λύσεων μέσω του μετασχηματισμού των περιορισμών που αντιστοιχούν σε αντικειμενικές συναρτήσεις σε ισότητες, την ταχεία έξοδο από τους βρόγχους στην περίπτωση μη εφικτών λύσεων, και τη μείωση του υπολογιστικού χρόνου (Xidonas et al., 2016b). Αυτές

οι βελτιώσεις είναι ακόμη πιο αποτελεσματικές όταν το πρόβλημα περιλαμβάνει διακριτές μεταβλητές και η περιοχή εφικτών λύσεων είναι μη κυρτή (Mavrotas and Florios, 2013).

Στην παρούσα μελέτη, η χρήση της μεθόδου AUGMECON-2 για την επίλυση του διστοχικού προβλήματος επιλογής τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής διασφαλίζει την ανάκτηση όλων των εφικτών λύσεων και την αποφυγή των ασθενώς εφικτών λύσεων.

9.2.3 Ανάλυση ευρωστίας

9.2.3.1 Προσομοίωση Monte Carlo

Όπως συζητείται παραπάνω, είναι αλήθεια ότι διάφοροι αβέβαιοι παράγοντες (κόστη, συνάρτηση ζήτησης, τιμές, λειτουργία συστήματος, ρυθμιστικά μέτρα, κλπ.) χαρακτηρίζουν τις αγορές ηλεκτρισμού, επηρεάζοντας τους πράκτορες που συμμετέχουν σε αυτές. Διάφοροι κίνδυνοι επηρεάζουν πολλές πτυχές του προβλήματος με τη μορφή της αβεβαιότητας και της μεταβλητότητας, συμπεριλαμβανομένων οικονομικών και ρυθμιστικών διαστάσεων, ζητημάτων σχετικών με την κλιματική αλλαγή, κοινωνικής αποδοχής ορισμένων τεχνολογιών, παραγόντων που σχετίζονται με την ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού, και συναλλαγματικών κοστών (Jano-Ito and Crawford-Brown, 2017). Διάφορες μέθοδοι έχουν προταθεί για την διαχείριση αυτής της αβεβαιότητας, οι πιο συνήθεις εκ των οποίων περιλαμβάνουν τον ασαφή προγραμματισμό, τον στοχαστικό προγραμματισμό, κλπ. (Mavrotas and Pechak, 2013).

Στην παρούσα μελέτη, η συγκεκριμένη αβεβαιότητα λαμβάνεται υπόψιν ως στοχαστικής φύσης. Κάθε αβέβαιη παράμετρος χαρακτηρίζεται από μία κατανομή πιθανότητας. Χρησιμοποιώντας ανάλυση Monte Carlo, μπορούν να σχεδιασθούν διάφορες πιθανοτικές κατανομές για τις παραμέτρους αβεβαιότητας. Έπειτα, πραγματοποιείται δειγματοληψία για τον προσδιορισμό τιμών μέσα από αυτές τις κατανομές, και τα μοντέλα μαθηματικού προγραμματισμού επιλύονται με τις συγκεκριμένες τιμές. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται T φορές (όπου T ένας μεγάλος αριθμός, π.χ. $T=1,000$) έτσι ώστε να λαμβάνεται ένα επαρκές δείγμα για την εξαγωγή εύρωστων συμπερασμάτων. Αυτό το ζεύγος δειγματοληψίας και βελτιστοποίησης αποτελεί τον πυρήνα των υπολογισμών. Για παράδειγμα, εάν ο αριθμός των προσομοιώσεων Monte Carlo τεθεί ίσος με 1,000, τότε 1,000 εκτελέσεις δειγματοληψίας και βελτιστοποίησης θα πραγματοποιηθούν. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας θα είναι 1,000 διαφορετικά PF βέλτιστων χαρτοφυλακίων, με βάση τη δειγματοληψία των παραμέτρων του μοντέλου.

9.2.3.2 Iterative Trichotomic Approach

Για την κατασκευή εύρωστων βέλτιστων χαρτοφυλακίων, αυτή η μελέτη χρησιμοποιεί την κεντρική ιδέα της επαναληπτικής τριχοτομικής προσέγγισης (Iterative Trichotomic Approach ή ITA) των

Manrotas and Pechak (2013). Η ΙΤΑ εισήχθη πρώτη φορά στον ακέραιο προγραμματισμό, για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας σε μονοστοχικά προβλήματα επιλογής χαρτοφυλακίου. Οι Xidonas et al. (2016a) επέκτειναν τη δυνατότητα εφαρμογής της ΙΤΑ στην περίπτωση του πολυστοχικού προγραμματισμού. Η διαφορά με την αρχική ΙΤΑ είναι ότι η πολυστοχική έκδοση παρέχει πληροφορίες για τον βαθμό βεβαιότητας για την περίληψη ενός συγκεκριμένου χαρτοφυλακίου στο τελικό PS, επεκτείνοντας έτσι το πεδίο εφαρμογής της από το επίπεδο έργου στο επίπεδο χαρτοφυλακίου.

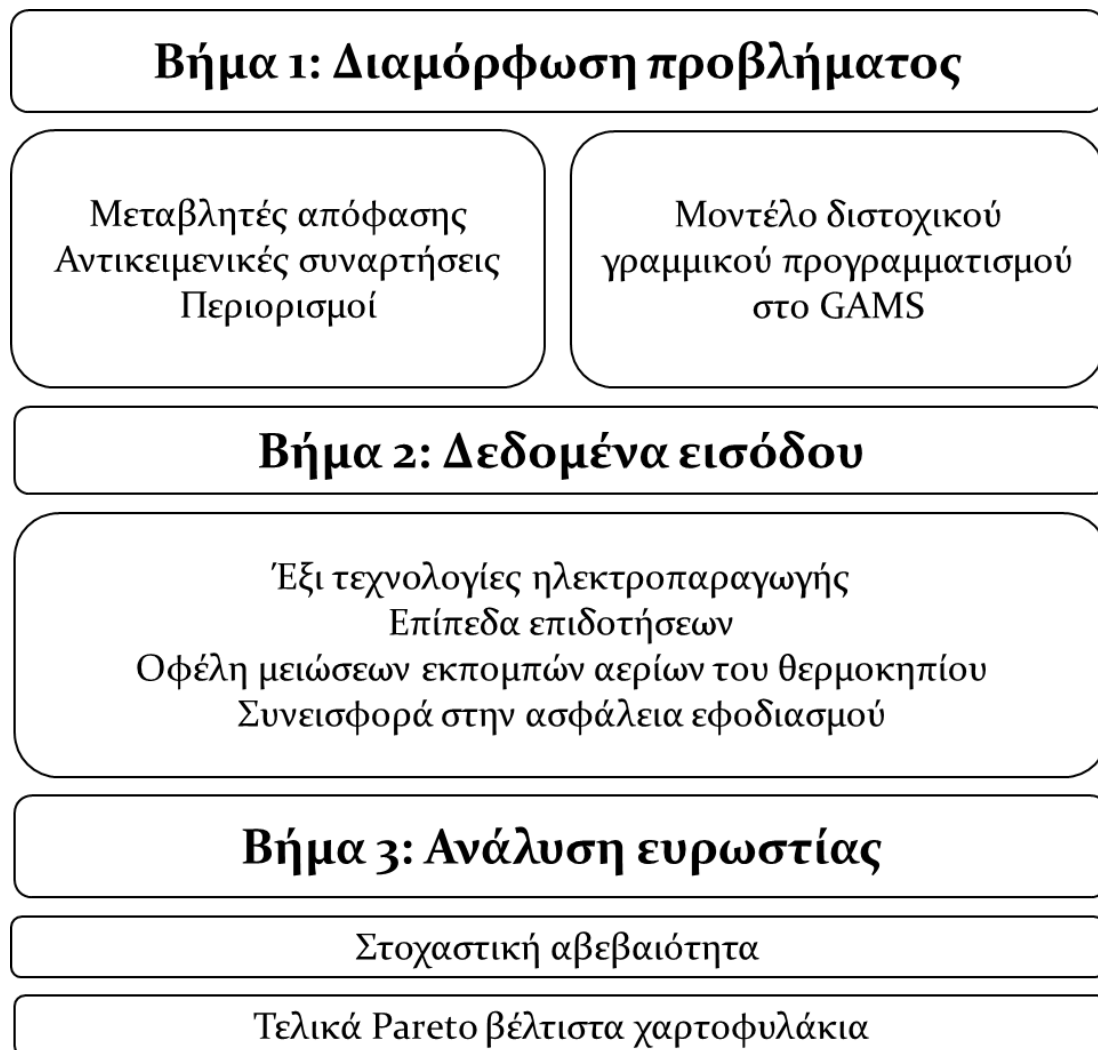
Η παρούσα μελέτη ενσωματώνει την εφαρμογή της ΙΤΑ σε ένα διστοχικό μοντέλο για την δημιουργία των Pareto βέλτιστων χαρτοφυλακίων, μεταξύ των οποίων το πλέον προτιμητέο επιλέγεται από τους αποφασίζοντες. Με αυτόν τον τρόπο, η επιλογή των αποφασιζόντων υποστηρίζεται από συγκεκριμένους δείκτες του βαθμού βεβαιότητας των χαρτοφυλακίων. Όπως περιγράφεται παραπάνω, η αβεβαιότητα ενσωματώνεται μέσω κατανομών πιθανότητας για την επίδοση των τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής, η οποία αποτελεί και τον κύριο οδηγό της βελτιστοποίησης. Κάθε δειγματοληψία Monte Carlo οδηγεί σε ένα Pareto βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Η προσέγγιση της ΙΤΑ προτείνει μία επαναληπτική διαδικασία που αναπτύσσεται σε μία σειρά υπολογιστικών γύρων. Σε κάθε υπολογιστικό γύρο, όλα τα Pareto βέλτιστα χαρτοφυλάκια p ταξινομούνται σε τρία σύνολα: το πράσινο σύνολο (G), το κόκκινο σύνολο (R) και το γκρι σύνολο (Y). Εν τέλει, σε κάθε γύρο, η ΙΤΑ διαχωρίζει τα βέλτιστα χαρτοφυλάκια στα τρία υποσύνολα (G, R, Y) ανάλογα με τον βαθμό συμμετοχής στα T PS που προκύπτουν. Το πράσινο σύνολο περιλαμβάνει τα χαρτοφυλάκια p που βρίσκονται σε όλα τα PS (PS_1, \dots, PS_T) του υπολογιστικού γύρου, το κόκκινο σύνολο περιλαμβάνει τα χαρτοφυλάκια που παράχθηκαν στον αρχικό υπολογιστικό γύρο (προ εισαγωγής της αβεβαιότητας) αλλά δεν βρίσκονται σε κανένα εκ των T PS στον τρέχοντα γύρο και το γκρι σετ περιλαμβάνει όλα τα υπόλοιπα χαρτοφυλάκια, δηλαδή εκείνα που βρίσκονται σε κάποια εκ των T PS. Στον πρώτο γύρο (με τη μέγιστη αβεβαιότητα), ένας μέγιστος αριθμός χαρτοφυλακίων παράγονται ως υποψήφια τελικά Pareto βέλτιστα χαρτοφυλάκια, ενώ ο γύρος οδηγεί μόνο σε πράσινα και γκρι σύνολα, αφού δεν υπάρχει κανένα χαρτοφυλάκιο ακόμη που εξαιρείται (κόκκινο σύνολο) από το PS. Στους επόμενους γύρους, ορισμένα εκ των αρχικών βέλτιστων χαρτοφυλακίων δεν παρουσιάζονται πλέον σε κανένα εκ των T PS, επομένως ταξινομούνται στο κόκκινο σύνολο. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, η αβεβαιότητα των παραμέτρων του μοντέλου (εύρος των συντελεστών των αντικειμενικών συναρτήσεων) μειώνεται (π.χ. μειώνοντας την τυπική απόκλιση μίας κανονικής πιθανοτικής κατανομής ή ελαχιστοποιώντας το διάστημα μίας ομοιόμορφης πιθανοτικής κατανομής). Καθώς η αβεβαιότητα μειώνεται, περισσότερα χαρτοφυλάκια από το γκρι σύνολο μετακινούνται στο πράσινο σύνολο. Εν τέλει, καθώς η αβεβαιότητα σταδιακά μειώνεται, κάθε ένα εκ των αρχικών Pareto βέλτιστων χαρτοφυλακίων χαρακτηρίζεται ως κόκκινο ή πράσινο, οδηγώντας στη λήψη του τελικού συνόλου Pareto.

9.3 Προτεινόμενη προσέγγιση ολοκλήρωσης

Κάθε ένα εκ των παραπάνω μοντέλων έχει ορισμένα συμπαγή πλεονεκτήματα όσον αφορά την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων στον περιβαλλοντικό και ενεργειακό σχεδιασμό καθώς και την κλιματική πολιτική. Αυτή η μελέτη αποσκοπεί στη σύνθεση αυτών των μοντέλων σε μία ολοκληρωμένη προσέγγιση και την παροχή ενός πλήρους και εύρωστου πλαισίου υποστήριξης αποφάσεων στους φορείς χάραξης πολιτικής. Το πρώτο βήμα περιλαμβάνει τη διαμόρφωση του μοντέλου AX, με σκοπό την υποστήριξη των φορέων χάραξης πολιτικής μέσω της παρουσίασης του PS, αντί μίας μοναδικής βέλτιστης λύσης. Για τη διαμόρφωση του διστοχικού προβλήματος, πρέπει να οριστούν κατάλληλες αντικειμενικές συναρτήσεις (κριτήρια βελτιστοποίησης) και περιορισμοί. Στη συνέχεια, επιλέγεται μία κατάλληλη μέθοδος προγραμματισμού για τη διενέργεια της πολυστοχικής βελτιστοποίησης, εν προκειμένω η AUGMECON-2. Το δεύτερο βήμα απαιτεί την εφαρμογή του μοντέλου GCAM (ή οποιουδήποτε άλλου MOA) προκειμένου να εξαχθούν βασικά ποσοτικά δεδομένα του προβλήματος. Οι έξοδοι του MOA μπορούν να εισαχθούν ως παράμετροι στο διστοχικό μοντέλο (π.χ. ως συντελεστές των αντικειμενικών συναρτήσεων, περιορισμοί, κλπ.). Αυτό το βήμα διασφαλίζει ότι η πληροφορία που προκύπτει από το μοντέλο GCAM αξιοποιείται περαιτέρω για να δοθούν πιο συμπαγείς και περιεκτικές πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων. Στο επόμενο βήμα, η διαδικασία βελτιστοποίησης βελτιώνεται με στοιχεία ευρωστίας. Η επιλεγμένη μέθοδος της πολυστοχικής μοντελοποίησης, δηλαδή η AUGMECON-2, υποστηρίζει την ενσωμάτωση της στοχαστικής αβεβαιότητας, μέσω της κατάλληλης εφαρμογής των προσομοιώσεων Monte Carlo και της μεθόδου ITA. Τέλος, αυτά τα τρία διακριτά βήματα οδηγούν σε ένα συγκεκριμένο, καλώς ορισμένο σύνολο εύρωστων βέλτιστων χαρτοφυλακίων, από τα οποία μπορεί να επιλεγεί το πλέον προτιμητέο από τους αποφασίζοντες. Αυτού του τύπου η πληροφορία είναι ιδιαίτερα σημαντική για τους φορείς χάραξης πολιτικής κατά την επιλογή τεχνολογικών χαρτοφυλακίων που χαρακτηρίζονται από έναν υψηλό βαθμό αβεβαιότητας σχετικά με το πόσο Pareto βέλτιστα είναι. Η προτεινόμενη προσέγγιση συνοψίζεται στην [Εικόνα 9.2](#).

Η αναμενόμενη προστιθέμενη αξία της προτεινόμενης προσέγγισης περιστρέφεται γύρω από το χάσμα μεταξύ της εξόδου των τυποποιημένων πλαισίων μοντελοποίησης και των πραγματικών ερωτήσεων πολιτικής που τα πρώτα καλούνται να απαντήσουν. Η υπομονάδα της ολοκληρωμένης αποτίμησης, σε αυτήν την υλοποίηση του μοντέλου GCAM, βοηθά στην αναπαράσταση και αξιολόγηση της συμπεριφοράς και των διαδράσεων του ενεργειακού συστήματος με εκπομπές ορυκτών καυσίμων, παρέχοντας επίσης πληροφορίες για τα επίπεδα ασφάλειας εφοδιασμού που σχετίζονται με διαφορετικές τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής και τα αντίστοιχα επίπεδα επιδοτήσεων. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης καλύπτουν τις συνεισφορές και επιπτώσεις των μεμονωμένων τεχνολογιών, ενώ οι αποφασίζοντες πρέπει επί της ουσίας να αξιολογήσουν το τεχνολογικό ενεργειακό μίγμα συνολικά. Μέσω της υλοποίησης του σταδίου της AX, τα δεδομένα που προκύπτουν από το GCAM αξιολογούνται περαιτέρω με τη μορφή χαρτοφυλακίων, στη βάση πολλαπλών κριτηρίων

βελτιστοποίησης. Αυτό επιτρέπει τους φορείς χάραξης πολιτικής να επιλέξουν ανάμεσα σε μία πληθώρα υποβέλτιστων χαρτοφυλακίων, όπως αυτά παράγονται στο PF, ανάλογα με τα επίπεδα των δύο κριτηρίων βελτιστοποίησης που ικανοποιούν τις ανάγκες τους περισσότερο. Επίσης, δεδομένης της ανάγκης για αποτελεσματική λήψη εύρωστων αποφάσεων, όπως αυτή καλλιεργείται από τις αβέβαιες δυναμικές της ενεργειακής αγοράς και τις μακροπρόθεσμες μελλοντικές εξελίξεις, η προτεινόμενη προσέγγιση εν τέλει προσπαθεί να αξιολογήσει τα προκύπτοντα τεχνολογικά χαρτοφυλάκια υπό το πρίσμα της αβεβαιότητας. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της αξιολόγησης της επίδρασης της στοχαστικής αβεβαιότητας στα υποβέλτιστα χαρτοφυλάκια που προκύπτουν από την υπομονάδα του μοντέλου AX.



Εικόνα 9.2 Η προτεινόμενη προσέγγιση ολοκλήρωσης του GCAM, με την AX και την ανάλυση ευρωστίας.

9.4 Εφαρμογή και αποτελέσματα

9.4.1 Διαμόρφωση προβλήματος

Η μελέτη περίπτωσης προτείνει μία ολοκληρωμένη προσέγγιση αξιολόγησης της επίδοσης τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής σε επίπεδο EU-27 και σε μία χρονική κλίμακα έως το 2050. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιείται ένα μοντέλο διστοχικού προγραμματισμού για AX υπό αβεβαιότητα έτσι ώστε τα αριθμητικά δεδομένα που προέρχονται από το GCAM μπορούν να αθροιστούν αποτελεσματικά.

Η ανάλυση συγκεκριμένα εστιάζει σε έξι τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα ($i = 1 \dots 6$), όπου T1: φωτοβολταϊκά (ΦΒ), T2: συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια (ΣΗΕ), T3: αιολικά, T4: πυρηνική ενέργεια, T5: βιομάζα και T6: δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (ΔΑΑ). Η εστίαση σε αυτές τις έξι τεχνολογίες πραγματοποιείται αφού αυτές είναι, συγκριτικά με τις συμβατικές τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής, ιδιαίτερα σχετικές για την επιδότηση της ηλεκτροπαραγωγής στο εγγύς μέλλον για τη μείωση εκπομπών άνθρακα στο ευρωπαϊκό επίπεδο. Επίσης, η γεωθερμία ή άλλες τεχνολογίες με μικρότερες δυνατότητες, παρότι σχετικές, δεν συμπεριλαμβάνονται προκειμένου να διατηρηθεί σχετικά απλό το μοντέλο της AX.

Η είσοδος από το μοντέλο GCAM παρέχει δέκα διαφορετικές τιμές επιδότησης ($j = 1 \dots 10$), οι οποίες προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό των μοναδιαίων επιδοτήσεων (\$/GJ παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, από το 10 έως το 100% του σταθμισμένου κόστους ενέργειας το 2010) με την κατανάλωση ηλεκτρισμού της εκάστοτε τεχνολογίας το 2050. Δεδομένου ότι η βραχυπρόθεσμη επίδραση των πολιτικών που προάγουν νέες τεχνολογίες είναι σημαντικά μειωμένη λόγω της εγκατεστημένης ισχύος στα έτη βάσης της ανάλυσης, το μοντέλο εύρωστης ανάλυσης χαρτοφυλακίου εφαρμόζεται στα αποτελέσματα έως το 2050 έτσι ώστε οι επιδράσεις των τεχνολογιών να είναι πλήρως ορατές.

Το πρόβλημα επιλύεται σύμφωνα με δύο κριτήρια βελτιστοποίησης. Η πρώτη αντικειμενική συνάρτηση αποσκοπεί στη μεγιστοποίηση της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένο προϋπολογισμό επένδυσης:

$$\text{maximise } Z_2 = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{10} GHG\text{reduction}(i,j) * B(i,j)$$

Όπου $GHG\text{reduction}(i,j)$ είναι η μείωση εκπομπών που επιτυγχάνεται από την $i^{\text{οστή}}$ τεχνολογία υπό την επιλογή επιπέδου προϋπολογισμού j .

Η δεύτερη αντικειμενική συνάρτηση αποσκοπεί στη μεγιστοποίηση της ασφάλειας εφοδιασμού του συστήματος σε σχέση με τον προϋπολογισμό.

$$\text{maximise } Z_1 = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{10} \text{Security}(i,j) * B(i,j)$$

Όπου $\text{Security}(i,j)$ είναι η συνεισφορά της τεχνολογίας i στην ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού υπό την επιλογή επιπέδου προϋπολογισμού j .

Οι συντελεστές των αντικειμενικών συναρτήσεων, συγκεκριμένα της μείωσης των εκπομπών ($\text{GHGReduction}(i,j)$) και της ασφάλειας ενεργειακού εφοδιασμού ($\text{Security}(i,j)$) συλλέγονται από το μοντέλο GCAM. Οι μεταβλητές απόφασης του μοντέλου είναι δυαδικές. Οι δυαδικές μεταβλητές $B_{i,j}$ αναπαριστούν την ύπαρξη των επιλογών «της τεχνολογίας i technology και του επιπέδου επιδότησης j » που αντιστοιχούν στην επιλογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας ($B_{i,j} = 1$) ή όχι ($B_{i,j} = 0$).

Το μοντέλο επίσης περιλαμβάνει πέντε συγκεκριμένους περιορισμούς.

1. Πρώτον, ένας προϋπολογιστικός περιορισμός χρησιμοποιείται για την εξασφάλιση ότι το συνολικό κόστος των εγκεκριμένων εφαρμογών δεν ξεπερνά έναν προηγουμένως καθορισμένο συνολικό προϋπολογισμό.

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{10} \text{Subsidy}(i,j) * B(i,j) \leq \text{maxBudget}$$

Όπου maxBudget είναι ο συνολικός διαθέσιμος προϋπολογισμός και $\text{Subsidy}(i,j)$ η j επιλογή κόστους της τεχνολογίας i .

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, ο διαθέσιμος προϋπολογισμός τίθεται ίσος με 35% του μέγιστου κόστους και των έξι τεχνολογιών.

2. Η εφαρμογή επίσης καθορίζει ένα ελάχιστο όριο της μείωσης εκπομπών προς επίτευξη από το χαρτοφυλάκιο.

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{10} \text{GHGReduction}(i,j) * B(i,j) \geq \text{minEmissions}$$

Όπου minEmissions είναι η ελάχιστη απαιτούμενη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και $\text{GHGReduction}(i,j)$ η μείωση εκπομπών κατά την επιλογή της j επιλογής κόστους της τεχνολογίας i . Ο στόχος μείωσης εκπομπών τίθεται ίσος με 40% της μείωσης εκπομπών που θα επιτυγχανόταν εάν όλες οι τεχνολογίες επιδοτούνταν στο 100% του συνολικού τους κόστους.

3. Συγκεκριμένα όρια τίθενται για τον έλεγχο της κατανομής του προϋπολογισμού κατά μήκος των τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής, και εστιάζοντας σε συγκεκριμένους ενεργειακούς πόρους. Συγκεκριμένα, προτιμάται τα έργα πυρηνικής ενέργειας να μην κυριαρχούν σε ένα χαρτοφυλάκιο, καθώς τέτοια έργα δεν υποστηρίζονται σε πολλές χώρες της ΕΕ. Αυτή η συνθήκη εκφράζεται με τον ακόλουθο περιορισμό, ο οποίος ορίζει ότι «η πυρηνική ενέργεια δεν μπορεί να λαμβάνει περισσότερο από 30% του συνολικού διαθέσιμου κεφαλαίου»:

$$Subsidy(Nuclear, j) * B(Nuclear, j) < 0.3 * maxBudget, \forall j = 1 \dots 10$$

4. Ο επόμενος περιορισμός επιτρέπει τον καθορισμό συγκεκριμένων προτιμήσεων ενεργειακών τεχνολογιών. Μέσω αυτού του συγκεκριμένου περιορισμού, τα αιολικά και τα ΦΒ προτιμώνται ως κυρίαρχοι τεχνολογικοί πόροι, και η κατανομή του προϋπολογισμού σε τέτοιες τεχνολογίες πρέπει να είναι συνολικά μεγαλύτερη ή ίση του 40% του συνολικού διαθέσιμου προϋπολογισμού.

$$Subsidy(PV, j) * B(PV, j) + Subsidy(wind, j) * B(wind, j) \geq 0.4 maxBudget, \forall j = 1 \dots 10$$

5. Προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι μόνο μία επιλογή προϋπολογισμού κατανέμεται ανά τεχνολογία, χρησιμοποιείται και ο ακόλουθος περιορισμός:

$$\sum_{j=1}^{10} B(i, j) \leq 1, \forall i = 1 \dots 6$$

Αυτός ο περιορισμός εξασφαλίζει ότι, στην περίπτωση αγοράς νέας τεχνολογίας με ένα συγκεκριμένο ποσό του προϋπολογισμού, η αγορά της ίδιας τεχνολογίας με άλλο ποσό του προϋπολογισμού δεν είναι εφικτή.

Μία επισκόπηση της διαμόρφωσης του προβλήματος συνοψίζεται στον [Πίνακα 9.1](#).

Πίνακας 9.1 Επισκόπηση της διαμόρφωσης του προβλήματος AX.

Μεταβλητές απόφασης	Περιγραφή
$B_{i,j}$	Αν $B_{i,j} = 1$, το ζεύγος “ i τεχνολογία και j επιδότηση” εγκρίνεται. Αλλιώς αν $B_{i,j} = 0$, το αντίστοιχο ζεύγος τεχνολογίας-επιδότησης απορρίπτεται.
Αντικειμενικές συναρτήσεις	Περιγραφή
$maximize Z_1$	Μεγιστοποίηση της μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένη επιδότηση.
$maximize Z_2$	Μεγιστοποίηση της ασφάλειας ενεργειακού εφοδιασμού του συστήματος που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη επιδότηση.
Περιορισμοί	Περιγραφή

Περιορισμός προϋπολογισμού	Τα συνολικά κόστη υλοποίησης πρέπει να είναι λιγότερα του 35% του μέγιστου (δηλαδή της περίπτωσης όλες οι τεχνολογίες να επιδοτηθούν στο 100%).
Στόχος μείωσης εκπομπών	Η συνολική μείωση εκπομπών να είναι υψηλότερη του 40% του μέγιστου (δηλαδή της περίπτωσης όλες οι τεχνολογίες να επιδοτηθούν στο 100%).
Περιορισμός πυρηνικής ενέργειας	Η συμμετοχή της πυρηνικής ενέργειας δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη του 30%.
Κυριαρχία αιολικών και ΦΒ	Περισσότερο από το 40% του συνολικού διαθέσιμου κεφαλαίου πρέπει να κατανεμηθεί σε αιολικά και ΦΒ.
Περιορισμός μοναδικού ποσού επιδότησης	Μία επιλογή προϋπολογισμού μπορεί να επιλεγεί ανά τεχνολογία.

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η συμμετοχή κάθε τεχνολογίας στην ενεργειακή ασφάλεια και τη μείωση εκπομπών συνδέεται με ένα συγκεκριμένο κόστος υλοποίησης (μεταβλητή j). Με αυτό, και λαμβάνοντας υπόψιν (α) το συνολικό διαθέσιμο ποσό που το κόστος υλοποίησης όλων των τεχνολογιών δεν δύναται να υπερβαίνει και (β) τις αντικειμενικές συναρτήσεις, το μοντέλο αναγνωρίζει τις εναλλακτικές (χαρτοφυλάκια τεχνολογιών) που δίνουν τη μέγιστη συνεισφορά στην ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού και τη μείωση εκπομπών, με το ελάχιστο κόστος επένδυσης, περιλαμβάνοντας επομένως την έννοια της οικονομικής αποδοτικότητας.

9.4.2 Δεδομένα εισόδου

Η μελέτη χρησιμοποιεί το GCAM για την ποσοτικοποίηση των οφελών της μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη συνεισφορά κάθε τεχνολογίας στην ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού της ΕΕ, για διαφορετικά ποσά επιδοτήσεων. Όπως απαιτείται από το προηγούμενο βήμα, δέκα επίπεδα επιδοτήσεων ορίζονται και η μοναδική τους διάδραση με τα δύο κριτήρια βελτιστοποίησης αξιολογείται για καθεμία εκ των έξι τεχνολογιών, με βάση το μοντέλο GCAM.

Για τον υπολογισμό της επιδότησης, οι μοναδιαίες επιδοτήσεις (\$/μονάδας ενέργειας, από το 10 έως το 100% του σταθμισμένου κόστους ενέργειας κάθε τεχνολογίας) πολλαπλασιάζονται με την κατανάλωση ηλεκτρισμού της κάθε τεχνολογίας το 2050. Το σταθμισμένο κόστος ενέργειας υπολογίζεται από ένα μικτό σύνολο δεδομένων κόστους κεφαλαίου και λειτουργίας/συντήρησης, αποδοτικότητας, συντελεστών ισχύος, κλπ. Οι υποθέσεις μοντελοποίησης της εφαρμογής καταγράφονται από τους Muratori et al. (2017). Η διαδικασία επιδότησης στην ΕΕ-27 εφαρμόζεται στην περίοδο από το 2020 έως το 2050, προσθέτοντας τα αποτελέσματα για ΕΕ-12 και ΕΕ-15, οι οποίες αποτελούν δύο ξεχωριστές περιοχές της ΕΕ προκαθορισμένες στο μοντέλο GCAM 4.3.

Η ασφάλεια εφοδιασμού υπολογίζεται ως η ενέργεια που παράγεται στην περιοχή, δια τη συνολική ενέργεια που καταναλώνεται στην περιοχή. Τα δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης για τα έτη βάσης (έως το 2010) παρέχεται από την International Energy Agency (IEA) και προσομοιώνεται από το GCAM έως το 2050.

Η μελλοντική ηλεκτροπαραγωγή από ορυκτά καύσιμα λαμβάνεται από εκτιμήσεις της ΙΕΑ. Η εγχώρια παραγωγή και κατανάλωση βιομάζας επίσης εξάγονται από το μοντέλο. Τέλος, υποτίθεται ότι όλες οι ανανεώσιμες πηγές (ΦΒ και ΣΗΕ, αιολικά, γεωθερμία και υδροηλεκτρικά) και η πυρηνική ενέργεια παράγονται και καταναλώνονται εντός της περιοχής.

Το πιο ενδιαφέρον εύρημα αυτού του βήματος ([Πίνακας 9.2](#)) είναι ότι, όπως αναμενόταν, η επιδότηση των διαφορετικών πηγών πράσινης ενέργειας θα οδηγούσε σε θετικές και σημαντικές μειώσεις εκπομπών. Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά κάθε τεχνολογίας (π.χ. κόστος, διακοπτότητα ή χρόνος ζωής) έχουν ως αποτέλεσμα τη διαφοροποίηση των μονοπατιών μείωσης εκπομπών για κάθε τεχνολογία.

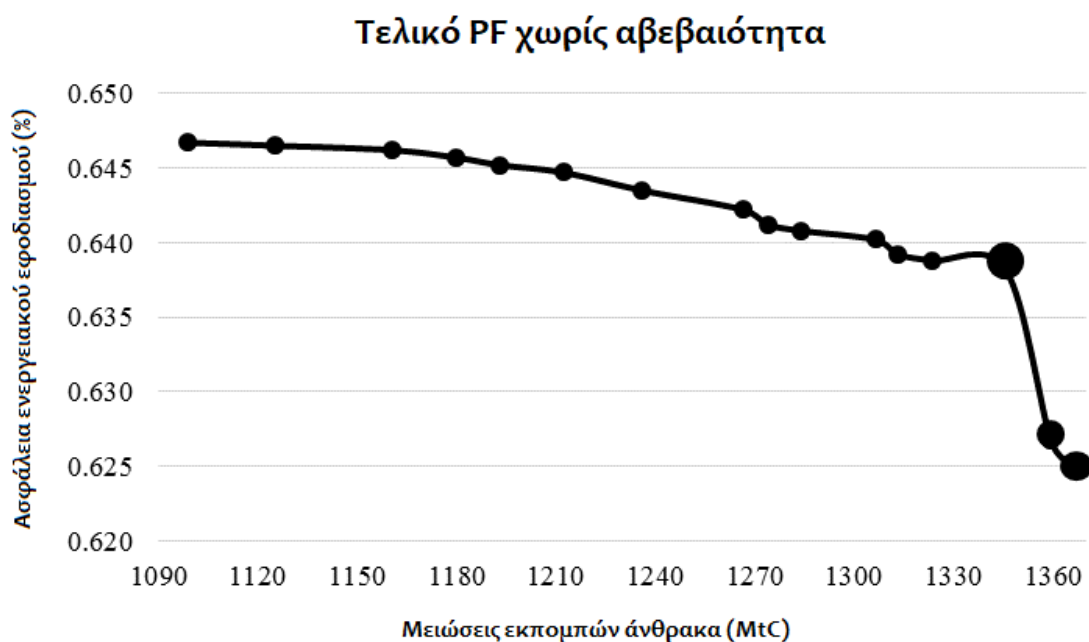
Πίνακας 9.2 Μέγιστη συνεισφορά κάθε τεχνολογίας.

Τεχνολογία	Μέγιστη ασφάλεια εφοδιασμού	Μέγιστες μειώσεις εκπομπών άνθρακα
ΦΒ	80.9%	510.86 MTC
ΣΗΕ	53.2%	93.20 MTC
Αιολικά	70.0%	296.55 MTC
Πυρηνική ενέργεια	95.1%	730.20 MTC
Βιομάζα	48.6%	322.08 MTC
ΔΑΑ	48.0%	157.93 MTC

Υποθέτοντας ότι οι ανανεώσιμες πηγές και η πυρηνική ενέργεια παράγονται και καταναλώνονται εντός της ΕΕ, η επιδότηση αυτών των πηγών ωφελεί την ασφάλεια εφοδιασμού. Ωστόσο, αυτή μειώνεται όταν ο προϋπολογισμός ξοδεύεται σε ΔΑΑ και βιομάζα. Αυτό είναι ένα συνεπές εύρημα, επειδή οι πηγές ορυκτών καυσίμων και βιοενέργειας είναι περιορισμένες, επομένως η περιοχή πρέπει να εισάγει αυτούς τους πόρους από το εξωτερικό, εάν η ζήτηση στην ΕΕ αυξηθεί. Επομένως, παρότι η επιδότηση της ΔΑΑ ή της βιομάζας θα σήμαινε σημαντικές μειώσεις εκπομπών ανά μονάδα επιδότησης, αυτή ωστόσο μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα ασφάλειας ενεργειακού εφοδιασμού.

9.4.3 Διαχείριση αβεβαιότητας και αξιολόγηση ευρωστίας

Κατόπιν επιλογής των δεδομένων εισόδου, εκτελείται το μοντέλο ΑΧ που περιγράφεται στο πρώτο βήμα, καταλήγοντας σε ένα σύνολο βέλτιστων χαρτοφυλακίων, δηλαδή το PF, η ευρωστία του οποίου στη συνέχεια αξιολογείται σε αυτό το βήμα. Το PF απεικονίζεται στην [Εικόνα 9.3](#), στην οποία επίσης τονίζονται τα πλέον εύρωστα χαρτοφυλάκια. Αυτό γίνεται ευκολότερα κατανοητό αν ληφθεί υπόψη ότι η [Εικόνα 9.3](#) αντιστοιχεί στον 6^ο γύρο της εφαρμογής της ΙΤΑ, δηλαδή σε αυτόν που υποθέτει τυπική απόκλιση $\sigma = 0\%$, αντιστοιχώντας δηλαδή σε εκείνο το PF που αγνοεί την αβεβαιότητα, όπως περιγράφεται παρακάτω.



Εικόνα 9.3 Τελικό μέτωπο Pareto εύρωστων χαρτοφυλακίων, χωρίς αβεβαιότητα.

Η αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει τον υπολογισμό των τεχνολογικών επιδόσεων, αναφορικά με τη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη συνεισφορά στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού, εκφράζεται με την εισαγωγή κανονικών κατανομών για τις τιμές των σχετικών τεχνολογιών. Ειδικά, η μέση τιμή των κανονικών κατανομών τίθεται ίση με τις υπολογισθείσες τιμές, όπως προκύπτουν από τις εκτελέσεις του μοντέλου GCAM, και η τυπική απόκλιση των επαναλήψεων τίθεται ίση με 5%, 4%, 3%, 2%, 1% και 0%, αντιστοιχώντας έτσι σε έξι γύρους της ΙΤΑ. Όλη η διαδικασία (κατασκευή μοντέλου, δειγματοληψία, δημιουργία συνόλων Pareto) υλοποιείται στην πλατφόρμα GAMS. 1,000 επαναλήψεις Monte Carlo εκπονούνται για κάθε υπολογιστικό γύρο της ΙΤΑ. Αξίζει να σημειωθεί ότι, στην συγκεκριμένη εφαρμογή, τέθηκε ένα κατώφλι αποδοχής ίσο με 94% (εάν ένα χαρτοφυλάκιο είναι παρόν στο 94% των συνόλων Pareto, δηλαδή στις 940 από τις 1,000 επαναλήψεις).

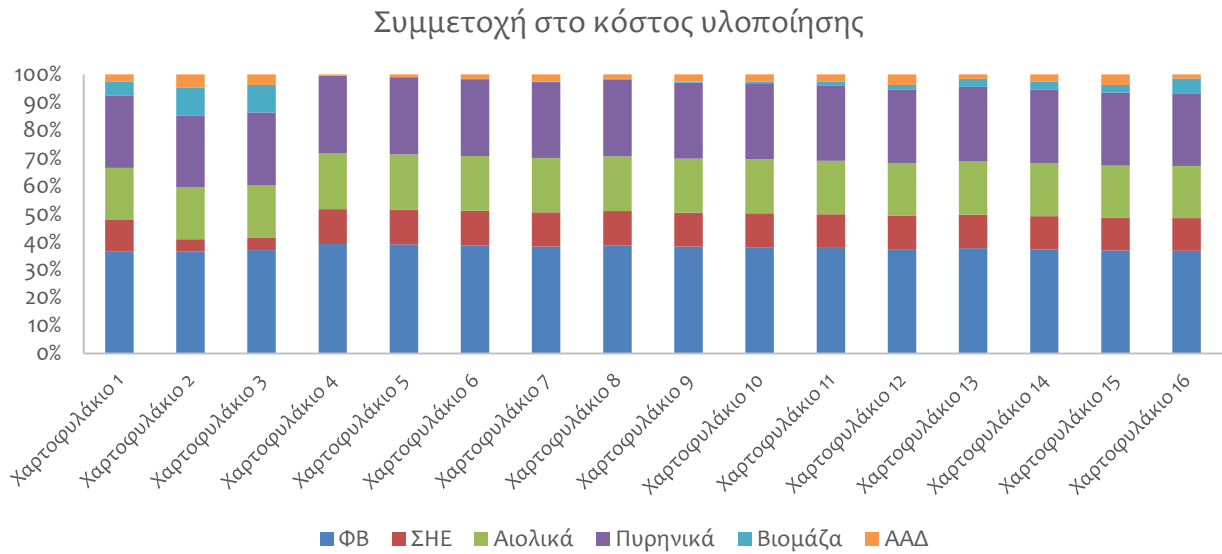
Τα αποτελέσματα της πολυστοχικής ΙΤΑ φαίνονται στον [Πίνακα 9.3](#). Υπάρχουν συνολικά 842 Pareto βέλτιστα χαρτοφυλάκια που συμμετέχουν σε 1,000 σύνολα Pareto του αρχικού γύρου. Σε επόμενες επαναλήψεις, η τυπική απόκλιση των κατανομών δειγματοληψίας μειώνεται, όπως φαίνεται στην πρώτη στήλη του [Πίνακα 9.3](#). Εν τέλει, στον τελικό γύρο λαμβάνεται το τελικό PS· αυτό αποτελείται από 16 Pareto βέλτιστα χαρτοφυλάκια τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής. Η πρόσθετη αξία που δίνει η ΙΤΑ έγκειται στην αποκάλυψη ποιων εκ των 16 αυτών χαρτοφυλακίων μπορούν να θεωρηθούν πιο βέβαια από άλλα. Ο βαθμός βεβαιότητας για κάθε χαρτοφυλάκιο συνδέεται άμεσα με τον αντίστοιχο γύρο στον οποίο αυτό εισάγεται στο πράσινο σύνολο (όσο πιο σύντομα ένα χαρτοφυλάκιο εισάγεται στο πράσινο σύνολο, τόσο πιο βέβαιοι μπορούν να αισθάνονται οι αποφασίζοντες για το χαρτοφυλάκιο αυτό).

Πίνακας 9.3 Αποτελέσματα της ΙΤΑ.

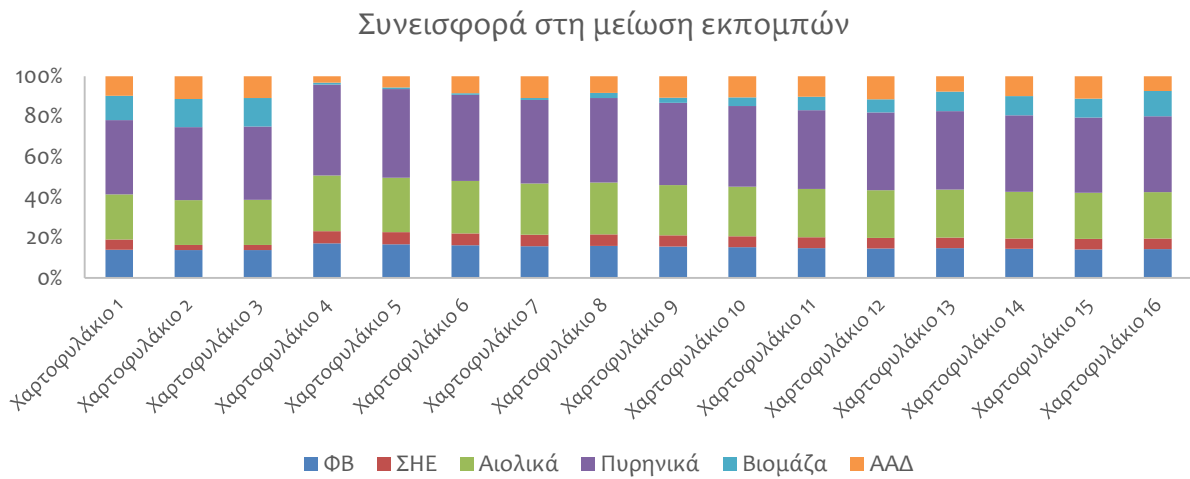
		Πράσινο	Κόκκινο	Γκρι
$\sigma = 5\%$	Γύρος 1	0	0	842
$\sigma = 4\%$	Γύρος 2	0	321	521
$\sigma = 3\%$	Γύρος 3	1	546	295
$\sigma = 2\%$	Γύρος 4	2	704	136
$\sigma = 1\%$	Γύρος 5	3	779	60
$\sigma = 0\%$	Γύρος 6	16	826	0

Το τελικό σύνολο των 16 Pareto βέλτιστων χαρτοφυλακίων με τα πιο εύρωστα χαρτοφυλάκια να τονίζονται στην [Εικόνα 9.3](#) αναλύεται περαιτέρω στην [Εικόνα 9.4](#).

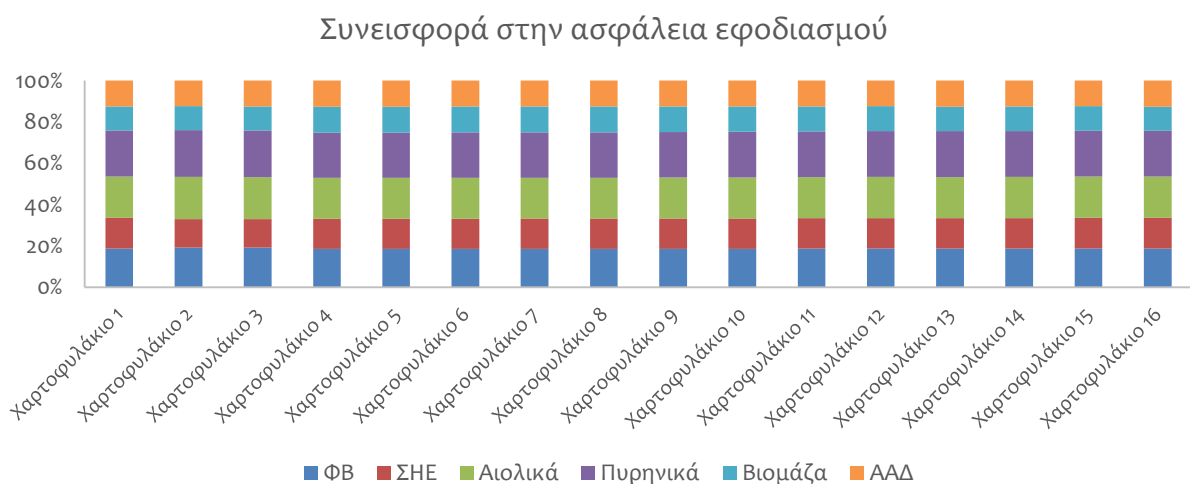
Το χαρτοφυλάκιο που αντιστοιχεί στη μέγιστη ευρωστία παρουσιάζει συνεισφορά στην ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού κατά 93,82% και μείωση εκπομπών άνθρακα κατά 1,345.8 MtC, και αναλύεται περαιτέρω στον [Πίνακα 9.4](#). Αξίζει να σημειωθεί ότι η ΔΑΑ και η βιομάζα έχουν σχετικά μικρή συμμετοχή στον προϋπολογισμό του χαρτοφυλακίου, παρότι χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση στη μείωση εκπομπών· ανεξάρτητα από τη δυνατότητα επένδυσης μεγαλύτερων ποσών, υψηλότερες επενδύσεις σε αυτές τις δύο τεχνολογίες θα είχαν αρνητική επίδραση στην αντιστάθμιση ασφάλειας εφοδιασμού και μείωσης εκπομπών. Τα δύο αμέσως επόμενα πιο εύρωστα χαρτοφυλάκια περιλαμβάνουν σημαντικά χαμηλότερες επιδοτήσεις στα συστήματα ΣΗΕ, ενώ οι αντίστοιχες επιδοτήσεις στη βιομάζα και την ΔΑΑ διπλασιάζονται. Ωστόσο, η συνεισφορά των ΦΒ, των αιολικών και της πυρηνικής ενέργειας στο επενδυτικό μίγμα φαίνεται να είναι συνεπής κατά μήκος του συνόλου των εύρωστων χαρτοφυλακίων. Το τελικό PF επίσης υποδεικνύει μία μείωση της ασφάλειας εφοδιασμού μεταξύ των πιο εύρωστων χαρτοφυλακίων. Αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι, καθώς η βιομάζα είναι πιο πιθανό να εισάγεται, μεγαλύτερες επενδύσεις σε αυτήν την τεχνολογία θα είχαν αρνητικό αντίκτυπο στην ασφάλεια εφοδιασμού. Το ίδιο ισχύει και για τα ορυκτά καύσιμα, άρα και για τις τεχνολογίες ΔΑΑ.



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 9.4 Συμμετοχή στο κόστος υλοποίησης, στη μείωση εκπομπών και στην ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού των δεκαέξι Pareto βέλτιστων χαρτοφυλακίων.

Πίνακας 9.4 Συμμετοχή κάθε τεχνολογίας στα εύρωστα χαρτοφυλάκια.

<i>Τεχνολογία</i>	<i>Συνεισφορά στην ασφάλεια εφοδιασμού του χαρτοφυλακίου</i>	<i>Συνεισφορά στη μείωση εκπομπών του χαρτοφυλακίου</i>	<i>Μερίδιο του συνολικού προϋπολογισμού του χαρτοφυλακίου</i>
Χαρτοφυλάκιο 1			
ΦΒ	18.80%	13.91%	36.41%
ΣΗΕ	14.83%	5.03%	11.61%
Αιολικά	19.98%	22.53%	18.49%
Πυρηνική	22.25%	36.79%	25.81%
Βιομάζα	11.60%	12.10%	5.16%
ΔΑΑ	12.54%	9.64%	2.52%
Εύρος συνεισφορών των τεχνολογιών στα εύρωστα χαρτοφυλάκια 1-16			
ΦΒ	18.56% - 19.20%	13.71% - 17.05%	36.41% - 39.19%
ΣΗΕ	13.78% - 14.83%	2.59% - 6.16%	4.36% - 12.51%
Αιολικά	19.72% - 20.40%	22.20% - 27.60%	18.49% - 19.92%
Πυρηνική	21.96% - 22.72%	36.25% - 45.06%	25.81% - 27.79%
Βιομάζα	11.52% - 12.55%	0.85% - 14.09%	0.13% - 9.89%
ΔΑΑ	12.27% - 12.67%	3.21% - 11.44%	0.45% - 4.87%

9.5 Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη διασυνδέει δύο μοντέλα για τη διερεύνηση πιθανών στρατηγικών δράσης για την ενέργεια και το κλίμα, δηλαδή ενός ΜΟΑ και ενός μοντέλου ΑΧ. Η εφαρμογή συγκεκριμένα εστιάζει στην αξιολόγηση των επιλογών ηλεκτροπαραγωγής στην ΕΕ-27 σε μία χρονική κλίμακα έως το 2050. Η ανάλυση ενσωματώνει τα αποτελέσματα του μοντέλου GCAM σε ένα μοντέλο παραγωγής χαρτοφυλακίων, το οποίο παράλληλα διαχειρίζεται την αβεβαιότητα στοχαστικά. Το αποτέλεσμα της προτεινόμενης προσέγγισης είναι ένα σύνολο βέλτιστων χαρτοφυλακίων ηλεκτροπαραγωγής, μεταξύ των οποίων επιλέγεται το πλέον εύρωστο.

Τα αποτελέσματα δίνουν μία εκτίμηση του πώς πρέπει να καταναμηθεί ο προϋπολογισμός επιδότησης των διαθέσιμων τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρισμού. Η ανάλυση δείχνει ότι πρέπει να δοθεί

προτεραιότητα σε τεχνολογίες όπως τα ΦΒ, τα αιολικά και η πυρηνική ενέργεια, ενώ επενδύσεις σε βιομάζα, ΔΑΑ και ΣΗΕ φαίνεται να συνεισφέρουν λιγότερο στο ευρωπαϊκό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής, λαμβάνοντας υπόψιν τον χρονικό ορίζοντα και τους δύο στόχους του προβλήματος, δηλαδή τη μείωση εκπομπών άνθρακα και την ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού. Περαιτέρω ανάλυση της εσωτερικής στοχαστικής αβεβαιότητας υποδεικνύει ότι οι τρεις τεχνολογίες με τα μεγαλύτερα μερίδια στον προϋπολογισμό των χαρτοφυλακίων επίσης φαίνεται να είναι οι πλέον εύρωστες, στο πλαίσιο του συγκεκριμένου προβλήματος. Παρέχονται, επομένως, στους φορείς χάραξης πολιτικής ξεκάθαρες συστάσεις υπέρ των ΦΒ, αιολικών και πυρηνικών σταθμών, καθώς και ευελιξία επιλογής ανάμεσα σε διαφορετικές εναλλακτικές σχετικά με τα μερίδια των ΔΑΑ, ΣΗΕ και βιομάζας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής εξαρτώνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις μοντελικές υποθέσεις· τα αποτελέσματα πρέπει να μεταφραστούν προσεκτικά, λαμβάνοντας υπόψιν τις υποθέσεις που διατυπώνονται στην [Ενότητα 9.4.2](#). Για παράδειγμα, η εισαγωγή άλλων τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής (π.χ. γεωθερμίας) ή ενεργειακής αποδοτικότητας θα μπορούσαν να έχουν επίδραση στα τελικά χαρτοφυλάκια επιδοτήσεων και επομένως αποτελούν μία ενδιαφέρουσα μελλοντική κατεύθυνση της προτεινόμενης έρευνας.

Περαιτέρω προοπτικές για τον εμπλουτισμό του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου πιθανώς περιλαμβάνουν την ολοκλήρωση του μοντέλου AX με άλλα ΜΟΑ, τα οποία καλύπτουν ένα πιο ολοκληρωμένο σύνολο σχετικών εκπομπών και ένα διαφορετικό επίπεδο γεωγραφικής ή τομεακής λεπτομέρειας από το GCAM. Μία τέτοια ολοκληρωμένη προσέγγιση θα μπορούσε να επεκταθεί και στην υποτιθέμενη οικονομική θεωρία του μοντέλου, ενσωματώνοντας επιπροσθέτως την υπομονάδα της AX με μοντέλα γενικής ισορροπίας ή μακροοικονομικά, και μεταθέτοντας την εστίαση από ζητήματα που τονίζονται από τη μοντελοποίηση της μερικής ισορροπίας, μεγιστοποιώντας έτσι την ευρωστία των ευρημάτων.

Τέλος, πρέπει να τονισθεί ότι, παρότι η προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση είναι ευθυγραμμισμένη με το προτεινόμενο επιστημονικό υπόδειγμα της διδακτορικής διατριβής ([Doukas et al., 2018](#)), όπως αυτό αναλύεται στο [Κεφάλαιο 2](#), αναφορικά με τη διαχείριση ή καλύτερη κατανόηση της αβεβαιότητας, σε αυτήν δεν εμπλέκονται ενεργά οι εμπειρογνώμονες ([Doukas and Nikas, 2019](#)). Υπάρχει μεγάλο περιθώριο βελτίωσης της μελέτης, επομένως, προς αυτήν την κατεύθυνση, για την καλύτερη κατανόηση των στρατηγικών και κινήτρων των εμπειρογνομώνων ([Turnheim et al., 2015](#)), καθώς και για την αξιοποίηση της γνώσης τους προς μείωση των σχετικών αβεβαιοτήτων ([Nikas et al., 2017](#)).

Ένα πλέον ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο, πλήρως ευθυγραμμισμένο με το προτεινόμενο επιστημονικό υπόδειγμα, παρουσιάζεται και αναλύεται λεπτομερώς στο [Κεφάλαιο 12](#).

9.6 Βιβλιογραφία

- Arvesen, A., Luderer, G., Pehl, M., Bodirsky, B.L., Hertwich, E.G., 2018. Deriving life cycle assessment coefficients for application in integrated assessment modelling. *Environ. Model. Softw.* 99, 111–125. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.09.010>
- Awerbuch, S., 2004. Portfolio-based electricity generation planning: implications for renewables and energy security. Prepared as part of a demonstration project funded by REEEP and UNEP and conducted in collaboration with ECN of The Netherlands, the basel agency for sustainable energy (BASE), and project partners: CDER (Morocco), IIE (Mexico) and TERI (India). http://www.awerbuch.com/shimonpages/shimon-docs/unepfco_portfolio.pdf.
- Awerbuch, S., Berger, M., 2003. Applying portfolio theory to EU electricity planning and policy-making, IEA/EET working paper, EET/2003/03. <http://www.awerbuch.com/shimonpages/shimondocs/iea-portfolio.pdf>.
- Awerbuch, S., Yang, S., 2007. Efficient electricity generating portfolios for Europe: maximising energy security and climate change mitigation, A. Riess (Ed.), European investment bank papers, 12, EIB: Luxembourg (2007), pp. 8-37. http://www.eib.org/attachments/efs/eibpapers/eibpapers_2007_v12_n02_en.pdf.
- Baker, E., Solak, S., 2011. Climate change and optimal energy technology R&D policy. *Eur. J. Oper. Res.* 213, 442–454. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.03.046>
- Cappuyns, V., 2016. Inclusion of social indicators in decision support tools for the selection of sustainable site remediation options. *J. Environ. Manage., Sustainable Remediation* 184, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.035>
- Chiandussi, G., Codegone, M., Ferrero, S., Varesio, F.E., 2012. Comparison of multi-objective optimization methodologies for engineering applications. *Comput. Math. Appl.* 63, 912–942. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2011.11.057>
- Collins, W.D., Craig, A.P., Truesdale, J.E., Di Vittorio, A.V., Jones, A.D., Bond-Lamberty, B., Calvin, K.V., Edmonds, J.A., Kim, S.H., Thomson, A.M., Patel, P., Zhou, Y., Mao, J., Shi, X., Thornton, P.E., Chini, L.P., Hurtt, G.C., 2015. The integrated Earth system model version 1: formulation and functionality. *Geosci Model Dev* 8, 2203–2219. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-2203-2015>
- Delarue, E., De Jonghe, C., Belmans, R., D'haeseleer, W., 2011. Applying portfolio theory to the electricity sector: Energy versus power. *Energy Econ.* 33, 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.05.003>
- deLlano-Paz, F., Calvo-Silvosa, A., Antelo, S.I., Soares, I., 2017. Energy planning and modern portfolio theory: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 77, 636–651. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.045>
- Doukas, H., 2013. Modelling of linguistic variables in multicriteria energy policy support. *European Journal of Operational Research.* 227, 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.11.026>
- Doukas, H., & Nikas, A. (2019). Decision Support Models in Climate Policy. *European Journal of Operational Research*, in press.

- Doukas, H., Nikas, A., González-Eguino, M., Arto, I., Anger-Kraavi, A., 2018. From Integrated to Integrative: Delivering on the Paris Agreement. *Sustainability*, 10, 2299. <https://doi.org/10.3390/su10072299>
- E3MLab, 2014. Primes Model 2013-2014, Detailed model description. https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/strategies/analysis/models/docs/primes_model_2013-2014_en.pdf
- Ebi, K.L., Hallegatte, S., Kram, T., Arnell, N.W., Carter, T.R., Edmonds, J., Kriegler, E., Mathur, R., O'Neill, B.C., Riahi, K., Winkler, H., Vuuren, D.P.V., Zwickel, T., 2014. A new scenario framework for climate change research: background, process, and future directions. *Clim. Change* 122, 363-372. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0912-3>
- Elton, E.J., Gruber, M.J., 1997. Modern portfolio theory, 1950 to date. *J. Bank. Finance* 21, 1743-1759. [https://doi.org/10.1016/S0378-4266\(97\)00048-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4266(97)00048-4)
- European Commission (EC), 2016a. The roadmap for transforming the EU into a competitive, low-carbon economy by 2050. https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/2050_roadmap_en.pdf.
- European Commission (EC), 2016b. 2050 low-carbon economy. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en (accessed 11.8.17).
- Eurostat, 2017. Climate change - driving forces. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Climate_change_-_driving_forces (accessed 11.10.17).
- Fisher, B., Flannery, B.P., Marangoni, G., McJeon, H., Rogner, H., Hilaire, J., Edmonds, J., Riahi, K., Clarke, L., Tavoni, M., Bauer, N., Mi, R., Krey, V., 2014. Limited impact on decadal-scale climate change from increased use of natural gas. *Nature* 514, 482. <https://doi.org/10.1038/nature13837>
- Forouli, A., Gkonis, N., Nikas, A., Siskos, E., Doukas, H., & Tourkolias, C. (2019). Energy efficiency promotion in Greece in light of risk: Evaluating policies as portfolio assets. *Energy*, 170, 818-831.
- Haimes, Y. V. (1971). On a bicriterion formulation of the problems of integrated system identification and system optimization. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 1(3), 296-297.
- Hamilton, S.H., ElSawah, S., Guillaume, J.H.A., Jakeman, A.J., Pierce, S.A., 2015. Integrated assessment and modelling: Overview and synthesis of salient dimensions. *Environ. Model. Softw.* 64, 215-229. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.12.005>
- Hickey, E.A., Lon Carlson, J., Loomis, D., 2010. Issues in the determination of the optimal portfolio of electricity supply options. *Energy Policy, Greater China Energy: Special Section with regular papers* 38, 2198-2207. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.12.006>
- Hombach, L.E., Walther, G., 2015. Pareto-efficient legal regulation of the (bio)fuel market using a bi-objective optimization model. *Eur. J. Oper. Res.* 245, 286-295. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.02.039>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I.

- Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jakeman, A.J., Letcher, R.A., 2003. Integrated assessment and modelling: features, principles and examples for catchment management. *Environ. Model. Softw.*, Applying Computer Research to Environmental Problems 18, 491–501. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00024-0](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00024-0)
- Jano-Ito, M.A., Crawford-Brown, D., 2017. Investment decisions considering economic, environmental and social factors: An actors' perspective for the electricity sector of Mexico. *Energy* 121, 92–106. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.016>
- JGCRI, 2017. Global Change Assessment Model | Joint Global Change Research Institute [WWW Document], URL <http://www.globalchange.umd.edu/gcam/> (accessed 11.10.17).
- Joint Research Centre, 2013. The JRC-EU-TIMES model Assessing the long-term role of the SET Plan Energy technologies. doi: 10.2790/97596
- Keshavarz, E., Toloo, M., 2015. Efficiency status of a feasible solution in the Multi-Objective Integer Linear Programming problems: A DEA methodology. *Appl. Math. Model.* 39, 3236–3247. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.11.032>
- Krey, V., 2014. Global energy-climate scenarios and models: a review. *Wiley Interdiscip. Rev. Energy Environ.* 3, 363–383. <https://doi.org/10.1002/wene.98>
- Lahtinen, T.J., Hämäläinen, R.P., Liesiö, J., 2017. Portfolio decision analysis methods in environmental decision making. *Environ. Model. Softw.* 94, 73–86. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.04.001>
- Lempert, R.J., Warren, D., Henry, R., Button, R.W., Klenk, J., Giglio, K., 2016. Defense Resource Planning Under Uncertainty: An Application of Robust Decision Making to Munitions Mix Planning. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2016. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1112.html. (accessed 11.24.17).
- Mavrotas, G., 2009. Effective implementation of the ϵ -constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems. *Appl. Math. Comput.* 213, 455–465. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2009.03.037>
- Mavrotas, G., Florios, K., 2013. An improved version of the augmented ϵ -constraint method (AUGMECON₂) for finding the exact pareto set in multi-objective integer programming problems. *Appl. Math. Comput.* 219, 9652–9669. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2013.03.002>
- Mavrotas, G., Pechak, O., 2013. Combining Mathematical Programming and Monte Carlo Simulation to Deal with Uncertainty in Energy Project Portfolio Selection, in: *Assessment and Simulation Tools for Sustainable Energy Systems, Green Energy and Technology*. Springer, London, pp. 333–356. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5143-2_16
- Mazidi, M., Monsef, H., Siano, P., 2016. Design of a risk-averse decision making tool for smart distribution network operators under severe uncertainties: An IGDT-inspired augment ϵ -constraint based multi-objective approach. *Energy* 116, 214–235. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.124>

- Monfreda, C., Ramankutty, N., Hertel, T., 2008. Global Agricultural Land Use Data for Climate Change Analysis (GTAP Working Paper). Center for Global Trade Analysis, Department of Agricultural Economics, Purdue University.
- Muratori, M., Ledna, C., McJeon, H., Kyle, P., Patel, P., Kim, S.H., Wise, M., Kheshgi, H.S., Clarke, L.E., Edmonds, J., 2017. Cost of power or power of cost: A U.S. modeling perspective. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 77, 861–874. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.055>
- Nikas, A., Doukas, H., & López, L. M. (2018). A group decision making tool for assessing climate policy risks against multiple criteria. *Heliyon*, 4(3), e00588.
- Nikas, A., Doukas, H., & Papandreou, A. (2019). A detailed overview and consistent classification of climate-economy models. In *Understanding Risks and Uncertainties in Energy and Climate Policy* (pp. 1-54). Springer, Cham.
- Nikas, A., Doukas, H., Lieu, J., Alvarez Tinoco, R., Charisopoulos, V., & van der Gaast, W. (2017). Managing stakeholder knowledge for the evaluation of innovation systems in the face of climate change. *Journal of Knowledge Management*, 21(5), 1013-1034.
- On a Bicriterion Formulation of the Problems of Integrated System Identification and System Optimization, 1971. . *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. SMC-1*, 296–297. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1971.4308298>
- Pachauri, R.K., Meyer, L., Plattner, G.-K., Stocker, T., 2015. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.
- Peniwati, K., 2007. Criteria for evaluating group decision-making methods. *Math. Comput. Model., Decision Making with the Analytic Hierarchy Process and the Analytic Network Process* 46, 935–947. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2007.03.005>
- Pérez Odeh, R., Watts, D., Negrete-Pincetic, M., 2018. Portfolio applications in electricity markets review: Private investor and manager perspective trends. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 81, 192–204. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.031>
- Pietzcker, R.C., Ueckerdt, F., Carrara, S., de Boer, H.S., Després, J., Fujimori, S., Johnson, N., Kitous, A., Scholz, Y., Sullivan, P., Luderer, G., 2017. System integration of wind and solar power in integrated assessment models: A cross-model evaluation of new approaches. *Energy Econ.* 64, 583–599. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.11.018>
- Pugh, G., Clarke, L., Marlay, R., Kyle, P., Wise, M., McJeon, H., Chan, G., 2011. Energy R&D portfolio analysis based on climate change mitigation. *Energy Econ., Special Issue on The Economics of Technologies to Combat Global Warming* 33, 634–643. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.11.007>
- Rayat, F., Musavi, M., Bozorgi-Amiri, A., 2017. Bi-objective reliable location-inventory-routing problem with partial backordering under disruption risks: A modified AMOSA approach. *Appl. Soft Comput.* 59, 622–643. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.06.036>

- Scott, M. J., Sands, R. D., Edmonds, J., Liebetrau, A. M., Engel, D. W., 1999. Uncertainty in integrated assessment models: modeling with MiniCAM 1.0. *Energy Policy*. 27, 855-879. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(99\)00057-9](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(99)00057-9)
- Shi, W., Ou, Y., Smith, S.J., Ledna, C.M., Nolte, C.G., Loughlin, D.H., 2017. Projecting state-level air pollutant emissions using an integrated assessment model: GCAM-USA. *Appl. Energy* 208, 511-521. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.122>
- Turnheim, B., Berkhout, F., Geels, F., Hof, A., McMeekin, A., Nykvist, B., & van Vuuren, D. (2015). Evaluating sustainability transitions pathways: Bridging analytical approaches to address governance challenges. *Global Environmental Change*, 35, 239-253.
- Urban, F. R. M. J., Benders, R. M. J., Moll, H. C., 2007. Modelling energy systems for developing countries. *Energy Policy*. 35, 3473-3482. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.025>
- Uusitalo, L., Lehtikoinen, A., Helle, I., Myrberg, K., 2015. An overview of methods to evaluate uncertainty of deterministic models in decision support. *Environ. Model. Softw.* 63, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.09.017>
- Valentine, S.V., 2011. Emerging symbiosis: Renewable energy and energy security. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15, 4572-4578. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.095>
- van Vliet, M., Kok, K., Veldkamp, T., 2010. Linking stakeholders and modellers in scenario studies: The use of Fuzzy Cognitive Maps as a communication and learning tool. *Futures* 42, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2009.08.005>
- Vuuren, D.P. van, Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K., 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Clim. Change* 109, 5. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- Weyant, J., 2017. Some Contributions of Integrated Assessment Models of Global Climate Change. *Rev. Environ. Econ. Policy* 11, 115-137. <https://doi.org/10.1093/reep/rew018>
- Xidonas, P., Doukas, H., Mavrotas, G., Pechak, O., 2016a. Environmental corporate responsibility for investments evaluation: an alternative multi-objective programming model. *Ann. Oper. Res.* 247, 395-413. <https://doi.org/10.1007/s10479-015-1820-x>
- Xidonas, P., Hassapis, C., Mavrotas, G., Staikouras, C., Zopounidis, C., 2016b. Multiobjective portfolio optimization: bridging mathematical theory with asset management practice. *Ann. Oper. Res.* 1-22. <https://doi.org/10.1007/s10479-016-2346-6>.

10ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΜΟΑ, ΧΣ ΚΑΙ ΑΓΧ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΟΠΑΤΙΩΝ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΟΛΩΝΙΑ

10.1 Εισαγωγή

Το πολωνικό ενεργειακό σύστημα βρίσκεται σε ένα σταυροδρόμι, αντιμέτωπο με μονοπάτια ποικίλων φιλοδοξιών μειώσεων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ένα μονοπάτι αποδέσμευσης από τον άνθρακα (πράσινο μονοπάτι) θα επέτρεπε στην Πολωνία να συνεισφέρει στις παγκόσμιες προσπάθειες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, με στόχο την ελαχιστοποίηση των προβλεπόμενων καταστροφικών κινδύνων. Ταυτόχρονα, ένα τέτοιο μονοπάτι θα περιλάμβανε επίσης θεμελιώδεις μεταβολές στη δομή παραγωγής του ενεργειακού τομέα, συγκριτικά τουλάχιστον με ένα μονοπάτι βάσης (μονοπάτι baseline) εξαρτημένο από τον άνθρακα. Τέτοιες ριζοσπαστικές δομικές αλλαγές ενδέχεται να περιλαμβάνουν κόστη για την οικονομία και την κοινωνία, ειδικά εφόσον περιλαμβάνουν μία σταδιακή κατάργηση του τομέα εξόρυξης άνθρακα, ο οποίος το 2015 απασχολούσε 94,000 εργάτες. Ως εκ τούτου, όπως και σε άλλες χώρες (Hess et al., 2018), στην Πολωνία δημιουργείται πόλωση επί του συγκεκριμένου ενεργειακού ζητήματος.

Ο κύριος στόχος αυτού του κεφαλαίου της διατριβής είναι η συνεισφορά σε αυτήν τη συζήτηση, μέσω της αξιολόγησης πιθανών συνεπειών κάθε μονοπατιού. Συγκεκριμένα, το κεφάλαιο αυτό αποσκοπεί στην έκθεση των πιθανών αρνητικών συνεπειών και των δύο μονοπατιών, στην ει δυνατόν ποσοτικοποίησή τους, και στη συζήτηση υπό ποιες συνθήκες αυτοί δύνανται να διογκωθούν ή να αποφευχθούν.

Προς αυτήν την κατεύθυνση, επιχειρείται μία κλασική οικονομική διερεύνηση των οικονομικών κοστών που σχετίζονται με την μετάβαση, μέσω της αξιοποίησης ενός από κάτω προς τα πάνω ενεργειακού

μοντέλου βέλτιστου μίγματος ηλεκτροπαραγωγής και ενός μακροοικονομικού δυναμικού στοχαστικού μοντέλου γενικής ισορροπίας. Το πρώτο μοντέλο προβλέπει το μίγμα ηλεκτροπαραγωγής ελαχίστου κόστους, με και χωρίς περιβαλλοντικούς (κλιματικούς) περιορισμούς. Το μοντέλο γενικής ισορροπίας μελετά τις σχετικές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις της υιοθέτησης των συγκεκριμένων μιγμάτων, συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων στο ΑΕΠ, τη συνολική κατανάλωση, την ανεργία, και τους μισθούς.

Το ενεργειακό μοντέλο, το οποίο προβλέπει το μίγμα ηλεκτροπαραγωγής της Πολωνίας που ελαχιστοποιεί το κόστος υπό διάφορους πολιτικούς στόχους, έχει αναπτυχθεί από το Τμήμα Στρατηγικής Ανάλυσης της Πολωνίας (Klima et al., 2015). Χρησιμοποιώντας το ίδιο μοντέλο, ωστόσο, η παρούσα ανάλυση διαφοροποιείται σε δύο σημεία. Πρώτον, παρότι η πιο φιλόδοξη πολιτική που θεωρείται από τους Klima et al. (2015) υπέθετε μία μείωση εκπομπών στο μισό, επί του παρόντος υποτίθεται η ανάγκη για μία πλέον φιλόδοξη μείωση, στο 33% των σημερινών επιπέδων. Δεύτερον, τα τρέχοντα κόστη και η αναμενόμενη εξέλιξη των τεχνολογιών χερσαίας και υπεράκτιας αιολικής ενέργειας καθώς και των ΦΒ είναι ενημερωμένα, με βάση την Ετήσια Τεχνολογική Βάση του 2017, όπως συντάχθηκε από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας (Hand et al., 2017). Τα σύνολα δεδομένων βασίζονται στην αμερικανική αγορά.

Υπάρχουν αρκετές μακροοικονομικές μελέτες των επιπτώσεων των κλιματικών πολιτικών στην Πολωνική οικονομία. Η World Bank (2011) και οι Bukowski and Kowal (2010) εφαρμόζουν ένα δυναμικό στοχαστικό μοντέλο γενικής ισορροπίας για να μελετήσουν τις επιπτώσεις αποδέσμευσης της οικονομίας από τον άνθρακα επί του ΑΕΠ της χώρας· ωστόσο, χρησιμοποιούν ένα απλοποιημένο από κάτω προς τα πάνω μοντέλο για την παραγωγή εισόδου για τις προσομοιώσεις, χωρίς δηλαδή να λαμβάνουν υπόψιν για παράδειγμα τη σταδιακή μείωση των κοστών εγκατάστασης των ΑΠΕ ή διαφορετικά καθεστάτα ζήτησης. Πιο πρόσφατα, η Kiivila (2018) εφάρμοσε ένα μοντέλο γενικής ισορροπίας για να μελετήσει τα μακροοικονομικά κόστη των κλιματικών περιορισμών στην Πολωνία. Στην παρούσα μελέτη, όμως, ακολουθείται μία παρόμοια προσέγγιση, η οποία ωστόσο διαφοροποιείται ως προς το μοντέλο που χρησιμοποιείται (δυναμικό στοχαστικό) με δύο τρόπους. Πρώτον, στο μοντέλο της παρούσας ανάλυσης, μία εταιρεία λαμβάνει υπόψιν όχι μόνο τα τρέχοντα κέρδη αλλά και τα αναμενόμενα μελλοντικά κέρδη. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις αποφάσεις επενδύσεων και προσλήψεων: εάν μία εταιρεία αναμένει υψηλή ζήτηση στο μέλλον, είναι πιο πρόθυμη να πραγματοποιήσει επενδύσεις και λιγότερο πρόθυμη να απολύσει εργαζόμενους από ό,τι στην περίπτωση μίας εταιρείας που αναμένει ύφεση. Δεύτερον, το μοντέλο της παρούσας ανάλυσης δεν αγνοεί τους τριγμούς στην αγορά εργασίας, υιοθετώντας ένα πλαίσιο αναζήτησης και αντιστοίχισης. Αυτό το πλαίσιο, το οποίο χρησιμοποιείται συχνά σε σύγχρονα μακροοικονομικά μοντέλα για τη μελέτη των δυναμικών της ανεργίας, υποθέτει ότι, σε κάθε χρονική περίοδο, ένας άνεργος εργάτης αντιμετωπίζει κάποια πιθανότητα πρόσληψης στην επόμενη χρονική περίοδο, ως συνάρτηση του αριθμού των διαθέσιμων θέσεων εργασίας και του αριθμού των δραστήριων αλλά άνεργων πολιτών

(δηλαδή, των μη απασχολούμενων εργατών που αναζητούν εργασία). Μία αύξηση στη ζήτηση για εργασία, π.χ. εξαιτίας επιπρόσθετης ζήτησης που παράγεται από μεγάλης κλίμακας επενδύσεις, θα αυξήσει τόσο τον αριθμό των θέσεων εργασίας όσο και την πιθανότητα εύρεσης εργασίας, με αποτέλεσμα να μειώνει την ανεργία.

Τα αποτελέσματα των μοντέλων βελτιστοποίησης αποτελούν μόνο μία πρόβλεψη ενός βέλτιστου σημείου/διανύσματος. Ως εκ τούτου, ενδέχεται να χαρακτηρίζονται από μεροληψία, εάν σημαντικές επιπτώσεις της επιθυμητής μετάβασης αγνοηθούν, ή εάν οι υποθέσεις σχετικά με τους εξωτερικούς παράγοντες (π.χ. τα κόστη και τα επίπεδα αποδοχής ορισμένων τεχνολογιών ή οι τιμές των αδειών εκπομπών στην ΕΕ) δεν επαληθευτούν. Για τον λόγο αυτό, προσδιορίζονται πολλαπλοί κίνδυνοι συνεπειών αυτής της μετάβασης που παραβλέπονται στο πρώτο βήμα, δηλαδή κατά την κλασική οικονομική ανάλυση, μέσω της χρήσης των ΑΓΧ. Η μεθοδολογία χρησιμοποιείται για την απεικόνιση των πιθανών συνεπειών των δύο μονοπατιών σε ένα διάγραμμα σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος, οι οποίες διασυνδέουν πολιτικές με την οικονομική ανάπτυξη, παρέχοντας παράλληλα τη δυνατότητα συμμετοχής των εμπειρογνομόνων για την αξιολόγηση των εντάσεων αυτών των σχέσεων. Η διαδικασία της ψευδο-ποσοτικοποίησης της σχετικής σημαντικότητας των κινδύνων με την χρήση των καθοδηγούμενων από εμπειρογνώμονες ΑΓΧ πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια μίας ημερίδας/εργαστηρίου στη Βαρσοβία, τον Οκτώβριο 2017. Οι ΑΓΧ έχουν καιρό τώρα χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση πολιτικών (Vergini and Groumpos, 2017), κυρίως αναφορικά με τον περιβαλλοντικό και ενεργειακό σχεδιασμό, καθώς και σε άλλες εφαρμογές (Groumpos, 2010), συμπεριλαμβανομένων των μεταβάσεων και της ανθεκτικότητας (Olazabal and Pascual, 2016), αλλά έχουν παραμείνει σχετικά ανεκμετάλλευτες στη χάραξη κλιματικής πολιτικής, όπου οι περισσότερες μελέτες εστιάζουν στην ποσοτική μοντελοποίηση κλίματος-οικονομίας. Ωστόσο, έχουν υπάρξει περιστάσεις διασύνδεσης των μοντέλων αυτών με ΑΓΧ, σε μία προσπάθεια προσέγγισης των εμπειρογνομόνων και λοιπών ενδιαφερόμενων φορέων στις διαδικασίες μοντελοποίησης καθώς και αξιοποίησης της γνώσης αυτών για την πληρέστερη ενημέρωση των μοντέλων (van Vliet et al., 2010· Mallampalli et al., 2016). Σε αυτό το κεφάλαιο, χρησιμοποιείται η μεθοδολογία των ΑΓΧ, όπως περιγράφεται από τους Nikas and Doukas (2016) και το Κεφάλαιο 6, όπως πρόσφατα εφαρμόστηκε για την αξιολόγηση στρατηγικών ενεργειακής αποδοτικότητας (Nikas et al., 2019b) και την επιλογή πράσινων μονοπατιών για τον Ολλανδικό ενεργειακό τομέα (Nikas et al., 2018).

Τέλος, διερευνάται ο τρόπος με τον οποίον τα αποτελέσματα της αρχικής κλασικής οικονομικής ανάλυσης μεταβάλλονται καθώς τροποποιούνται οι υποθέσεις επί ορισμένων παραμέτρων, και συγκεκριμένα επί των τεχνολογικών κοστών, των τιμών αδειών εκπομπών, και τη διαθεσιμότητα ή κοινωνική αποδοχή της πυρηνικής ενέργειας. Η σημασία αυτών των παραγόντων για την αξιολόγηση των οφελών που σχετίζονται με κάθε μονοπάτι υποστηρίχτηκε από τις απαντήσεις των εμπειρογνομόνων στην άσκηση των ΑΓΧ.

10.2 Κλασική οικονομική ανάλυση

10.2.1 Ορισμός των βασικών εννοιών

Καταρχάς, ορίζονται δύο διαφορετικά μονοπάτια για την Πολωνική οικονομία, το μονοπάτι βάσης (ή baseline) και το πράσινο μονοπάτι, ενώ εξετάζονται οι κίνδυνοι που σχετίζονται και με τα δύο.

Ως μονοπάτι βάσης ορίζεται ο δρόμος που θα επέλεγε ένας κεντρικός σχεδιαστής με σκοπό την ελαχιστοποίηση των κοστών του ενεργειακού συστήματος, υπό ένα σύνολο οικονομικών και τεχνολογικών περιορισμών. Υποτίθεται ότι ένας τέτοιος κεντρικός σχεδιαστής λαμβάνει υπόψη του την αναμενόμενη εξέλιξη των τεχνολογικών κοστών, όπως αυτή προβλέπεται από τους Hand et al. (2017), την αύξηση των τιμών των αδειών εκπομπών στο Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΣΕΔΕΕΕ) από €5/tCO₂ το 2017 σε €80/tCO₂ το 2050, και περιορισμένη διαθεσιμότητα πόρων. Παρότι ο σχεδιαστής λαμβάνει υπόψιν την φορολογία εκπομπών στα ευρωπαϊκά επίπεδα, δεν υποτίθενται όρια επί των συνολικών εκπομπών του ενεργειακού τομέα.

Ως πράσινο μονοπάτι ορίζεται ένα μονοπάτι που θα επέλεγε ένας κεντρικός σχεδιαστής υπό τις ίδιες υποθέσεις και με τον ίδιο στόχο της περίπτωσης του μονοπατιού βάσης, δηλαδή της ελαχιστοποίησης των κοστών του ενεργειακού συστήματος, αλλά με τον επιπρόσθετο περιορισμό μίας μείωσης εκπομπών από τον ενεργειακό τομέα κατά 67%: από 137 εκατομμύρια τόνους το 2015 σε 45 εκατομμύρια τόνους το 2050. Σημειώνεται ότι, σύμφωνα με τους Witajewski-Baltvilks et al. (2018), μία τόσο γενναία μείωση εκπομπών στον ενεργειακό τομέα θα επέτρεπε τη μείωση των κατά κεφαλήν συνολικών εκπομπών CO₂ της πολωνικής οικονομίας κάτω από 3 τόνους έως το 2050. Για λόγους σύγκρισης, το έργο Deep Decarbonisation Pathways Project (DDPP) υποθέτει ότι οι κατά κεφαλήν εκπομπές στη Γερμανία θα βρίσκονται μεταξύ 1 και 3 τόνων κατά κεφαλήν εκπομπών CO₂ το 2050.

Ως κίνδυνος ορίζεται η πιθανότητα ενός φαινομένου, μίας δράσης ή μίας πολιτικής, όταν η έκβαση είναι αβέβαιη, να προκύψουν αρνητικές επιπτώσεις οικονομικής, κοινωνικής ή πολιτισμικής φύσεως. Παρότι στην παρούσα μελέτη γίνεται εστίαση σε οικονομικούς κινδύνους, επιχειρείται επίσης ο προσδιορισμός και η συζήτηση των πλέον σημαντικών κινδύνων που δεν συνδέονται άμεσα με την οικονομία, όπως η απώλεια σε διεθνή φήμη.

10.2.2 Η εργαλειοθήκη

10.2.2.1 Το μοντέλο μακροοικονομικών επιλογών μετριασμού (MEMO)

Το μοντέλο MEMO είναι ένα πολυτομεακό δυναμικό στοχαστικό μοντέλο γενικής ισορροπίας, βαθμονομημένο με βάση τους πίνακες Εισόδου/Εξόδου της Eurostat, το οποίο προσομοιώνει τις

δυναμικές της πολωνικής οικονομίας. Το μοντέλο υποθέτει ότι μία αντιπροσωπευτική εταιρεία σε κάθε οικονομικό τομέα παράγει προϊόν με βάση τέσσερις εισόδους: κεφάλαιο, εργασία, ενέργεια και υλικά/πρώτη ύλη. Η εταιρεία έχει ορισμένες πιθανότητες να αντικαταστήσει μία είσοδο με μία άλλη. Για παράδειγμα, μετά από μία αύξηση της τιμής της ενέργειας, οι εταιρείες δύνανται να επιλέξουν πιο κεφαλαιακά ακριβές αλλά ενεργειακά αποδοτικότερες παραγωγικές διεργασίες. Οι επιλογές των εταιρειών προσδιορίζονται από τη μεγιστοποίηση του κέρδους. Κάθε εταιρεία λαμβάνει υπόψιν όχι μόνο τα τρέχοντα κέρδη αλλά και τα αναμενόμενα μελλοντικά κέρδη. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις αποφάσεις μίας εταιρείας για πιθανές επενδύσεις ή/και προσλήψεις. Ένα σημαντικό δομικό στοιχείο του μοντέλου MEMO είναι η υπομονάδα της αγοράς εργασίας, η οποία χτίζεται στο πλαίσιο της έρευνας και αντιστοίχισης, όπως περιγράφεται και στο [Κεφάλαιο 8](#). Λεπτομερής περιγραφή του μοντέλου παρατίθεται από τους Antosiewicz and Kowal (2016).

10.2.2.2 Το μοντέλο του βέλτιστου ενεργειακού μίγματος (MOEM)

Το μοντέλο MOEM επιλύει το πρόβλημα βελτιστοποίησης που αφορά στην ελαχιστοποίηση των συνολικών κοστών του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής, συμπεριλαμβανομένων των κεφαλαιακών εξόδων (capital expenditures ή CAPEX) και των λειτουργικών εξόδων (operating expenditures ή OPEX), υπό ενός συνόλου φυσικών, οικονομικών και τεχνολογικών περιορισμών. Τα κόστη του συστήματος που εμπεριέχονται στο μοντέλο δεν περιλαμβάνουν τη μεταφορά και αποθήκευση. Έξοδο του μοντέλου αποτελεί η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος, της ηλεκτροπαραγωγής, της χρήσης καυσίμων και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, από το 2015 έως το 2050. Μεταξύ άλλων, το μοντέλο λαμβάνει υπόψιν την εξέλιξη των κοστών για βασικές τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής, τη διαθεσιμότητα των εγχώριων ενεργειακών πόρων και τα ανώτατα όρια εισαγωγών, τις μεταβολές στη ζήτηση ηλεκτρισμού ανά ώρα και ημέρα κατά τη διάρκεια του έτους, και την εξέλιξη των τιμών του ΣΕΔΕΕΕ.

Η δομή και η αρχική βαθμονόμηση του μοντέλου αναπτύχθηκε από τους Klima et al. (2015). Για τους σκοπούς αυτής της μελέτης, ο αριθμός των παραμέτρων ενημερώθηκε, συμπεριλαμβανομένων των τρέχοντων κοστών και της αναμενόμενης εξέλιξης της χερσαίας και υπεράκτιας αιολικής και ηλιακής (ΦΒ) ενεργειακής τεχνολογίας, βάσει των Hand et al. (2017).

10.2.2.3 Ολοκλήρωση των μοντέλων MEMO και MOEM

Υπάρχουν τρεις έξοδοι του μοντέλου MOEM που χρησιμοποιούνται ως εισοδοί στο μοντέλο MEMO. Αυτές οι τιμές χρησιμοποιούνται για το φιλτράρισμα μεταβλητών κραδασμών που μεταβάλλουν τις αντίστοιχες μεταβλητές στους τομείς ηλεκτροπαραγωγής του μοντέλου MEMO. Αυτές περιλαμβάνουν μεταβολές στη χρήση των ορυκτών καυσίμων (φυσικού αερίου και άνθρακα, αφού το πολωνικό

ενεργειακό σύστημα δεν αξιοποιεί πετρέλαιο), τα κόστη του ενεργειακού συστήματος υπολογισμένα ως το άθροισμα των CAPEX και OPEX δια την ποσότητα του παραγόμενου ηλεκτρισμού, καθώς και τα CAPEX.

Στις προσομοιώσεις γενικής ισορροπίας, η ζήτηση ηλεκτρισμού που προβλέπει το μοντέλο MEMO ενδέχεται να διαφέρει από τη ζήτηση ηλεκτρισμού που υποτίθεται στο μοντέλο γιατί το μοντέλο MOEM δεν λαμβάνει υπόψιν ότι μία αύξηση των τιμών ηλεκτρισμού θα οδηγήσει σε μείωση της ζήτησης ηλεκτρισμού. Τόσο η περιγραφή του τρόπου αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος όσο και η λεπτομερής παρουσίαση των τροποποιήσεων των δύο μοντέλων για τους σκοπούς της παρούσας ανάλυσης βρίσκονται στη δημοσίευση των Antosiewicz et al. (2019).

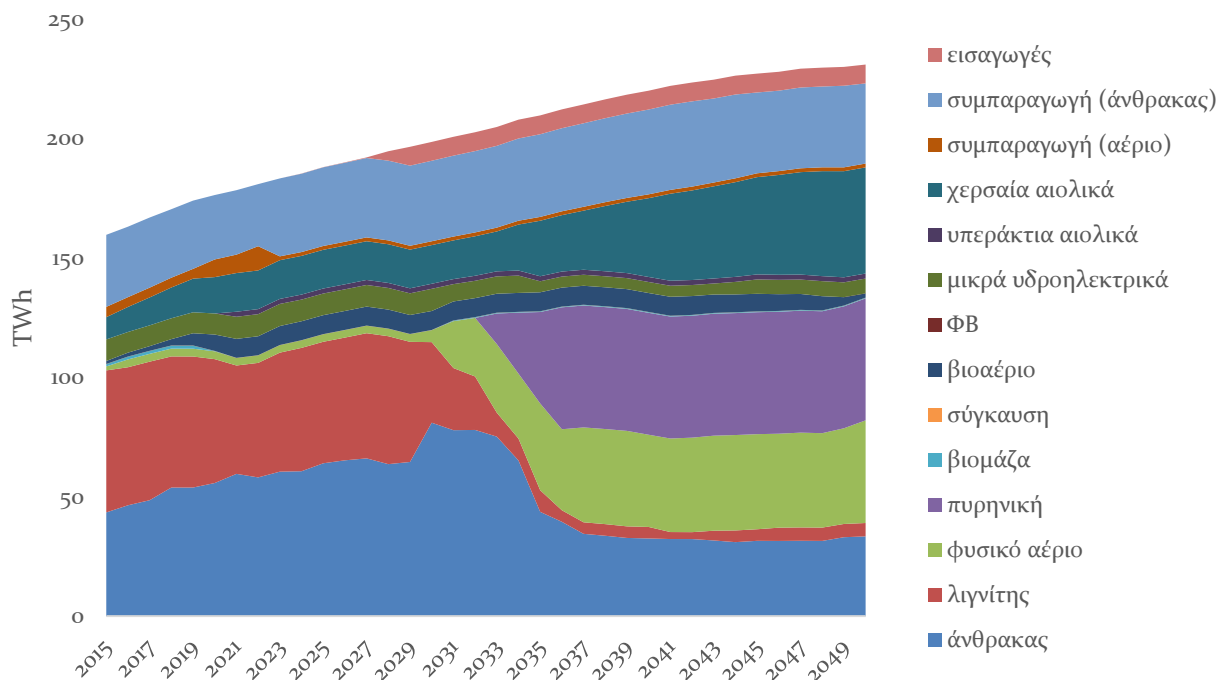
Εντούτοις, τονίζεται ότι η διασύνδεση ενός μοντέλου ενεργειακού συστήματος με το δυναμικό στοχαστικό μοντέλο γενικής ισορροπίας διαμορφώνει μία ρύθμιση πλήρως ολοκληρωμένης μοντελοποίησης κλίματος-οικονομίας.

10.2.3 Αποτελέσματα της μοντελοποίησης του ενεργειακού συστήματος

10.2.3.1 Το baseline μονοπάτι

Αυτό το μονοπάτι ελαχιστοποιεί τα κόστη του ενεργειακού συστήματος υπό την υπόθεση μίας αύξησης στις τιμές του ΣΕΔΕΕΕ. Δεν επιβάλλονται άλλοι περιορισμοί σχετικά με τις εκπομπές άνθρακα. Το μίγμα ηλεκτροπαραγωγής του μονοπατιού που ικανοποιεί αυτά τα κριτήρια, σύμφωνα με το μοντέλο MOEM, απεικονίζεται στην [Εικόνα 10.1](#).

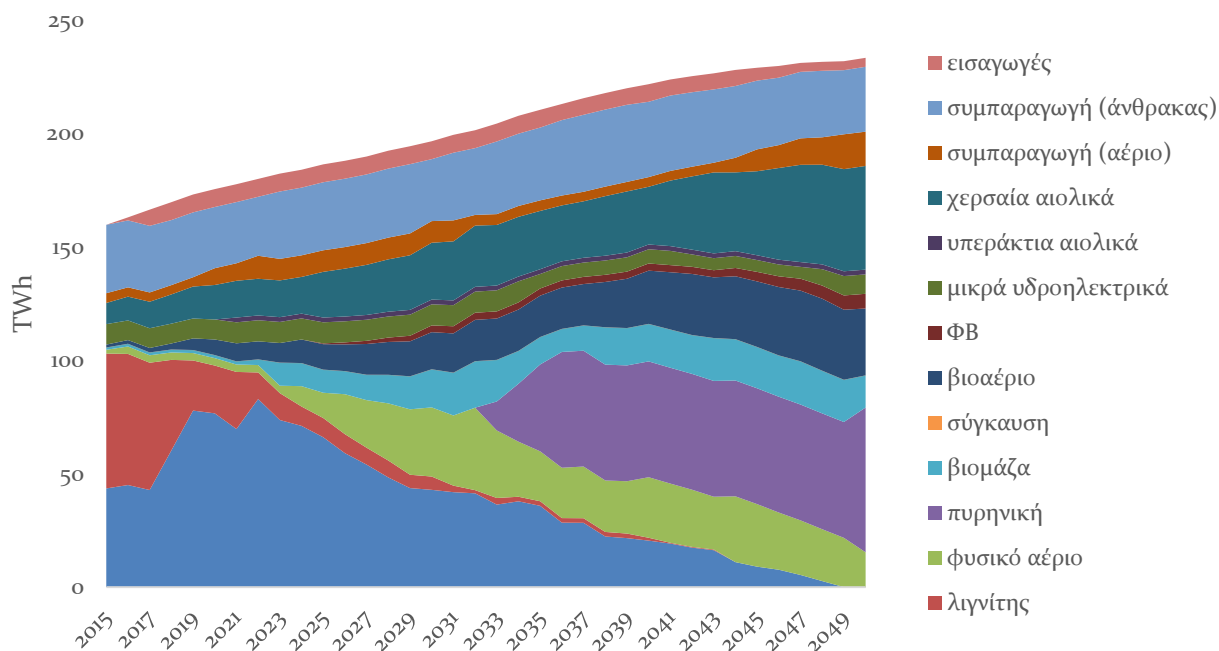
Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, ακολουθούν ορισμένες γενικές παρατηρήσεις. Πρώτον, το μίγμα ηλεκτροπαραγωγής που προκύπτει υπό την υπόθεση των αυξανόμενων τιμών ΣΕΔΕΕΕ προβλέπει μία σημαντική μείωση του ποσοστού του άνθρακα. Δεύτερον, παρά τη μεγάλη μείωση των τιμών εγκατάστασης υπεράκτιας αιολικής ενέργειας που προβλέπουν οι Hand et al. (2017), αυτή η τεχνολογία δεν γίνεται βασικός ενεργειακός πόρος μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 2030. Τρίτον, υπό την υπόθεση των κοστών της πυρηνικής ενέργειας των 25,8 εκατομμυρίων PLN (6 εκατομμυρίων ευρώ) ανά MW, η πυρηνική ενέργεια εμφανίζεται στο σενάριο baseline, παρότι δεν είναι διαθέσιμη πριν το 2030 λόγω της μακράς κατασκευαστικής περιόδου. Τέταρτον, ορισμένοι πόροι (ΦΒ, χερσαία αιολικά) δεν εισέρχονται στο μίγμα, παρότι υποθέτουμε σημαντική μείωση των σχετιζόμενων κοστών με βάση τα σενάρια αναφοράς που προβλέπουν οι Hand et al. (2017).



Εικόνα 10.1 Μίγμα ηλεκτροπαραγωγής ελαχίστου κόστους για το σενάριο baseline.

10.2.3.2 Το πράσινο μονοπάτι

Το μίγμα ηλεκτροπαραγωγής για το πράσινο μονοπάτι, όπως αυτό προέκυψε από τις προσομοιώσεις του ΜΟΕΜ, παρουσιάζεται στην Εικόνα 10.2.



Εικόνα 10.2 Μίγμα ηλεκτροπαραγωγής ελαχίστου κόστους για το πράσινο μονοπάτι.

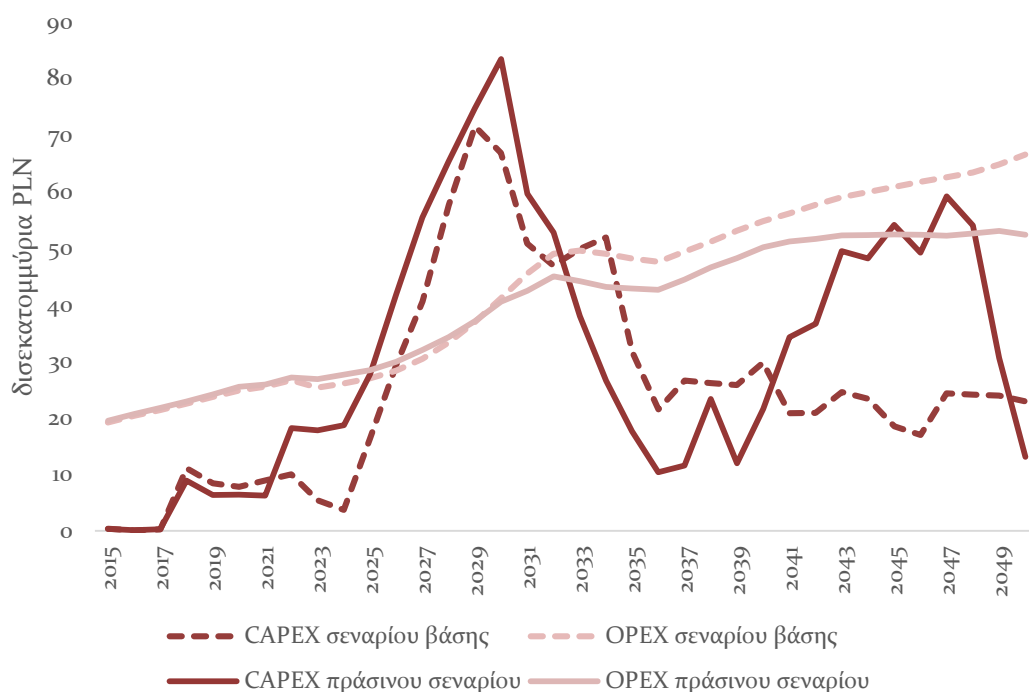
Και πάλι, ορισμένες γενικές παρατηρήσεις μπορούν να γίνουν για την εξέλιξη του μίγματος στο πράσινο μονοπάτι. Πρώτον, η μείωση στη χρήση άνθρακα είναι, όπως αναμενόταν, σημαντικά μεγαλύτερη σε αυτό το μονοπάτι. Στο τέλος της περιόδου, ο άνθρακας χρησιμοποιείται μόνο σε μονάδες συμπαραγωγής, η λειτουργία των οποίων συνδέεται και με τα δίκτυα θέρμανσης, τα οποία παραμένουν ανεπηρέαστα έως το 2040: η βελτιστοποίηση απαιτεί την αντικατάσταση των λιγότερο αποδοτικών μονάδων άνθρακα πρώτα, ακολουθούμενη από την αντικατάσταση περισσότερο αποδοτικών (π.χ. μονάδων συμπαραγωγής) μόνο αφότου οι λιγότερο αποδοτικές μονάδες έχουν ήδη αφαιρεθεί από το μίγμα. Δεύτερον, η μείωση είναι περισσότερο σταδιακή συγκριτικά με το σενάριο βάσης, δηλαδή η μετάβαση των συντελεστών παραγωγής (κυρίως της εργασίας) από τον τομέα εξόρυξης σε άλλους τομείς φαίνεται να είναι λιγότερο απότομη από ό,τι στο baseline σενάριο. Τρίτον, το φυσικό αέριο και η βιομάζα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως μεταβατικά καύσιμα, επιτρέποντας έτσι τη μείωση εκπομπών έως ότου ολοκληρωθεί ο πυρηνικός σταθμός. Παρότι η ποσότητα ηλεκτρισμού που παράγεται από φυσικό αέριο μειώνεται, η ισχύς των μονάδων φυσικού αερίου δεν μειώνεται. Αυτή η ισχύς χρησιμοποιείται ως εφεδρική για την αυξανόμενη ισχύ χερσαίων αιολικών και ΦΒ στη δεκαετία του 2040. Η διαφορά στις τάσεις μεταξύ ηλεκτροπαραγωγής και εγκατεστημένης ισχύος των μονάδων φυσικού αερίου προκύπτει από την λιγότερο συνήθη χρήση της ισχύος των μονάδων αυτών. Τέλος, τα ΦΒ, το βιοαέριο και η βιομάζα έχουν ένα σημαντικό ποσοστό του μίγματος ηλεκτροπαραγωγής προς το τέλος της περιόδου που εξετάζεται, αντίθετα με το σχεδόν αμελητέο ποσοστό τους στο baseline σενάριο. Ως εκ τούτου, το μίγμα στο πράσινο σενάριο είναι πιο διαφοροποιημένο/ποικιλόμορφο.

Η προσομοίωση επίσης προβλέπει μία μεγάλης κλίμακας αντικατάσταση του ηλεκτρισμού από λιγνίτη με ηλεκτρισμό από άνθρακα στις αρχές της επόμενης δεκαετίας, παρότι αυτή η πρόβλεψη πρέπει να αξιολογηθεί προσεκτικά. Τα κυβερνητικά σχέδια για τον λιγνίτη υποθέτουν τη συνέχιση της παραγωγής χωρίς σημαντικές αλλαγές έως το 2030. Αυτά τα πλαίσια ίσως ανατραπούν μεσοπρόθεσμα, αλλά η άμεση τροποποίησή τους θεωρείται απίθανη.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αυτά με το Σενάριο Αναφοράς της ΕΕ για το 2016 για την Πολωνία (Capros et al., 2016), η βασική διαφορά εντοπίζεται στον χρονισμό της αποδέσμευσης του τομέα ηλεκτρισμού από τον άνθρακα. Με τις εκπομπές το 2050 να είναι σχεδόν ίσες, εδώ υποτίθεται μία σταθερή, σταδιακή μείωση στις εκπομπές, οδηγώντας σε μία σταθερή και άμεση αποδέσμευση από τη χρήση άνθρακα. Στο Σενάριο Αναφοράς της ΕΕ για το 2016, η μεγαλύτερη μείωση λαμβάνει χώρα μετά το 2040. Δεν υπάρχει μείωση στη χρήση άνθρακα πριν το 2035, οπότε οι συνολικές εκπομπές έως το 2050 είναι υψηλότερες. Όσον αφορά το μίγμα ηλεκτροπαραγωγής, και τα δύο σενάρια δείχνουν εισαγωγή των ίδιων τεχνολογιών προς αντικατάσταση του άνθρακα, δηλαδή κυρίως πυρηνική ενέργεια, αιολικά πάρκα και βιομάζα σε παρόμοια επίπεδα.

10.2.3.3 Κόστη και εκπομπές των δύο μονοπατιών

Τα CAPEX και OPEX που απαιτούνται από το ενεργειακό σύστημα στα δύο υπό εξέταση μονοπάτια απεικονίζονται στην [Εικόνα 10.3](#). Και τα δύο μονοπάτια χαρακτηρίζονται από μία αιχμή στα κεφαλαιακά κόστη (CAPEX) μεταξύ 2025 και 2035, η οποία καθίσταται αναγκαία λόγω της κατασκευής ενός πυρηνικού σταθμού. Τη δεκαετία του 2020, τα CAPEX στο πράσινο σενάριο είναι υψηλότερα εξαιτίας της κατασκευής των μονάδων ΑΠΕ και φυσικού αερίου. Η διαφορά αυτή μεταξύ των δύο μονοπατιών τις επόμενες δύο δεκαετίες οφείλεται στον χρονισμό της κατασκευής χερσαίων μονάδων αιολικής ενέργειας: η ταχεία ανάπτυξη της εγκατεστημένης ισχύος στο baseline σενάριο ξεκινάει στα μέσα της δεκαετίας του 2030, ενώ στο πράσινο σενάριο καθυστερεί μέχρι τις αρχές της επόμενης δεκαετίας. Εφόσον η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος χερσαίων αιολικών μονάδων στο πράσινο σενάριο είναι πολύ ταχύτερη, τα CAPEX εν τέλει γίνονται πολύ υψηλότερα συγκριτικά με το σενάριο βάσης.

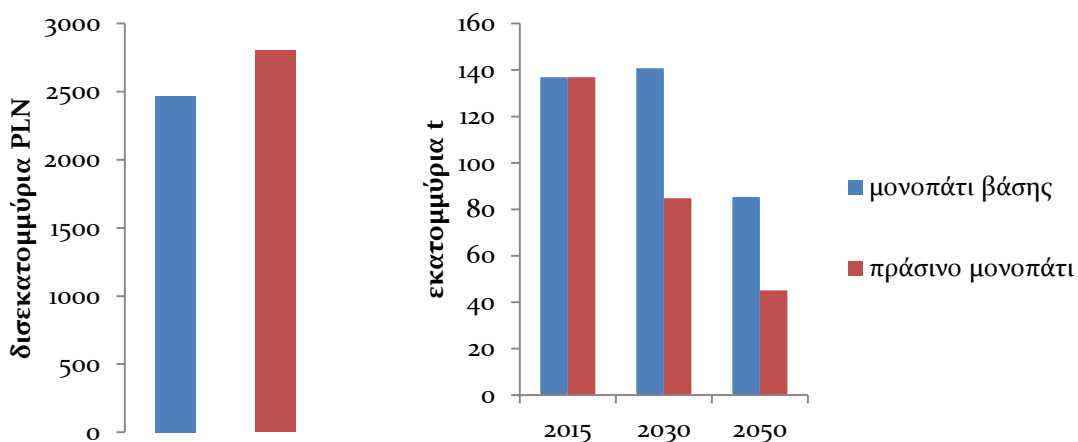


Εικόνα 10.3 Τα κόστη κεφαλαίου (CAPEX) και λειτουργίας (OPEX) που απαιτούνται από το ενεργειακό σύστημα στα δύο μονοπάτια.

Τα προβλεπόμενα λειτουργικά έξοδα (OPEX) περιλαμβάνουν κόστη καυσίμων, κόστη λειτουργίας και συντήρησης όλων των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής καθώς και συνολικά κόστη των δικαιωμάτων εκπομπών του ΣΕΔΕΕΕ. Αρχικά, τα OPEX των δύο μονοπατιών δεν αποκλίνουν. Ενώ το baseline μονοπάτι περιλαμβάνει υψηλότερη χρήση άνθρακα και μεγαλύτερες αγορές στο ΣΕΔΕΕΕ, το πράσινο μονοπάτι απαιτεί υψηλότερη χρήση βιομάζας, βιοαερίου και φυσικού αερίου. Η διαφορά μεταξύ των

δύο μονοπατιών γίνεται ευκρινής μόνο μετά το 2030, οπότε και οι τιμές του ΣΕΔΕΕΕ γίνονται ολοένα και υψηλότερες.

Η [Εικόνα 10.4](#) αναπαριστά τα συσσωρευμένα κόστη παραγωγής ηλεκτρισμού (αριστερά), καθώς και το επίπεδο των ετήσιων εκπομπών (δεξιά), στα δύο μονοπάτια για την περίοδο 2015-2050. Για το πρώτο, υπολογίστηκαν τα συνολικά κόστη του συστήματος (CAPEX και OPEX) ανά MWh για κάθε έτος και αθροίστηκαν για την περίοδο 2015-2050. Ο ηλεκτρισμός στο πράσινο μονοπάτι θα κόστιζε κατά 13.6% περισσότερο από το μονοπάτι βάσης. Στην επόμενη υποενότητα, υποδεικνύεται ότι αυτή η διαφορά δεν θα επέφερε σημαντικές επιπτώσεις για την οικονομία.



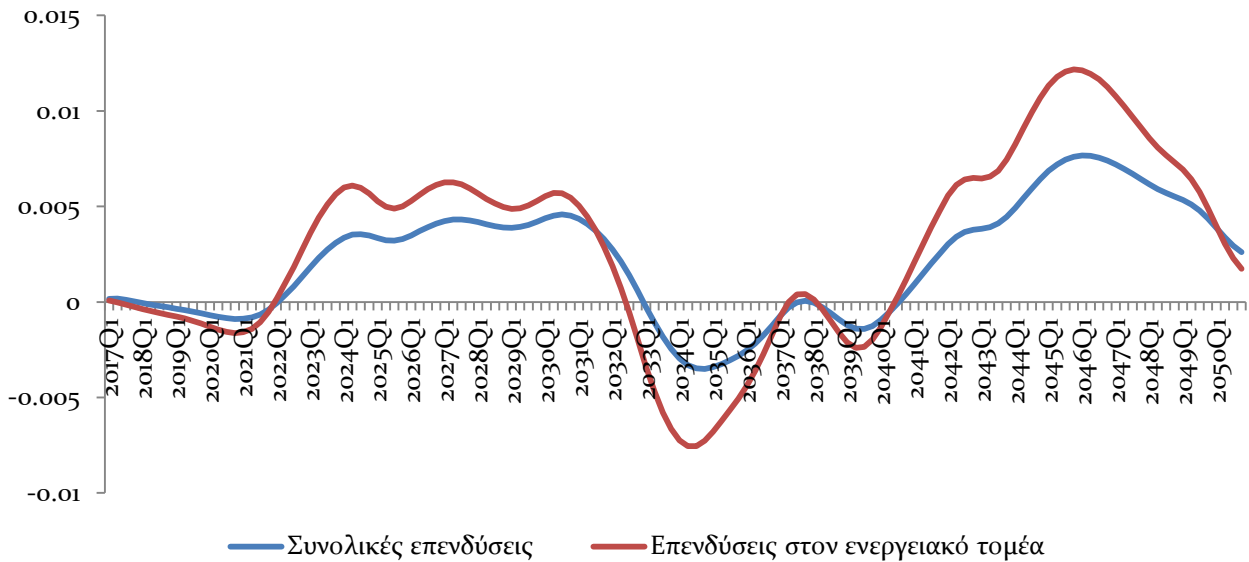
Εικόνα 10.4 Αθροιστικά κόστη ηλεκτροπαραγωγής 2015-2050 (αριστερά) και ετήσιες εκπομπές CO₂ από τον ενεργειακό τομέα (δεξιά) για τα δύο μονοπάτια.

Η εξέλιξη των εκπομπών CO₂ στο πράσινο μονοπάτι επιβλήθηκε από μία εξωγενή υπόθεση που διαφοροποιεί τα δύο μονοπάτια (περιβαλλοντικοί περιορισμοί). Η εξέλιξη των εκπομπών στο σενάριο βάσης είναι έξοδος του μοντέλου. Η μείωση εκπομπών στο μονοπάτι βάσης είναι μικρή και καθυστερημένη συγκριτικά με το πράσινο μονοπάτι. Έως το 2030, οι εκπομπές παραμένουν σε ένα περίπου σταθερό επίπεδο, μετά μειώνονται σημαντικά εξαιτίας των τιμών του ΣΕΔΕΕΕ και της πτωτικής τάσης των τιμών εγκατάστασης των ΑΠΕ. Τα επίπεδα εκπομπών του μονοπατιού βάσης το 2050 βρίσκονται περίπου στο ίδιο ύψος με τα επίπεδα των εκπομπών του πράσινου μονοπατιού το 2030.

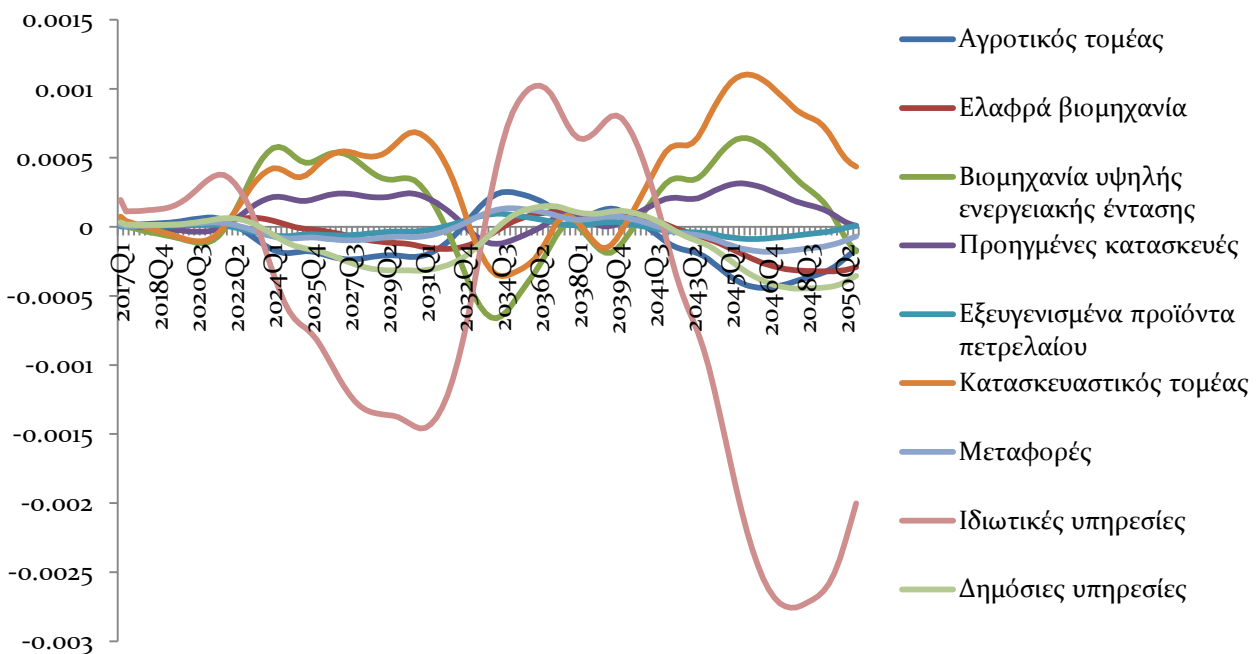
10.2.4 Αποτελέσματα της ανάλυσης γενικής ισορροπίας

Στην παρούσα υποενότητα, παρουσιάζονται οι μακροοικονομικές επιπτώσεις μίας μετάβασης από το εξαρτώμενο από τον άνθρακα μονοπάτι βάσης σε ένα πράσινο μονοπάτι, με βάση το μοντέλο MEMO. Οι [Εικόνες 10.5 - 10.8](#) δείχνουν την εξέλιξη των βασικών μακροοικονομικών δεικτών στο πράσινο μονοπάτι, πάντα σε σχέση με το μονοπάτι βάσης. Τα αποτελέσματα, με άλλα λόγια, παρουσιάζονται

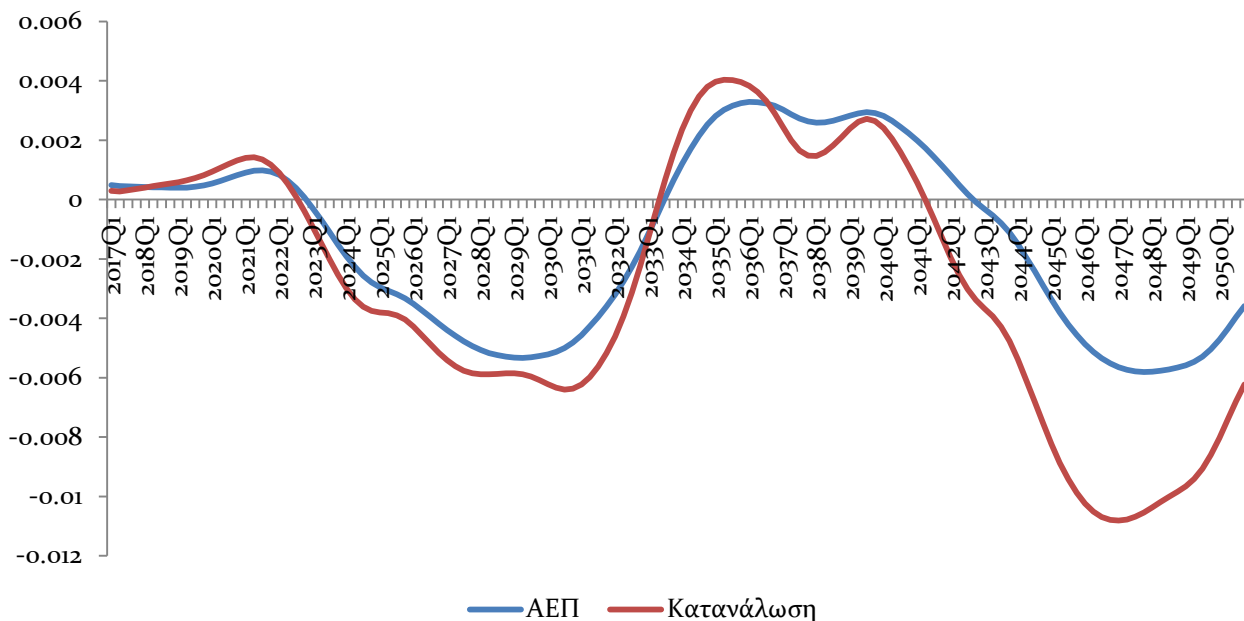
ως ποσοστιαία απόκλιση από τις αντίστοιχες τιμές του baseline μονοπατιού: τα σημεία πάνω από το μηδέν του άξονα y υποδηλώνουν ότι η μεταβλητή λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες στο πράσινο μονοπάτι από ό,τι στο μονοπάτι βάσης, ενώ τα σημεία υπό του μηδενός υποδηλώνουν το αντίθετο.



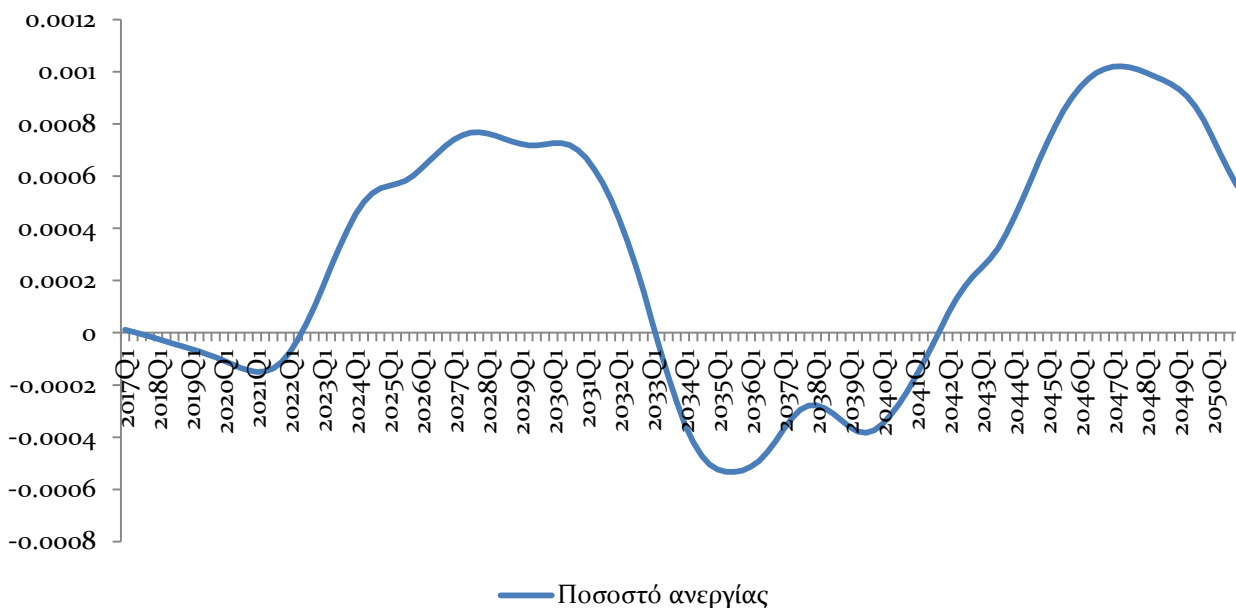
Εικόνα 10.5 Η διαφορά του πράσινου μονοπατιού από το μονοπάτι βάσης, σε όρους συνολικών επενδύσεων και επενδύσεων που απαιτούνται στον ενεργειακό τομέα. Η μονάδα μέτρησης στον κατακόρυφο άξονα αντιστοιχεί στο επίπεδο του ΑΕΠ του baseline μονοπατιού.



Εικόνα 10.6 Η διαφορά του πράσινου μονοπατιού από το μονοπάτι βάσης, σε όρους πρόσθετης αξίας στους κύριους τομείς της πολωνικής οικονομίας. Η μονάδα μέτρησης στον κατακόρυφο άξονα αντιστοιχεί στο επίπεδο του ΑΕΠ του μονοπατιού βάσης.



Εικόνα 10.7 Η διαφορά του πράσινου μονοπατιού από το μονοπάτι βάσης, σε όρους ΑΕΠ και κατανάλωσης. Η μονάδα μέτρησης του κατακόρυφου άξονα αντιστοιχεί στο επίπεδο ΑΕΠ του μονοπατιού βάσης.



Εικόνα 10.8 Η διαφορά του πράσινου μονοπατιού από το μονοπάτι βάσης, σε όρους ποσοστού ανεργίας.

Η άμεση επίπτωση μίας μετάβασης στο πράσινο μονοπάτι είναι η αύξηση των επενδύσεων που σχετίζονται με τον ενεργειακό τομέα (Εικόνα 10.5). Αυτή η μεταβλητή αντικατοπτρίζει τη διαφορά σε CAPEX μεταξύ των δύο μονοπατιών, σε όρους ΑΕΠ. Κατά μέσο όρο, οι επενδύσεις που απαιτούνται στο πράσινο μονοπάτι είναι υψηλότερη κατά 0.5% του ΑΕΠ, παρότι η διαφορά αυτή μεταβάλλεται εμφανώς μέσα στον χρόνο. Οι επενδύσεις στον ενεργειακό τομέα ξεπερνούν τις συνολικές επενδύσεις

στην οικονομία. Παρότι μία αύξηση των ενεργειακών επενδύσεων οδηγεί σε μία αύξηση στις συνολικές επενδύσεις, αυτή είναι σχετικά μικρή και αργοπορημένη. Η διαφορά μεταξύ των ενεργειακών και των συνολικών επενδύσεων οφείλει να αντισταθμίζεται από μία μείωση στις επενδύσεις σε άλλους τομείς της οικονομίας. Αυτό οφείλεται σε μία αύξηση στις τιμές των αγαθών που απαιτούνται για επένδυση. Οι επενδύσεις που σχετίζονται με την πράσινη μετάβαση αυξάνουν τη ζήτηση για κατασκευή και το προϊόν των κατασκευαστικών τομέων, τα οποία δεν μπορούν να προσαρμοστούν γρήγορα βραχυπρόθεσμα, οδηγώντας σε αύξηση στις τιμές των αγαθών τους. Επομένως, οι επενδύσεις σε άλλους οικονομικούς τομείς γίνονται ακριβότερες και οι αποδόσεις τους μειώνονται, οδηγώντας σε λιγότερα επενδυτικά έργα σε αυτά τα τμήματα της οικονομίας. Ένα αντίστοιχο φαινόμενο περιγράφεται και από τους Bernardo and D'Alessandro (2016).

Αυτό, με τη σειρά του, έχει ως αποτέλεσμα μία μείωση στο προϊόν των περισσότερων οικονομικών τομέων μεσοπρόθεσμα (Εικόνα 10.6). Η μεγαλύτερη απόκλιση λαμβάνει χώρα στις υπηρεσίες (0.3% σε σχέση με το μονοπάτι βάσης). Ένα αντίστοιχο πρότυπο, παρότι μικρότερου μεγέθους, μπορεί να παρατηρηθεί για σχεδόν όλους τους άλλους οικονομικούς τομείς, με μόνες εξαιρέσεις την βιομηχανία και τις κατασκευές, η παραγωγή των οποίων οφείλει να αυξηθεί για να καλύψει μία ζήτηση στη συνολική επένδυση.

Η συνολική επίπτωση μίας πράσινης μετάβασης περιλαμβάνει μία πολύ διακριτική μείωση της κατά κεφαλήν παραγωγής και κατανάλωσης (Εικόνα 10.7). Η διαφορά μεταξύ των δύο μονοπατιών γίνεται μέγιστη στα τέλη των δεκαετιών 2020 και 2040, δηλαδή όταν οι επενδυτικές απαιτήσεις στο πράσινο μονοπάτι γίνονται μέγιστες. Σε αυτές τις περιόδους, παρατηρείται επίσης ότι η μείωση στην κατανάλωση είναι βαθύτερη από τη μείωση του ΑΕΠ, καθώς μεγαλύτερες επενδύσεις υποδηλώνουν ότι ένα μικρότερο μερίδιο του ΑΕΠ μπορεί να αποδοθεί στην κατανάλωση. Παρά τους μηχανισμούς αυτούς, ωστόσο, η μείωση της κατανάλωσης φαίνεται να είναι αμελητέα. Στα τέλη της δεκαετίας του 2040, η κατανάλωση είναι 1% χαμηλότερη από την περίπτωση του baseline μονοπατιού. Για παράδειγμα, αν υποθέσουμε μία αύξηση της κατανάλωσης στο μονοπάτι βάσης με ετήσιο ρυθμό 3%, τότε ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης στο πράσινο μονοπάτι θα ήταν 2.97%.

Μικρότερες αυξήσεις ΑΕΠ μεταφράζονται σε χαμηλότερη ζήτηση για εργασία, ενώ η φθίνουσα ζήτηση για εγχώριο άνθρακα απαιτεί ανακατανομή της αγοράς εργασίας. Και τα δύο αυτά φαινόμενα ενδεχομένως οδηγούν σε αύξηση της ανεργίας. Ωστόσο, το μέγεθός τους θεωρείται μικρό: η μέγιστη διαφορά ανεργίας εμφανίζεται στα τέλη της δεκαετίας του 2040, με μέγεθος μικρότερο του 0.1% σε σχέση με το μονοπάτι βάσης (Εικόνα 10.8).

10.2.5 Δυνατά και αδύναμα σημεία της κλασικής οικονομικής ανάλυσης

Οι προσομοιώσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω έχουν δύο στόχους. Πρώτον, να διευκολύνουν τη διερεύνηση των διαύλων μετάδοσης των κινδύνων που σχετίζονται με ένα μονοπάτι αποδέσμευσης τους

ενεργειακού συστήματος από τον άνθρακα, αναφορικά με τις επιπτώσεις των απαραίτητων επιπρόσθετων κοστών στο ΑΕΠ και την κατανάλωση. Δεύτερον, να διευκολύνουν μία εκτίμηση της αναμενόμενης συνολικής κοινωνικοοικονομικής απώλειας που σχετίζεται με το πράσινο αυτό μονοπάτι.

Το αποτέλεσμα του θετικού κόστους του πράσινου μονοπατιού λήφθηκε με βάση την κατασκευή του σχεδιασμού της μελέτης περίπτωσης: εξ ορισμού, το μονοπάτι βάσης αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των κοστών ηλεκτρισμού, και επομένως οποιοσδήποτε επιπλέον περιορισμός στο σύστημα (συμπεριλαμβανομένων των μειώσεων εκπομπών άνθρακα) που μεταβάλλει το μίγμα ηλεκτροπαραγωγής αυτού του μονοπατιού θα οδηγήσει σε υψηλότερα κόστη. Αυτό συμβαίνει γιατί, από μακροοικονομικής πλευράς, τα υψηλότερα κόστη ηλεκτροπαραγωγής υποδηλώνουν ότι περισσότεροι πόροι πρέπει να χρησιμοποιηθούν στον τομέα ηλεκτρισμού και λιγότεροι πόροι μένουν διαθέσιμοι για τους άλλους οικονομικούς τομείς. Αυτή η απώλεια αποδοτικότητας στη χρήση πόρων αναπόφευκτα θα οδηγήσει σε μείωση της κατανάλωσης. Το αποτέλεσμα αυτό είναι ανεξάρτητο της μοντελικής δομής ή οποιασδήποτε βαθμονόμησης των παραμέτρων. Μάλιστα, η οικονομική απώλεια που προκύπτει από την επιβολή περιβαλλοντικών περιορισμών θα προβλεφθεί από οποιοδήποτε νεοκλασικό μοντέλο ή μοντέλο ισορροπίας που υποθέτει βελτιωτική συμπεριφορά από πλευράς παραγόντων/πρακτόρων (Nikas et al., 2019a), όπως αναλύεται και στο [Κεφάλαιο 3](#).

Το συμπέρασμα ότι η επιβολή περιβαλλοντικών περιορισμών προκαλεί οικονομικές απώλειες εξαρτάται από την υπόθεση ότι δεν υπάρχουν εξωτερικότητες από τη συμπεριφορά των εταιρειών, οι αγορές είναι πλήρως ανταγωνιστικές και οι καταναλωτές και οι εταιρείες χαρακτηρίζονται από ορθολογική συμπεριφορά. Οι εξωτερικότητες προκύπτουν όταν οι εταιρείες δεν λαμβάνουν υπόψιν όλα τα κοινωνικά κόστη και οφέλη των στρατηγικών τους. Για παράδειγμα, εάν οι εκπομπές από μία ενεργειακή εταιρεία οδηγήσουν σε απώλειες σε διεθνή φήμη και αυτό δεν ληφθεί υπόψιν κατά τη λήψη αποφάσεων των εταιρειών, τότε αυτές οι εταιρείες καλλιεργούν μία εξωτερικότητα. Ένα άλλο παράδειγμα εξωτερικότητας που δεν λαμβάνεται υπόψιν είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκύπτει από την καύση των ορυκτών καυσίμων. Εάν μεγάλες τέτοιες εξωτερικότητες προκύπτουν στον πραγματικό κόσμο, το βέλτιστο μονοπάτι που υποδεικνύεται από τα κλασικά οικονομικά μοντέλα θα διαφέρει από το πραγματικά βέλτιστο μονοπάτι που προτείνει μία κοινωνική οπτική. Αντίστοιχα, εάν οι αγορές δεν είναι ανταγωνιστικές (π.χ. οι μισθοί δεν προσαρμόζονται με πλήρη ελευθερία) ή εάν οι παράγοντες δεν υποτίθενται να έχουν βελτιωτική συμπεριφορά, τα κλασικά οικονομικά μοντέλα δύνανται να οδηγήσουν σε λάθος προγνώσεις.

Στην [Ενότητα 10.3](#), διερευνώνται ορισμένες πιθανές εξωτερικότητες καθώς και ατέλειες της αγοράς, ενώ υποδεικνύεται και η πιθανή μεροληψία των αποτελεσμάτων. Βέβαια, η λίστα που μελετάται δεν είναι πλήρης και αξίζει περαιτέρω διερεύνηση. Συγκεκριμένα, δεν θεωρείται οποιαδήποτε μεροληψία εξαιτίας της μη λογικής συμπεριφοράς των παραγόντων της αγοράς (π.χ. [Safarzynska and van den](#)

Bergh, 2011). Αυτό το θέμα απαιτεί μία λεπτομερή ανάλυση πέραν των σκοπών αυτής της μελέτης περίπτωσης.

Το συμπέρασμα ότι μία ριζοσπαστική συρρίκνωση του μεριδίου του άνθρακα (Εικόνα 10.2), σε αντιδιαστολή με μία πιο μετριοπαθή και σταδιακή απαγκίστρωση από τον άνθρακα (Εικόνα 10.1), οδηγεί σε οικονομικές απώλειες βασίζεται στην επιπρόσθετη υπόθεση ότι το δεύτερο μονοπάτι είναι όντως αυτό που ελαχιστοποιεί το κόστος. Για παράδειγμα, εάν τα κόστη ηλεκτροπαραγωγής από άνθρακα δεν υπολογιστούν σωστά, τότε το μονοπάτι ελαχίστου κόστους ενδεχομένως να μη χαρακτηρίζεται από μετριοπαθή μείωση της κατανάλωσης άνθρακα. Αντίστοιχα, η διαφορά στα κόστη των δύο μονοπατιών μπορεί να προδίδει μεροληψία εάν το μοντέλο υπολογίζει λανθασμένα τα κόστη που σχετίζονται με το μονοπάτι ελαχίστου κόστους υπό περιβαλλοντικούς περιορισμούς, για δύο λόγους: πρώτον, το μοντέλο ενδέχεται να μη λαμβάνει υπόψιν όλα τα δομικά στοιχεία του ηλεκτρικού συστήματος (π.χ. να αγνοεί τα κόστη εφεδρικής ισχύος για τις ώρες που η αιολική και ηλιακή ενέργεια είναι ανεπαρκής) και, δεύτερον, οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου που υποτίθενται μπορεί να είναι λανθασμένες.

10.3 Πέραν της κλασικής οικονομικής ανάλυσης – κρυμμένοι κίνδυνοι

10.3.1 Χαρτογράφηση της γνώσης των εμπειρογνομώνων με ΑΓΧ

Η γνώση που κρύβεται στους ενδιαφερόμενους φορείς και τις συμμετοχικές διεργασίες μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στη γεφύρωση γνωσιακών χασμάτων στις μελέτες που αφορούν στις κοινωνικές, τεχνολογικές και οικονομικές μεταβάσεις (Kampelmann et al., 2018). Η ασαφής γνωστική χαρτογράφηση είναι μία τεχνική ψευδοποσοτικής μοντελοποίησης, η οποία αποσκοπεί στη μοντελοποίηση και αναπαράσταση της γνώσης των εμπειρογνομώνων για ένα συγκεκριμένο ζήτημα σε διαγραμματική μορφή, επιτρέποντας έτσι ad hoc δομή και ευελιξία προσθήκης του επιθυμητού επιπέδου λεπτομέρειας και σύνθεσης (Kosko, 1986). Τα στοιχεία που συναποτελούν το υπό εξέταση σύστημα συνδέονται μέσω σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος. Οι προσομοιώσεις του μοντέλου που προκύπτει μέσω τεχνικών τεχνητών νευρωνικών δικτύων καταγράφουν τον τρόπο με τον οποίο η αιτιώδης μετάδοση κατά μήκος του συστήματος ανταποκρίνεται σε κραδασμούς που εισάγονται στο σύστημα και υποθέσεις που διαμορφώνονται από τους εμπειρογνώμονες ή/και δεδομένα. Η μεθοδολογία επιτρέπει στους ειδικούς να αξιολογήσουν ένα σύνθετο πρόβλημα και να οδηγηθούν σε μία δύσκολη απόφαση πρωτίστως χρησιμοποιώντας τη δική τους γνώση, διευκολύνοντας την εξαγωγή της γνώσης αυτής και αξιοποιώντας την για την καθοδήγηση των προσομοιώσεων και την παραγωγή συμπερασμάτων που, διαφορετικά, θα ήταν δύσκολο να παραχθούν.

Η μεθοδολογία των ΑΓΧ εν προκειμένω χρησιμοποιείται για να δομηθούν οι κίνδυνοι που σχετίζονται με τα δύο μονοπάτια, οι οποίοι δεν καταγράφηκαν στην ανάλυση της [Ενότητας 10.2](#). Οι κίνδυνοι αυτοί περιλαμβάνουν την απώλεια θέσεων εργασίας στον τομέα εξόρυξης άνθρακα, την εξάρτηση από εισαγόμενες τεχνολογίες, τη διακοπτότητα των ΑΠΕ, την απώλεια διεθνούς φήμης, τη σπατάλη του εγχώριου δυναμικού για E&A τεχνολογιών άνθρακα και την εξάρτηση από τις εισαγωγές άνθρακα. Η λίστα αυτή δεν πρέπει να θεωρηθεί εξαντλητική ή πλήρης, ενώ σε μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες μπορεί προοπτικά να εμπλουτιστεί. Για παράδειγμα, δεν λαμβάνονται υπόψιν κίνδυνοι όπως ατμοσφαιρική μόλυνση από την καύση των συμβατικών ορυκτών καυσίμων (π.χ. του άνθρακα) ή κοινωνικά κόστη που σχετίζονται με την αύξηση των τιμών ηλεκτρισμού για την κάλυψη των επιπρόσθετων κοστών επένδυσης σε πράσινες μορφές ενέργειας. Ο αριθμός των θεωρηθέντων κινδύνων περιορίζεται ώστε να διασφαλισθεί ότι ο ΑΓΧ δεν είναι πολύ μεγάλος και παραμένει κατανοητός στους εμπλεκόμενους φορείς.

Ο ΑΓΧ αναπτύχθηκε μαζί με τους Πολωνούς εμπειρογνώμονες, οι οποίοι συμμετείχαν σε μία ημερίδα με τίτλο “Risks of low carbon transition in Poland” που έλαβε χώρα τον Οκτώβριο 2017, στη Βαρσοβία. Δεκαοχτώ εκπρόσωποι ενδιαφερόμενων φορέων συμμετείχαν σε μία εξειδικευμένη άσκηση ΑΓΧ, συμπεριλαμβανομένων τεσσάρων εκπροσώπων βιομηχανιών, επτά ακαδημαϊκών/ερευνητών, τριών εκπροσώπων κυβερνητικών υπηρεσιών, τριών εκπροσώπων ΜΚΟ και ενός εμπειρογνώμονα του οποίου η ιδιότητα δεν καταγράφηκε. Η ομάδα αυτή δεν επιλέχθηκε ώστε να αντικατοπτρίζει τέλεια την ισορροπία των διαφορετικών απόψεων της δημόσιας συζήτησης γύρω από τον χώρο του προβλήματος· οι συμμετέχοντες, ωστόσο, εκπροσωπούν τις τέσσερις βασικές ομάδες που προ-επιλέχθηκαν στη λίστα των προσκλήσεων, δηλαδή την κυβέρνηση, τη βιομηχανία, τις ΜΚΟ και την έρευνα.

Σε μία εξειδικευμένη συνεδρία, οι εμπειρογνώμονες ενημερώθηκαν για τους σκοπούς της μεθοδολογίας των ΑΓΧ, καθοδηγήθηκαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας και διευκολύνθηκαν στην παροχή της γνώσης τους. Σε αυτήν την κατεύθυνση, πραγματοποιήθηκε και μία λεπτομερής παρουσίαση ορισμένων προκαταρτικών αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης των δύο μονοπατιών ([Ενότητα 10.2](#)). Η διαδικασία διευκολύνθηκε με την αξιοποίηση της μεθόδου της ΧΣ ([Nikas et al., 2017](#)), με την χρήση του εργαλείου MATISE ([Κεφάλαιο 5](#)), για την διαμόρφωση ενός πλαισίου της τελικής μεθοδολογικής προσέγγισης.

10.3.1.1 Αποτύπωση της γνώσης των εμπειρογνομόνων

Πριν την ημερίδα, η δομή του ΑΓΧ είχε αναπτυχθεί με βάση προκαταρτικές συνεντεύξεις και τη σχετική με το πολωνικό ενεργειακό σύστημα βιβλιογραφία ([Εικόνα 10.9](#)). Τα δύο μονοπάτια αποτελούνται από επτά πολιτικές συνολικά. Αυτές οι πολιτικές επιλέχθηκαν ως αντιπροσωπευτικές των δύο μονοπατιών, χωρίς ωστόσο να αναπαριστούν απαραίτητα το πλήθος των μέτρων και στρατηγικών πολιτικής που μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά με σκοπό την προώθηση καθενός μονοπατιού. Το

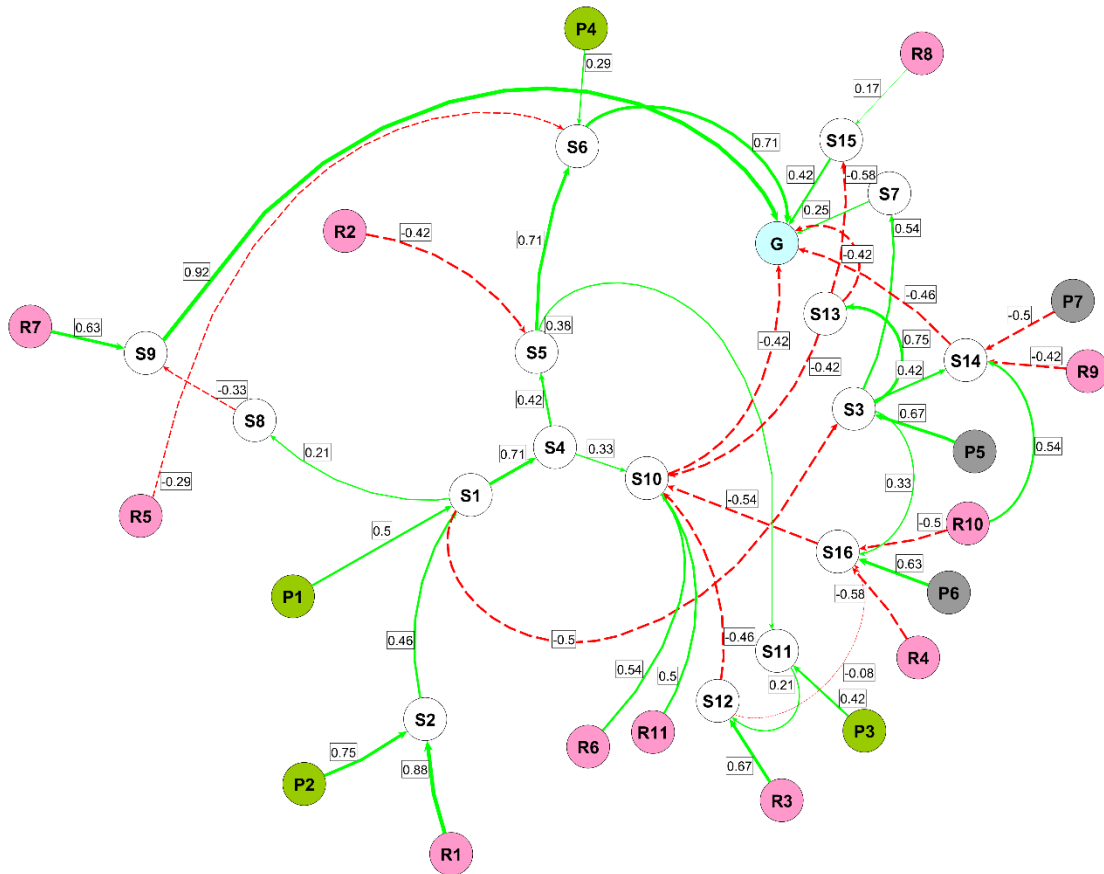
εξαρτώμενο από τον άνθρακα μονοπάτι βάσης αποτελείται από πολιτική υποστήριξη των επενδύσεων σε άνθρακα, οικονομικά κίνητρα για E&A τεχνολογιών άνθρακα, και αποτελεσματική σχεδίαση της αγοράς του εγχώριου άνθρακα. Από την άλλη, το πράσινο μονοπάτι βασίστηκε σε δημοπρασίες ΑΠΕ, σταθερότητα των μηχανισμών οικονομικής υποστήριξης των έργων ΑΠΕ, οικονομικά κίνητρα για E&A σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς και εκπαιδευτικά προγράμματα και άλλες εργατικές πολιτικές που αποσκοπούν στην υποστήριξη των εργατών στα ανθρακωρυχεία να προσαρμοστούν σε έναν πλέον βιώσιμο ενεργειακό τομέα. Επιλέχθηκαν επίσης έντεκα αβεβαιότητες, κυρίως με βάση τη βιβλιογραφία των ερευνών που εστιάζουν σε σχετικές πολιτικές: διαθεσιμότητα ξένου και εγχώριου κεφαλαίου, εμπόδια εισόδου των εγχώριων εταιρειών, εξωγενής τεχνολογική πρόοδος, κόστη ηλεκτροπαραγωγής από φυσικό αέριο και πυρηνική ενέργεια, βαθμός προσαρμοστικότητας των ανθρακωρύχων, τιμές φυσικού αερίου, διεθνείς σχέσεις, στάση της ΕΕ απέναντι στην κλιματική αλλαγή και δράση, διεθνείς τιμές άνθρακα, κόστη εξόρυξης εγχώριου άνθρακα, και τιμή των δικαιωμάτων εκπομπών του ΣΕΔΕΕΕ. Αυτές οι αβεβαιότητες θεωρούνται ιδιαίτερα σχετικές στη συγκεκριμένη δημόσια συζήτηση στην Πολωνία, καθώς και στη διεθνή συζήτηση περί των συνεπειών των πράσινων μεταβάσεων που θα μπορούσαν να είναι σχετικές για την Πολωνία. Οφείλει να σημειωθεί, ωστόσο, ότι η λίστα των αβεβαιοτήτων είναι ατελής και απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση.

Για την κατασκευή του ΑΓΧ, αξιοποιήθηκε η μεθοδολογία που περιγράφεται αναλυτικά από τους Nikas and Doukas (2016), σχετικά με τους διάφορους παράγοντες που συνδέουν τις επιλεγθείσες πολιτικές και τις αβεβαιότητες με την μακροπρόθεσμη οικονομική ανάπτυξη, μέσω σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος. Συγκεκριμένα, αρχικά καταγράφηκαν οι πλήρεις αλυσίδες διάδοσης της αιτιότητας, ξεκινώντας από την εφαρμογή καθενός εκ των επτά μέτρων πολιτικής και καταλήγοντας στην ενεργειακή μετάβαση, ενώ στην πορεία εκτιμήθηκε πώς οι συγκεκριμένες αβεβαιότητες δύνανται να παρέμβουν σε αυτές τις αλυσίδες αίτιου-αποτελέσματος.

Για παράδειγμα, κατάλληλη ανάπτυξη ενός μηχανισμού αγοράς για τις ΑΠΕ (P_1) θα οδηγήσει εν τέλει σε περαιτέρω διάχυση των ΑΠΕ (S_i) και θα διεγείρει τη ζήτηση για εγκαταστάσεις ΑΠΕ (S_4). Αυτή θα έχει αναπόφευκτα συνέπειες για τα κόστη του ενεργειακού συστήματος (S_{10}), ενδεχομένως επηρεάζοντας έτσι την οικονομική ανάπτυξη (G). Αυτή η αυξανόμενη ζήτηση, ωστόσο, δεν θα προσελκύσει μόνο ξένους επενδυτές αλλά θα κινητοποιήσει τους εγχώριους παραγωγούς ενέργειας (S_5) και θα οδηγήσει εν τέλει σε μεγαλύτερο αριθμό νέων, πράσινων θέσεων εργασίας (S_6), ο οποίος με τη σειρά του θα επιταχύνει την μακροπρόθεσμη οικονομική ανάπτυξη (G).

Στους εμπειρογνώμονες δόθηκε ένα ερωτηματολόγιο, στο οποίο τους ζητήθηκε να αξιολογήσουν το πρόσημο και τη σημασία κάθε μίας εκ των σχέσεων αιτιότητας μεταξύ των διασυνδεδεμένων κόμβων του ΑΓΧ. Η είσοδός τους ποσοτικοποιήθηκε στο διάστημα $[-1, 1]$, και ένα μέσο βάρος υπολογίστηκε για ολόκληρη την ομάδα των εμπειρογνομώνων, με σκοπό τη σχεδίαση ενός συνολικού ΑΓΧ (Εικόνα 10.9). Οι πολιτικές υποστήριξης των ΑΠΕ αναπαρίστανται με σκούρο πράσινο, οι πολιτικές υποστήριξης του

άνθρακα με σκούρο γκρι, οι αβεβαιότητες με ελαφρύ μωβ, και ο τελικός στόχος με γαλάζιο, ενώ όλοι οι άλλοι οι κόμβοι του συστήματος με λευκό. Επίσης, οι θετικές σχέσεις σχεδιάζονται με πράσινες συνεχείς γραμμές μεταβλητού πάχους (ανάλογα με το βάρος, για κάθε σύνδεσμο), ενώ οι αρνητικές σχέσεις με κόκκινες διακεκομμένες γραμμές.



Εικόνα 10.9 Ο τελικός ΑΓΧ της πολωνικής ενεργειακής μετάβασης.

Ξεκινώντας από τα μέτρα πολιτικής και τις αβεβαιότητες, η αναγνωρισθείσα αιτιώδης διάδοση στον κόμβο του τελικού στόχου, δηλαδή την G. Μακροπρόθεσμη οικονομική ανάπτυξη, περιλάμβανε τους ακόλουθους κόμβους: R₁. Διαθεσιμότητα ξένου και εγχώριου κεφαλαίου, R₂. Εμπόδια εισόδου των εγχώριων εταιρειών, R₃. Εξωγενής τεχνολογική πρόοδος, R₄. Κόστη φυσικού αερίου και πυρηνικής ενέργειας, R₅. Μη προσαρμοστικότητα των ανθρακωρύχων, R₆. Τιμές φυσικού αερίου, R₇. Διεθνείς σχέσεις, R₈. Ευρωπαϊκή συμπεριφορά απέναντι στην κλιματική δράση, R₉. Διεθνείς τιμές άνθρακα, R₁₀. Κόστη εγχώριας εξόρυξης, R₁₁. Τιμές δικαιωμάτων εκπομπών ΣΕΔΕΕΕ, P₁. Μηχανισμός αγοράς για ΑΠΕ, P₂. Σταθερότητα πολιτικών στήριξης, P₃. Οικονομικά κίνητρα για E&A σε ΑΠΕ, P₄. Προσανατολισμός συστήματος εκπαίδευσης και κατάρτισης σε νέα, πράσινα επαγγέλματα, P₅. Πολιτική στήριξη επενδύσεων σε μονάδες άνθρακα, P₆. Οικονομικά κίνητρα για E&A σε άνθρακα, P₇. Σχεδιασμός αγοράς για εγχώριο άνθρακα, S₁. Διάχυση διακοπτόμενων ΑΠΕ, S₂. Επαρκές χρηματοοικονομικό πλαίσιο, S₃. Επιμονή στον άνθρακα, S₄. Ζήτηση για εγκαταστάσεις ΑΠΕ, S₅. Ζήτηση

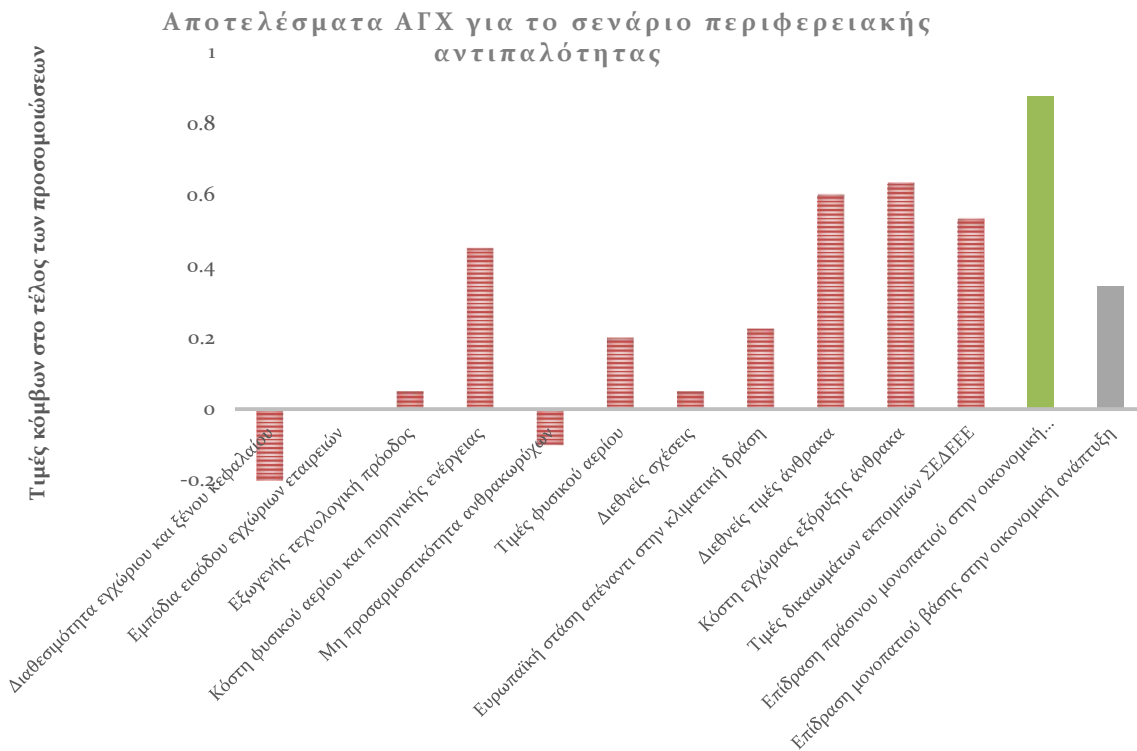
για εγκαταστάσεις ΑΠΕ από εγχώριους παραγωγούς, S₆. Νέα (πράσινα) επαγγέλματα, S₇. Παραδοσιακά επαγγέλματα, S₈. Ζήτηση φυσικού αερίου, S₉. Ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού, S₁₀. Κόστη ενεργειακού συστήματος, S₁₁. Δυνατότητα απορρόφησης μη εγχώριας τεχνολογικής προόδου, S₁₂. Μακροπρόθεσμη μείωση των κοστών εγκατάστασης ΑΠΕ, S₁₃. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και ατμοσφαιρική ρύπανση, S₁₄. Εισαγωγές άνθρακα, S₁₅. Διεθνής φήμη, και S₁₆. Ανταγωνιστικότητα ηλεκτροπαραγωγής από άνθρακα.

10.3.1.2 Προσομοιώσεις

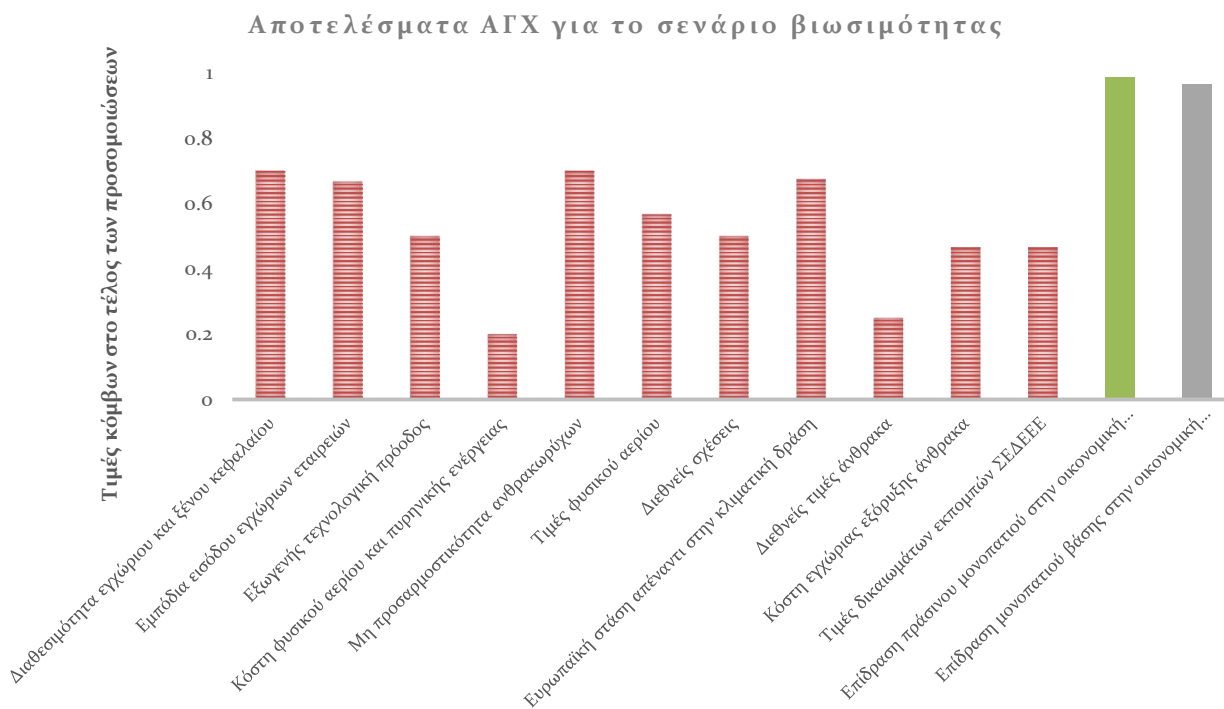
Τα δύο μονοπάτια προσομοιώθηκαν για να καταγράψουν τη σχετική απόδοσή τους έναντι διαφορετικών κοινωνικοοικονομικών σεναρίων που περιγράφουν διαφορετικά επίπεδα προκλήσεων για την κλιματική δράση. Το πρώτο σενάριο, «*Βιωσιμότητα*», είναι ένα αισιόδοξο σενάριο που χαρακτηρίζεται από χαμηλές συνολικά προκλήσεις· το δεύτερο σενάριο, «*Μετριοπάθεια*», περιγράφει έναν κόσμο με μέτριες προκλήσεις για την κλιματική δράση· το τρίτο σενάριο, «*Περιφερειακή αντιπαλότητα*», περιγράφει ένα απαισιόδοξο μέλλον, στο οποίο τόσο οι προκλήσεις μετριασμού της κλιματικής αλλαγής όσο και οι προκλήσεις προσαρμογής σε αυτήν είναι εξίσου υψηλές και δύσκολες· το τέταρτο σενάριο, «*Ανισότητα*», χαρακτηρίζεται από υψηλές προκλήσεις προσαρμογής αλλά χαμηλότερες προκλήσεις μετριασμού· ενώ, αντίθετα, το πέμπτο σενάριο, «*Μαύρη ανάπτυξη*», χαρακτηρίζεται από χαμηλές προκλήσεις προσαρμογής και υψηλές προκλήσεις μετριασμού. Αυτά τα σενάρια και οι παράγοντες που τα περιγράφουν έχουν εμπνευστεί από τη βιβλιογραφία των ΔΚΜ (O'Neill et al., 2017) και αναλύονται λεπτομερώς στο [Κεφάλαιο 10](#).

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έδειξαν ότι, από την οπτική γωνία των εμπειρογνομόνων που συμμετείχαν, υπάρχουν σημαντικοί διάυλοι μέσω των οποίων οι πολιτικές που υποστηρίζουν τη διάχυση των ΑΠΕ ενδέχεται να έχουν θετική επίδραση στην οικονομική ανάπτυξη. Οι αντίστοιχοι διάυλοι μετάδοσης των θετικών συνεπειών των πολιτικών υπέρ του άνθρακα εμφανίζονται ασθενέστεροι, σύμφωνα με το μοντέλο ΑΓΧ, με συνέπεια (και για τα πέντε, δηλαδή, κοινωνικοοικονομικά σενάρια).

Συγκεκριμένα, η ανάλυση έδειξε ότι όσο πιο καταστροφικό θεωρείται ένα σενάριο σε όρους δυσκολιών κλιματικής δράσης, τόσο χειρότερα ανταποκρίνεται μία στρατηγική βασισμένη στον άνθρακα, συγκριτικά με μία στρατηγική πράσινης μετάβασης. Μάλιστα, στα σενάρια 3 και 4, όπου οι προκλήσεις προσαρμογής αναμένονται να είναι υψηλές, η διαφορά μεταξύ των επιδράσεων των δύο μονοπατιών στη μακροπρόθεσμη οικονομική ανάπτυξη φαίνεται να διευρύνεται (π.χ. [Εικόνα 10.10](#)). Από την άλλη, τόσο στο σενάριο της βιωσιμότητας όσο και σε αυτό της μαύρης ανάπτυξης, τα οποία υποθέτουν χαμηλές προκλήσεις προσαρμογής, οι επιδόσεις των δύο μονοπατιών πολιτικών βρίσκονται πολύ κοντά, αλλά και πάλι το πράσινο μονοπάτι σημειώνει (ελαφρώς) καλύτερα αποτελέσματα (π.χ. [Εικόνα 10.11](#)).



Εικόνα 10.10 Τιμές κόμβων αβεβαιότητας και τελικού στόχου για τα μονοπάτια πράσινης ανάπτυξης (πράσινο) και βάσης (γκρι), στο Σενάριο 4 (περιφερειακή αντιπαλότητα).



Εικόνα 10.11 Τιμές κόμβων αβεβαιότητας και τελικού στόχου για τα μονοπάτια πράσινης ανάπτυξης (πράσινο) και βάσης (γκρι), στο Σενάριο 1 (βιωσιμότητα).

Ένα ακόμη σπουδαίο εύρημα είναι ότι, ανάμεσα στις επτά πολιτικές, μόνο η πολιτική στήριξη για τον άνθρακα εμφανίζεται να έχει αρνητική επίδραση στην οικονομική ανάπτυξη. Όλες οι άλλες πολιτικές, όταν αξιολογούνται ατομικά, φαίνεται να έχουν θετικές επιδράσεις στην εθνική οικονομική ανάπτυξη, στα περισσότερα σενάρια.

Η άσκηση ΑΓΧ αποκαλύπτει σημαντικούς διαύλους μετάδοσης των επιπτώσεων των πολιτικών που υποστηρίζουν τις ΑΠΕ ή τον άνθρακα στη μακροπρόθεσμη οικονομική ανάπτυξη. Εφόσον ορισμένοι από αυτούς τους διαύλους δεν λαμβάνονται υπόψη στα περισσότερα οικονομικά μοντέλα, οι προβλέψεις των μοντέλων αυτών ενδέχεται να μεροληπτούν. Οι προσομοιώσεις ΑΓΧ υποδεικνύουν ότι, εάν αυτοί οι δίαυλοι ληφθούν υπόψη, η πρόβλεψη ότι το πράσινο μονοπάτι σχετίζεται με μικρότερη οικονομική ανάπτυξη ενδέχεται να αντιστραφεί.

Στην επόμενη υποενότητα, αναλύονται οι πιο σημαντικοί αναδυόμενοι εξ αυτών των διαύλων που παραβλέπονται από την κλασική οικονομική ανάλυση μοντελοποίησης της [Ενότητας 10.2](#).

10.3.2 Κύριοι κίνδυνοι του πράσινου μονοπατιού

Η στρατηγική ταχύτερης διάχυσης των ΑΠΕ θα οδηγήσει σε μειούμενη ζήτηση για άνθρακα. Ως εκ τούτου, ο αριθμός των θέσεων εργασίας στον τομέα εξόρυξης θα μειωθεί. Ο μηχανισμός αυτός εν μέρει λαμβάνεται υπόψη στο μοντέλο MEMO και άλλα μοντέλα γενικής ισορροπίας. Από την άλλη, υψηλότερη ζήτηση για ΑΠΕ θα δημιουργήσει μεγαλύτερη ζήτηση για τον κατασκευαστικό τομέα, μειώνοντας τη ζήτηση όμως για άνθρακα άρα και το εργατικό δυναμικό στον τομέα εξόρυξης. Επίσης, μέσω του φαινομένου της γενικής ισορροπίας, η μείωση των επενδύσεων σε άλλους τομείς δύναται να μειώσει ακόμα περαιτέρω τη ζήτηση για εργασία σε άλλους τομείς. Η τελική συνολική επίδραση της πράσινης μετάβασης που προβλέπει το μοντέλο είναι αρνητική, παρότι περιορισμένη ([Εικόνα 10.8](#)).

Ωστόσο, τα παραδοσιακά οικονομικά μοντέλα, συμπεριλαμβανομένου του MEMO, υποτιμούν τις επιδράσεις των μεταβάσεων στην ανεργία. Το μοντέλο υποθέτει μία ομαλή ροή εργατικού δυναμικού μεταξύ οικονομικών τομέων. Αντίθετα, πρόσφατα εμπειρικά στοιχεία συνιστούν ότι η ροή του εργατικού δυναμικού από έναν οικονομικό τομέα σε έναν άλλον έπεται από σπουδαίες δομικές αλλαγές είναι αργή ([Autor et al., 2016](#) και [Tyrowicz and van der Velde, 2014](#)). Εάν οι εργάτες που φεύγουν από έναν τομέα δεν μπορούν να προσαρμοστούν εύκολα στις απαιτήσεις άλλων τομέων, θα αποχωρήσουν από την αγορά εργασίας συνολικά και θα παραμείνουν ανενεργοί. Αυτό θα έχει αρνητική επίπτωση στην οικονομική ανάπτυξη. Επίσης, μεταφέροντας τα κόστη της μετάβασης στους ώμους μίας ομάδας εργατών θα σημαίνει λιγότερη στήριξη για την επιθυμητή αυτή μετάβαση ([Mayer, 2018](#)). Για τον λόγο αυτόν, συμπεριλήφθηκαν οι επιπτώσεις στην εργασία και την απασχολησιμότητα στον ΑΓΧ.

Η άσκηση ΑΓΧ αποκαλύπτει ότι, κατά μέσο όρο, οι συμμετέχοντες εμπειρογνώμονες πιστεύουν ότι η υψηλότερη ζήτηση για ΑΠΕ έχει μετριοπαθή αντίκτυπο στη ζήτηση για ΑΠΕ που καλύπτεται από

εγχώριους ηλεκτροπαραγωγούς, η οποία με την σειρά της έχει πολύ ισχυρή επίδραση στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Από την άλλη, η διάχυση των ΑΠΕ θα έχει μία μετριοπαθή αρνητική επίδραση στην χρήση του άνθρακα και επομένως στις παραδοσιακές θέσεις εργασίας, οι οποίες συνεισφέρουν στην οικονομική ανάπτυξη, παρότι αυτό το τελευταίο φαινόμενο θεωρείται αρκετά ασθενές.

Η θεσμική υποστήριξη των ΑΠΕ διεγείρει επίσης τη ζήτηση για τεχνολογίες ΑΠΕ, άρα και ζήτηση για τους εγχώριους προμηθευτές τέτοιων τεχνολογιών, οδηγώντας εν τέλει σε νέες θέσεις εργασίας και ταχύτερη οικονομική ανάπτυξη. Ωστόσο, αυτός ο σύνδεσμος σπάει όταν οι εγχώριοι παραγωγοί αντιμετωπίζουν σημαντικά εμπόδια εισόδου τους στην αγορά ΑΠΕ. Οι εγχώριες εταιρείες ενδέχεται να μην μπορούν να ανταγωνιστούν ξένες εταιρείες, έχοντας σημειώσει σημαντική καθυστέρηση στις επενδύσεις σε τεχνολογίες ΑΠΕ τις προηγούμενες δεκαετίες, συγκριτικά με τις αντίστοιχες του εξωτερικού. Παραδείγματα εμποδίων για τους εγχώριους προμηθευτές τεχνολογιών ΑΠΕ έχουν αξιολογηθεί από τους Sawulski et al. (2018). Οι συμμετέχοντες εμπειρογνώμονες υπέδειξαν ότι, παρότι η διάχυση των ΑΠΕ έχει ισχυρό αντίκτυπο στη ζήτηση για εγκαταστάσεις ΑΠΕ, οι απαντήσεις τους σε γενικές γραμμές συνιστούν ότι έχει περιορισμένο αντίκτυπο στη δραστηριοποίηση των εγχώριων παραγωγών. Επίσης, κατέδειξαν ότι τα εμπόδια εισόδου στην αγορά επηρεάζουν αρνητικά τη ζήτηση για εγχώρια προϊόντα, υπονοώντας ότι η επίδραση των πράσινων πολιτικών στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας σε πράσινα επαγγέλματα θα είναι περιορισμένη. Επιπρόσθετα, οι δεξιότητες που αναπτύσσουν οι εγχώριοι παραγωγοί θα επιτρέψουν την αύξηση των δυνατοτήτων απορρόφησης των τεχνολογικών εξελίξεων στο παγκόσμιο τεχνολογικό μέτωπο. Ο ρόλος αυτών των δυνατοτήτων έχει αναγνωριστεί, για παράδειγμα, από τους Goulder and Schneider (1999) και Hanson (2018). Αυτές θα επιτρέψουν την περαιτέρω μείωση των κοστών των εγκαταστάσεων ΑΠΕ και του ενεργειακού συστήματος, αυξάνοντας έτσι την οικονομική ανάπτυξη. Ωστόσο, αυτή η αλυσίδα έχει μικρή σημασία εάν η τεχνολογική πρόοδος σε παγκόσμιο επίπεδο είναι αργή.

Τέλος, η ανάπτυξη των ΑΠΕ απαιτεί μεγαλύτερα μερίδια φυσικού αερίου στο ενεργειακό μίγμα. Οι σταθμοί φυσικού αερίου που χαρακτηρίζονται από σχετικά χαμηλά κόστη επενδύσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν φθηνή ευελιξία (Denholm and Margolis, 2007), η οποία θα διευκολύνει την ενσωμάτωση της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας στο ενεργειακό σύστημα. Οι τεχνολογίες καύσης αερίου, αυτήν τη στιγμή, είναι πιο ανταγωνιστικές από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας (Elliott, 2016). Η Πολωνία ενδέχεται να καταστεί ευάλωτη σε πολιτικές και οικονομικές πιέσεις, εφόσον το μεγαλύτερο ποσοστό του φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται στην Πολωνία εισάγεται από τη Ρωσία, η οποία έχει στο παρελθόν χρησιμοποιήσει τέτοιους μοχλούς πίεσης σε χώρες της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης. Χειρότερη ασφάλεια εφοδιασμού θα μειώσει την ανταγωνιστικότητα των πολωνικών εταιρειών και, ως εκ τούτου, θα οδηγήσει σε χαμηλότερη οικονομική άνθιση μακροπρόθεσμα. Οι εμπειρογνώμονες υπέδειξαν ότι οι επιδράσεις της διάχυσης των ΑΠΕ στη ζήτηση για φυσικό αέριο είναι περιορισμένες, όπως επίσης και

οι επιπτώσεις της τελευταίας στην ενεργειακή ασφάλεια· ωστόσο, υπέδειξαν ότι αυτή είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για την οικονομική ανάπτυξη της χώρας.

10.3.3 Κύριοι κίνδυνοι του baseline μονοπατιού

Η επιμονή στον άνθρακα αναπόφευκτα οδηγεί σε βραδύτερη μείωση των εκπομπών CO₂, εάν οι τεχνολογίες αρνητικών εκπομπών δεν αναπτυχθούν επαρκώς ή παραμείνουν υποεκμετάλλευτες. Δεδομένης της συνεπούς έως τώρα κλιματικής πολιτικής της ΕΕ, αυτό το μονοπάτι ενδεχομένως να οδηγήσει στη σταδιακή αποξένωση της Πολωνίας, όπως τονίστηκε και από ένα κυβερνητικό στέλεχος που συμμετείχε στην ημερίδα. Αυτό δύναται να επηρεάσει αρνητικά την οικονομική ανάπτυξη, π.χ. εξαιτίας της περιορισμένης πρόσβασης σε διεθνείς χρηματοοικονομικούς πόρους. Οι εκπρόσωποι των ενδιαφερόμενων φορέων που συμμετείχαν υπέδειξαν έναν ισχυρό σύνδεσμο μεταξύ της επιμονής στον άνθρακα και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και μία σχετικά ισχυρή αρνητική σχέση μεταξύ των τελευταίων και της διεθνούς φήμης της Πολωνίας, η οποία με τη σειρά της έχει επιπτώσεις και στην μακροπρόθεσμη οικονομική ανάπτυξη.

Επίσης, εάν οι χώρες στο τεχνολογικό μέτωπο εξακολουθήσουν να επενδύουν στην εξέλιξη των τεχνολογιών ΑΠΕ, οι τελευταίες θα υπερισχύσουν εν τέλει των τεχνολογιών άνθρακα. Εάν η Πολωνία συνεχίσει να επενδύει σε προσπάθειες E&A των συμβατικών τεχνολογιών, ενέχεται ο κίνδυνος ότι αυτές οι προσπάθειες στο τέλος θα έχουν σπαταληθεί, καθώς λιγότερες χώρες στο μέλλον θα αξιοποιούν τέτοιες τεχνολογίες. Παρόμοιο αποτέλεσμα θα έχει το ενδεχόμενο να καταστεί πιο ανταγωνιστική η ενέργεια από φυσικό αέριο ή πυρηνικούς σταθμούς. Οι συμμετέχοντες εμπειρογνώμονες ισχυρίστηκαν ότι τα οικονομικά κίνητρα για E&A σε άνθρακα δύνανται να συνεισφέρουν σημαντικά στην ανταγωνιστικότητα του άνθρακα. Επίσης κατέδειξαν ότι η τεχνολογική εξέλιξη μπορεί να έχει τεράστια επίδραση στη μείωση των κοστών των εγκαταστάσεων ΑΠΕ. Και τα δύο φαινόμενα θα οδηγήσουν σε μείωση των κοστών του εθνικού ενεργειακού συστήματος και, μέχρι ένα χρονικό σημείο, μπορούν να λειτουργούν σε συνέργεια. Ωστόσο, εάν σε κάποιο σημείο οι ΑΠΕ καταστούν αρκετά φθηνές ώστε να εκτοπίσουν τις τεχνολογίες άνθρακα, τότε η επίδραση των επενδύσεων σε άνθρακα στη μείωση των κοστών του ενεργειακού συστήματος θα εξουδετερωθεί.

Τέλος, η επιμονή σε συμβατικές τεχνολογίες καυσίμων θα αυξήσει τη ζήτηση για άνθρακα στο μέλλον. Εάν τα κόστη εξόρυξης των εγχώριων αποθεμάτων αυξηθούν (π.χ. στην περίπτωση λίγων ή κακής ποιότητας αποθεμάτων) ή εάν οι διεθνείς τιμές του άνθρακα μειωθούν, τότε οι εισαγωγές θα αυξηθούν, επηρεάζοντας αρνητικά την οικονομική ανάπτυξη στην πορεία. Οι εμπειρογνώμονες επίσης κατέδειξαν ότι η επιμονή στον άνθρακα θα έχει μία μετριοπαθή επίδραση στις εισαγωγές καυσίμων, οι οποίες θα αυξηθούν περαιτέρω λόγω των χαμηλότερων διεθνών τιμών άνθρακα και της έλλειψης πολιτικών προς υποστήριξη του εγχώριου άνθρακα, επηρεάζοντας αρνητικά την οικονομική κατάσταση της χώρας.

10.4 Ανάλυση αβεβαιότητας

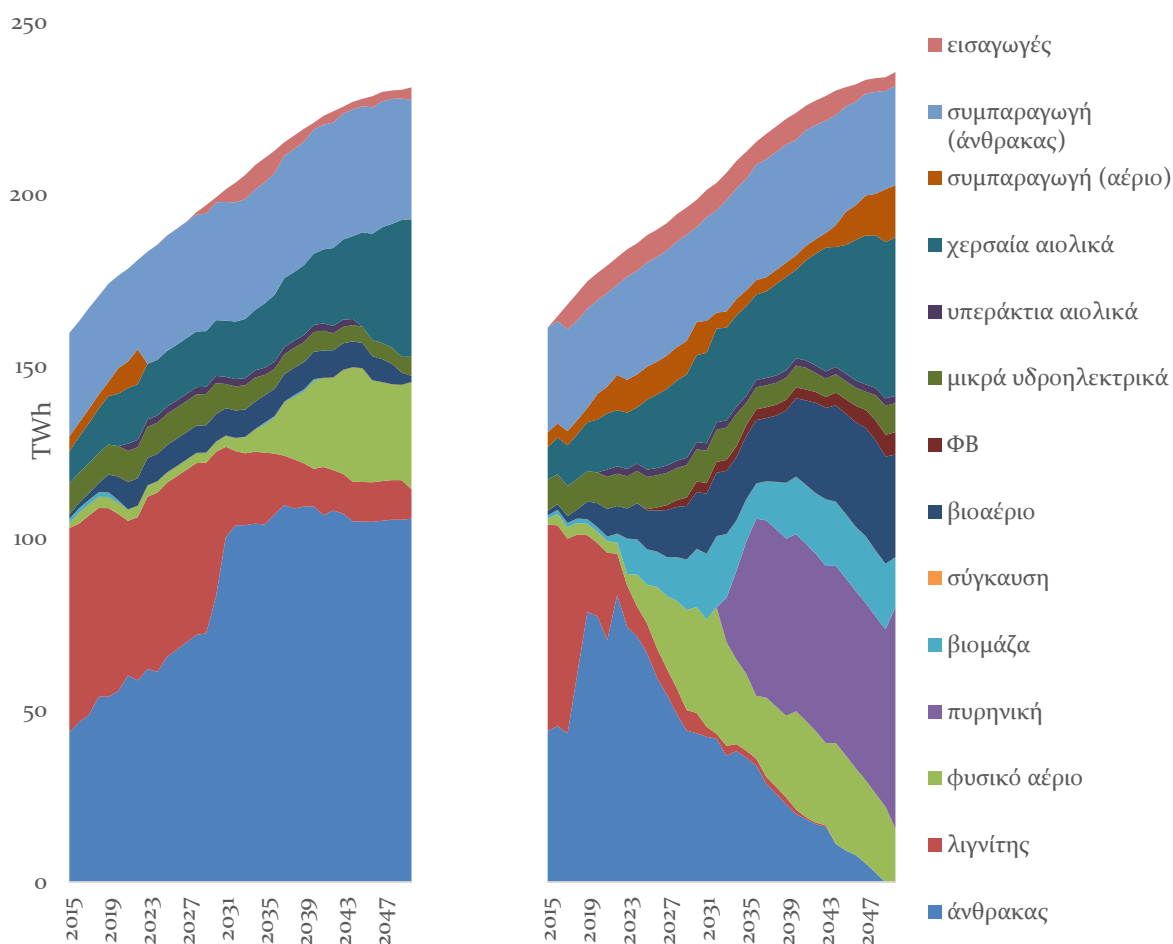
Η καθοδηγούμενη από εμπειρογνώμονες προσέγγιση των ΑΓΧ που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα υποδεικνύει ότι αρκετές αβεβαιότητες, οι οποίες αρχικά αγνοήθηκαν στην κλασική οικονομική ανάλυση, δύνανται να μεταβάλουν σημαντικά την εξέλιξη της ανάπτυξης του ΑΕΠ στα δύο μονοπάτια. Στην παρούσα ενότητα, διερευνάται ο αντίκτυπος ορισμένων εκ των αβεβαιοτήτων αυτών, τροποποιώντας μέρος των υποθέσεων της [Ενότητας 10.2](#). Συγκεκριμένα, διερευνάται πώς τα αποτελέσματα της κλασικής οικονομικής ανάλυσης αλλάζουν υπό την εναλλακτική εξέλιξη των κοστών εγκατάστασης και λειτουργίας των ΑΠΕ, των τιμών δικαιωμάτων εκπομπών του ΣΕΔΕΕΕ, καθώς και υπό την υπόθεση επί της διαθεσιμότητας της πυρηνικής τεχνολογίας. Με τον τρόπο αυτό, καθίσταται εφικτή η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίον τα δύο μονοπάτια ενδέχεται να εξελιχθούν υπό διαφορετικές συνθήκες. Επίσης, το εύρος των αποτελεσμάτων υποδεικνύει το επίπεδο της αβεβαιότητας που σχετίζεται με τις εκβάσεις της μοντελοποίησης και οφείλει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη λήψη αποφάσεων.

10.4.1 Χαμηλές τιμές ΣΕΔΕΕΕ

Εδώ, εξετάζονται τα αποτελέσματα των ΜΟΕΜ και ΜΕΜΟ υπό την υπόθεση ότι οι τιμές εμπορίας δικαιωμάτων στο ΣΕΔΕΕΕ παραμένουν σε πολύ χαμηλό επίπεδο ([Εικόνες 10.12 – 10.14](#)). Με βάση την υπόθεση των προσομοιώσεων βάσης των Klíma et al. (2015), υποτίθεται ότι η τιμή δικαιωμάτων για 1t διοξειδίου του άνθρακα είναι €7 το 2030 και αυξάνεται στο επίπεδο των €10 το 2050 (συγκριτικά με τις αρχικές υποθέσεις των €30 και €80 αντίστοιχα, της [Ενότητας 10.2](#)).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύσταση των αποτελεσμάτων του μοντέλου ΜΟΕΜ ότι, παρά τις χαμηλές τιμές του ΣΕΔΕΕΕ, το μερίδιο της αιολικής ενέργειας στο ενεργειακό μίγμα βάσης (χωρίς δηλαδή περιβαλλοντικούς περιορισμούς) είναι πολύ κοντά στο αντίστοιχο μερίδιό της στο πράσινο μονοπάτι. Αυτό το εύρημα υπονοεί ότι η τεχνολογία των χερσαίων αιολικών θα γίνει ανταγωνιστική ακόμη και για χαμηλές τιμές στο ΣΕΔΕΕΕ. Ωστόσο, η ταχεία διάχυση αυτής της τεχνολογίας στο σενάριο βάσης δεν θα ξεκινήσει πριν το 2040, όμως θα αποτελεί τη μόνη τεχνολογία ΑΠΕ με σημαντικό μερίδιο το 2050.

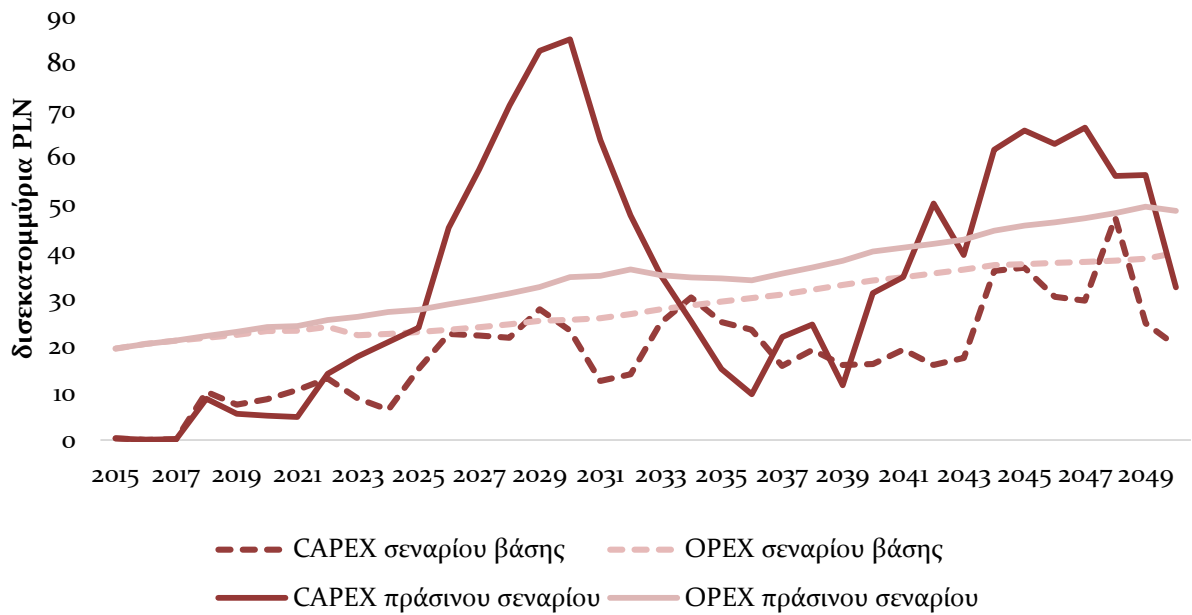
Μία αξιοσημείωτη αλλαγή στο baseline μονοπάτι είναι η σπουδαία αύξηση της χρήσης άνθρακα. Αυτή η αύξηση σχετίζεται με την συνολική απουσία της πυρηνικής ενέργειας, η οποία στο σενάριο υψηλών τιμών ΣΕΔΕΕΕ θα εισερχόταν στο ενεργειακό μίγμα το 2030.



Εικόνα 10.12 Το μίγμα ηλεκτροπαραγωγής ελαχίστου κόστους στο baseline (αριστερά) και πράσινο (δεξιά) μονοπάτι, υπό την υπόθεση χαμηλών τιμών στο ΣΕΔΕΕΕ.

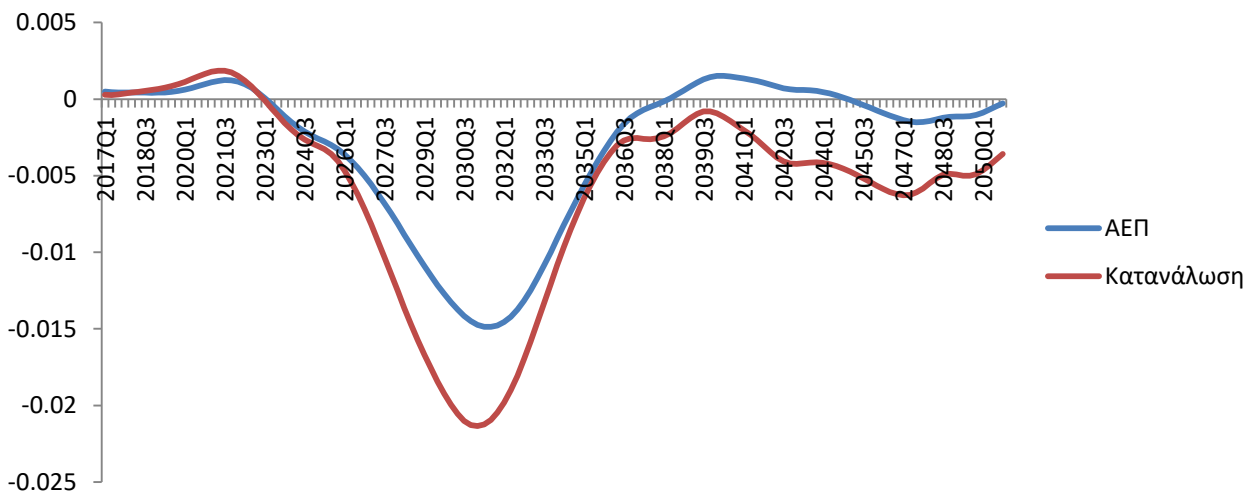
Αναμενόμενα, το πράσινο μονοπάτι είναι παρόμοιο ανάμεσα στα δύο σενάρια τιμών ΣΕΔΕΕΕ. Η αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων ήδη επιβάλλεται από τον ρητό περιορισμό των εκπομπών σε 45 εκατομμύρια τόνους, και οι τιμές δικαιωμάτων εκπομπών δεν επηρεάζουν περαιτέρω το ενεργειακό μίγμα ελαχίστου κόστους.

Οι προσομοιώσεις αυτής της ενότητας προβλέπουν μία μεγάλη διαφορά στα CAPEX που απαιτούνται στα δύο μονοπάτια, κυρίως λόγω της κατασκευής πυρηνικών σταθμών και της μεγαλύτερης διάχυσης των ΑΠΕ στο πράσινο μονοπάτι.



Εικόνα 10.13 CAPEX και OPEX στο baseline και πράσινο μονοπάτι, υπό την υπόθεση χαμηλών τιμών στο ΣΕ-ΔΕΕΕ.

Η μεγάλη διαφορά στην απαιτούμενη επένδυση μεταξύ των δύο μονοπατιών στο τέλος της δεκαετίας του 2020 μεταφράζεται σε σχετικά μεγάλες διαφοροποιήσεις σε όρους ΑΕΠ και κατανάλωσης μεταξύ τους. Το 2020, το ΑΕΠ στο πράσινο σενάριο είναι κατά 1.5% μικρότερο. Η διαφορά στην κατανάλωση είναι ακόμα πιο μεγάλη, αφού το 2030 είναι κατά 2% μικρότερη. Η προσομοίωση ωστόσο δείχνει ότι αυτή η μείωση είναι προσωρινή και δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μονοπατιών προς το τέλος της εξεταζόμενης περιόδου.



Εικόνα 10.14 Απόκλιση ΑΕΠ και κατανάλωσης του πράσινου μονοπατιού από το μονοπάτι βάσης, υπό την υπόθεση χαμηλών τιμών στο ΣΕΔΕΕΕ. Η τιμή του κατακόρυφου άξονα αντιστοιχεί στο επίπεδο του ΑΕΠ του baseline μονοπατιού.

10.4.2 Χαμηλά κόστη ΑΠΕ

Για την εξέταση της περίπτωσης μίας ταχείας μείωσης των κοστών εγκατάστασης των βασικών μορφών ΑΠΕ (ηλιακά ΦΒ, χειρσαία και υπεράκτια αιολικά), χρησιμοποιήθηκαν οι χαμηλού κόστους προβλέψεις των Hand et al. (2017), οι οποίες υποθέτουν ότι μεταξύ 2017 και 2030 οι τρεις αυτές τεχνολογίες σημειώνουν μείωση στα κόστη τους κατά 43%, 21% και 40% αντίστοιχα, συγκριτικά με τα επίπεδα των 24%, 7% και 31% της [Ενότητας 10.2](#). Απροσδόκητα, η μεγάλη μείωση των κοστών εγκατάστασης των ΑΠΕ δεν διαφοροποιεί σημαντικά το βέλτιστο ενεργειακό μίγμα στο μονοπάτι βάσης. Τα ΦΒ εισάγονται στο μίγμα προς τα τέλη της δεκαετίας του 2040, με το ποσοστό τους το 2050 ωστόσο να είναι αμελητέο. Αντίστοιχα, ίχνη υπεράκτια αιολικής ενέργειας παρατηρούνται, αλλά είναι εμφανές ότι αυτή η τεχνολογία δεν παίζει σημαντικό ρόλο.

Τα χαμηλότερα κόστη εγκατάστασης μειώνουν τα CAPEX και στα δύο μονοπάτια· αναμενόμενα, το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο στο πράσινο μονοπάτι, εξαιτίας της ευρύτερης διάχυσης των ΑΠΕ. Ως εκ τούτου, η διαφορά μεταξύ των CAPEX των δύο μονοπατιών μειώνεται: τα συσσωρευτικά CAPEX μεταξύ 2017 και 2030 στο πράσινο μονοπάτι είναι μεγαλύτερα από το μονοπάτι βάσης, υπό την υπόθεση χαμηλών κοστών εγκατάστασης ΑΠΕ, συγκριτικά με τα 330 δισεκατομμύρια PLN της [Ενότητας 10.2](#).

Το ΑΕΠ και η κατανάλωση δεν φαίνονται να διαφοροποιούνται σημαντικά από αυτά της αρχικής ανάλυσης, εκτός του ότι το 2030 το πράσινο μονοπάτι περιλαμβάνει μία απώλεια, το μέγεθος της οποίας ωστόσο είναι αμελητέο. Η μεγαλύτερη απώλεια σε όρους ΑΕΠ και κατανάλωσης λαμβάνει χώρα λίγο πριν το τέλος της περιόδου που εξετάζεται. Το 2047, η κατανάλωση στο πράσινο μονοπάτι είναι 1% μικρότερη.

10.4.3 Υψηλά κόστη ΑΠΕ

Για λόγους πληρότητας, μελετάται και το σενάριο υψηλότερων κοστών εγκατάστασης των ΑΠΕ, σύμφωνα με την τροχιά υψηλών κοστών των Hand et al. (2017).

Τα μακροοικονομικά αποτελέσματα σε αυτήν την περίπτωση δεν διαφέρουν σημαντικά από τα αποτελέσματα της [Ενότητας 10.2](#). Η απώλεια σε κατανάλωση είναι ελαφρώς μεγαλύτερη (1.2% το 2047), καθώς τώρα η μεγάλη υιοθέτηση των ΑΠΕ είναι ακριβότερη. Ωστόσο, το μέγεθος αυτής της απώλειας παραμένει αρκετά μικρό, από μακροοικονομική σκοπιά.

10.4.4 Μη διαθεσιμότητα πυρηνικής ενέργειας

Μία τελευταία επανάληψη της ανάλυσης πραγματοποιήθηκε για το σενάριο της μη διαθεσιμότητας της πυρηνικής τεχνολογίας. Η υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας παραμένει αβέβαιη για δύο λόγους: πρώτον, ενδέχεται να αντιμετωπίσει κοινωνική αντίσταση ή εναντίωση από οικολόγους και φορείς

χάραξης της πολιτικής που τους απασχολούν ζητήματα ασφάλειας και, δεύτερον, απαιτεί μεγάλες ροές κεφαλαίων σε μία σχετικά σύντομη χρονική περίοδο, κάτι που μπορεί να καταστεί ανέφικτο.

Η πρώτη σημαντική παρατήρηση αυτής της επανάληψης είναι ότι η πυρηνική ενέργεια μπορεί σε μεγάλο βαθμό να αντικατασταθεί από υπεράκτια αιολικά (11% το 2050, δηλαδή μεγαλύτερο μερίδιο από τα ηλιακά ΦΒ) στο πράσινο μονοπάτι. Η δεύτερη παρατήρηση είναι ότι η απουσία της πυρηνικής ενέργειας στο πράσινο μονοπάτι ενδεχομένως να οδηγήσει σε προβλήματα μη κάλυψης του φορτίου (3% την περίοδο 2045-2050), για την κάλυψη του οποίου θα απαιτείτο επιπλέον μείωση της ζήτησης.

Η εντεταμένη κατασκευή μονάδων φυσικού αερίου και ΑΠΕ στο πράσινο σενάριο τώρα περιλαμβάνει υψηλή ζήτηση για επενδύσεις, ξεκινώντας από τα τέλη της δεκαετίας του 2020 και διαρκώντας έως το τέλος της περιόδου που εξετάζεται. Οι επενδυτικές απαιτήσεις μεταφράζονται σε απώλειες σε όρους ΑΕΠ και κατανάλωσης. Ωστόσο, όπως και στα άλλα σενάρια, αυτή η απώλεια είναι αμελητέα.

Τα γραφήματα που αντιστοιχούν στις [Ενότητες 10.4.2 – 10.4.4](#) παρουσιάζονται λεπτομερώς στο ([Antosiewicz et al., 2019](#)).

10.5 Συμπεράσματα

Παρότι οι κλασικές οικονομικές αναλύσεις προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες για τις ευκαιρίες και τις προκλήσεις μίας πράσινης μετάβασης, δεν μπορούν να λάβουν υπόψιν όλα τα φαινόμενα που οι ενδιαφερόμενοι φορείς θεωρούν σημαντικά. Στην συγκεκριμένη μελέτη, αποδεικνύεται πώς ένα από κάτω προς τα πάνω μοντέλο βελτιστοποίησης, ένα από πάνω προς τα κάτω μακροοικονομικό μοντέλο και ένα μοντέλο ΑΓΧ μπορούν να ολοκληρωθούν για να διαμορφώσουν μία ευρύτερη εικόνα των οικονομικών και κοινωνικών κινδύνων. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση είναι ευθυγραμμισμένη με το επιστημονικό υπόδειγμα που παρουσιάζεται στο [Κεφάλαιο 2](#) ([Doukas et al., 2018](#)). Παρότι καθένας εξ αυτών των τύπων εργαλείων χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία για την αξιολόγηση κλιματικών πολιτικών, η παρούσα αποτελεί την πρώτη μελέτη που τους χρησιμοποιεί συνδυαστικά.

Τελικά, αυτή η μελέτη αποσκοπεί στην υποστήριξη της δημόσιας συζήτησης περί της μετάβασης του πολωνικού ενεργειακού συστήματος. Η από κάτω προς τα πάνω ενεργειακή ανάλυση προβλέπει ότι το μονοπάτι ελαχίστου κόστους υπό τον θεωρηθέντα περιβαλλοντικό περιορισμό εκπομπών περιλαμβάνει σταδιακή αντικατάσταση του άνθρακα με ένα μίγμα χερσαίων αιολικών, πυρηνικής ενέργειας, φυσικού αερίου, βιοαερίου και βιομάζας. Αντίθετα, χωρίς τον περιβαλλοντικό περιορισμό, το μονοπάτι ελαχίστου κόστους περιλαμβάνει μία μετριοπαθή μείωση της κατανάλωσης άνθρακα, κυρίως μετά το 2030. Το πράσινο μονοπάτι εμφανίζει υψηλότερα κόστη παραγωγής ηλεκτρισμού την περίοδο 2015-2050 (κατά 15% περίπου), οδηγώντας όμως στη μείωση των εκπομπών CO₂ κατά το ήμισυ

έως το 2050. Από την προσομοίωση της μετάβασης μεταξύ μονοπατιών στο μακροοικονομικό μοντέλο, γίνεται εμφανές ότι το μη περιβαλλοντικά περιορισμένο μονοπάτι σχετίζεται με υψηλότερα ΑΕΠ και κατανάλωση σε σχέση με το πράσινο μονοπάτι, ωστόσο η διαφορά είναι αμελητέα.

Με την συμμετοχή ομάδας εμπειρογνομόνων και την αξιοποίηση των ΑΓΧ, περιεγράφηκαν οι επιπτώσεις εκείνες που από τη δική τους οπτική γωνία είναι σημαντικές για την αξιολόγηση των δύο μονοπατιών και που δεν λαμβάνονται υπόψιν πλήρως στην αρχική ανάλυση. Η άσκηση ΑΓΧ υπέδειξε ότι η μετάβαση ενδέχεται να οδηγήσει σε αύξηση των εισαγόμενων τεχνολογιών, ότι η διάχυση των ΑΠΕ έχει πολύ ασθενή αρνητική επίδραση στις παραδοσιακές θέσεις εργασίας (εξόρυξης) αλλά και μία μετριοπαθή θετική επίδραση στις νέες. Το τελευταίο εύρημα αντιτίθεται στην πρόβλεψη του μοντέλου ΜΕΜΟ ότι η ζήτηση για εργατικό δυναμικό είναι ελαφρώς μικρότερη στο πράσινο μονοπάτι. Οι απαντήσεις επίσης υπέδειξαν ότι το baseline μονοπάτι σχετίζεται με κινδύνους απώλειας διεθνούς φήμης καθώς και εξάρτησης από εισαγόμενο άνθρακα.

Συνολικά, οι προσομοιώσεις ΑΓΧ υπέδειξαν ότι οι πολιτικές που προάγουν την διάχυση ΑΠΕ σχετίζονται με υψηλότερα οικονομικά και κοινωνικά οφέλη από τις πολιτικές που διατηρούν την ισχύουσα κατάσταση. Και αυτό το αποτέλεσμα έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της κλασικής οικονομικής ανάλυσης και δείχνει ότι, σύμφωνα με τους εμπειρογνώμονες, υπάρχουν σημαντικοί διάυλοι μετάδοσης των θετικών επιπτώσεων των πράσινων πολιτικών.

Τέλος, η άσκηση ΑΓΧ και οι απαντήσεις των εμπειρογνομόνων τόνισαν τις βασικές αβεβαιότητες που θα μπορούσαν να μεταβάλουν την εξέλιξη κάθε μονοπατιού: διαθεσιμότητα κεφαλαίου, εξωγενής τεχνολογική πρόοδος των ΑΠΕ, διεθνείς σχέσεις, κόστη/διαθεσιμότητα φυσικού αερίου και πυρηνικής ενέργειας, και τιμές δικαιωμάτων εκπομπών στο ΣΕΔΕΕΕ. Στην συνέχεια, εξετάστηκαν ορισμένες εκ των αβεβαιοτήτων αυτών μέσω της επανάληψης των ασκήσεων μοντελοποίησης υπό τις εναλλακτικές υποθέσεις εξέλιξης των κοστών ΑΠΕ, των τιμών ΣΕΔΕΕΕ και της διαθεσιμότητας της πυρηνικής τεχνολογίας. Σε αυτήν, υπολογίζεται ότι η μεγαλύτερη οικονομική απώλεια που σχετίζεται με το πράσινο μονοπάτι παρατηρείται στο σενάριο χαμηλών τιμών στο ΣΕΔΕΕΕ. Ωστόσο, ακόμη και σε αυτό το σενάριο, η απώλεια είναι αμελητέα (2% του ΑΕΠ το 2030, σχεδόν μηδενική το 2050).

Από μεθοδολογικής πλευράς, τα ευρήματα της μελέτης αυτής επιβεβαιώνουν αντίστοιχα της βιβλιογραφίας (Mallampalli et al., 2016· van Vliet et al., 2010) αλλά και τους ισχυρισμούς του προτεινόμενου επιστημονικού υποδείγματος ότι οι ΑΓΧ μπορούν να συμπληρώσουν επιτυχώς διεργασίες μοντελοποίησης. Εν προκειμένω, επίσης υποδεικνύουν ότι μπορούν να αποτελέσουν μία δομημένη μέθοδο εξαγωγής της γνώσης των εμπειρογνομόνων με σκοπό την αναγνώριση άρα και την αξιολόγηση κινδύνων και αβεβαιοτήτων στην κλιματική πολιτική που, υπό άλλες συνθήκες, αγνοούνται και εξαιρούνται από τις κλασικές μοντελικές αναλύσεις. Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι, παρότι οι ΑΓΧ βοήθησαν στον προσδιορισμό των διαύλων μετάδοσης κινδύνων που αγνοήθηκαν στην αρχική μοντελοποίηση, μόνο μέρος αυτών των διαύλων μοντελοποιήθηκαν και ποσοτικοποιήθηκαν

στην πορεία. Έτσι, πέραν της διευκόλυνσης της συμμετοχής των εμπειρογνωμόνων για την εύρεση κρυμμένων κινδύνων, η αξιολόγηση των κινδύνων αυτών εν τέλει εξαρτάται από τις τεχνικές δυνατότητες των μοντέλων. Αυτή η αδυναμία είναι επίσης εμφανής και στην περιορισμένη δυνατότητα απευθείας διασύνδεσης των διεργασιών ποσοτικής και ποιοτικής μοντελοποίησης.

Μελλοντικές προοπτικές της μελέτης οφείλουν να περιλαμβάνουν την εισαγωγή της έννοιας του χρόνου στους ΑΓΧ, όπως αναλύθηκε στο [Κεφάλαιο 6](#), καθώς και την εξαντλητική αξιολόγηση της πληθώρας των κινδύνων που αναγνωρίστηκαν από τους εμπειρογνώμονες στις μακροοικονομικές αναλύσεις.

10.6 Βιβλιογραφία

- Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., Hémous, D. (2012). The environment and directed technical change. *American Economic Review*, 102(1), 131-166.
- Antosiewicz, M., & Kowal, P. (2016). MEMO III – A large scale multi-sector DSGE model. IBS Research Report 02/2016. Available online: <http://ibs.org.pl/en/publications/memo-iii-a-large-scale-dsge-model/>
- Autor, D. H., Dorn, D., & Hanson, G. H. (2016). The china shock: Learning from labor-market adjustment to large changes in trade. *Annual Review of Economics*, 8, 205-240.
- Bernardo, G., & D'Alessandro, S. (2016). Systems-dynamic analysis of employment and inequality impacts of low-carbon investments. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 21, 123-144.
- Bukowski M., & Kowal P. (2010). Large scale, multi-sector DSGE model as a climate policy assessment tool - Macroeconomic Mitigation Options (MEMO) model for Poland. IBS Working Papers 3, Instytut Badan Strukturalnych.
- Capros, P., et al. (2016). EU Reference Scenario 2016-Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Denholm, P., & Margolis, R. M. (2007). Evaluating the limits of solar photovoltaics (PV) in traditional electric power systems. *Energy policy*, 35(5), 2852-2861.
- Doukas, H., Nikas, A., González-Eguino, M., Arto, I., & Anger-Kraavi, A. (2018). From Integrated to Integrative: Delivering on the Paris Agreement. *Sustainability*, 10(7), 2299.
- Elliott, D. (2016). A balancing act for renewables. *Nature Energy*, 1.
- Goulder, L. H., & Schneider, S. H. (1999). Induced technological change and the attractiveness of CO₂ abatement policies. *Resource and energy economics*, 21(3-4), 211-253.
- Groumpos, P. P. (2010). Fuzzy cognitive maps: basic theories and their application to complex systems. In *Fuzzy cognitive maps* (pp. 1-22). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Hand, M., Augustine, C., Feldman, D., Kurup, P., Beiter, P., & O'Connor, P. (2017). 2017 Annual Technology Baseline (ATB): Cost and Performance Data for Electricity Generation Technologies (No. 71). National Renewable Energy Laboratory-Data (NREL-DATA), Golden, CO (United States); National Renewable Energy Laboratory.
- Hanson, J. (2018). Established industries as foundations for emerging technological innovation systems: The case of solar photovoltaics in Norway. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 26, 64-77.
- Hess, D. J., Mai, Q. D., Skaggs, R., & Sudibjo, M. (2018). Local matters: Political opportunities, spatial scale, and support for green jobs policies. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 26, 158-170.
- Kampelmann, S., Kaethler, M., & Hill, A. V. (2017). Curating complexity: An artful approach for real-world system transitions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*.
- Kiuiila, O. (2018). Decarbonisation perspectives for the Polish economy. *Energy Policy*, 118, 69-76.
- Klima et al. (2015). "Model Optymalnego Miksu Energetycznego dla Polski do roku 2060. Wersja 3.0". Departament Analiz Strategicznych, Kancelaria Prezesa Rady Ministrów, Warsaw, 2 February 2015.
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International journal of man-machine studies*, 24(1), 65-75.
- Mallampalli, V. R., Mavrommati, G., Thompson, J., Duvencek, M., Meyer, S., Ligmann-Zielinska, A., Druschke, C.G., Hychka, K., Kenney, M.A., Kok, K., & Borsuk, M. E. (2016). Methods for translating narrative scenarios into quantitative assessments of land use change. *Environmental Modelling & Software*, 82, 7-20.
- Mayer, A. (2018). A just transition for coal miners? Accountability frames, community economic identity, and just transition policy support among local policy actors. *Environmental Innovation and Societal Transitions*.
- Nikas, A., & Doukas, H. (2016). Developing robust climate policies: a fuzzy cognitive map approach. In *Robustness Analysis in Decision Aiding, Optimization, and Analytics* (pp. 239-263). Springer, Cham.
- Nikas, A., Doukas, H., & Papandreou, A. (2019a). A detailed overview and consistent classification of climate-economy models. In *Understanding Risks and Uncertainties in Energy and Climate Policy* (pp. 1-54). Springer, Cham.
- Nikas, A., Doukas, H., Lieu, J., Alvarez Tinoco, R., Charisopoulos, V., & van der Gaast, W. (2017). Managing stakeholder knowledge for the evaluation of innovation systems in the face of climate change. *Journal of Knowledge Management*, 21(5), 1013-1034.
- Nikas, A., Doukas, H., van der Gaast, W., & Szendrei, K. (2018). Expert views on low-carbon transition strategies for the Dutch solar sector: A delay-based fuzzy cognitive mapping approach. *IFAC-PapersOnLine*, 51(30), 715-720.
- Nikas, A., Ntanos, E., & Doukas, H. (2019b). A semi-quantitative modelling application for assessing energy efficiency strategies. *Applied Soft Computing*, 76, 140-155.
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D.P., Birkmann, J., Kok, K., & Levy, M. (2017). The roads ahead: narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169-180.

- Olazabal, M., & Pascual, U. (2016). Use of fuzzy cognitive maps to study urban resilience and transformation. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 18, 18-40.
- Safarzynska, K., & van den Bergh, J. C. (2011). Industry evolution, rational agents and the transition to sustainable electricity production. *Energy Policy*, 39(10), 6440-6452.
- Stańczyk, K., & Bieniecki, M. (2007). Możliwości redukcji emisji CO₂ i jej wpływ na efektywność oraz koszty wytwarzania energii z węgla. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 31, 575-586.
- Supreme Audit Office (2016). Funkcjonowanie górnictwa węgla kamiennego w latach 2007–2015 na tle założeń programu rządowego.
- Tyrowicz, J., & van der Velde, L. (2014). Can We Really Explain Worker Flow in Transition Economies. Faculty of Economic Sciences, University of Warsaw: Warszawa, Poland.
- van Vliet, M., Kok, K., & Veldkamp, T. (2010). Linking stakeholders and modellers in scenario studies: The use of Fuzzy Cognitive Maps as a communication and learning tool. *Futures*, 42(1), 1-14.
- Vergini, E., & Groumpos, P. (2017). New concerns on fuzzy cognitive maps equation and sigmoid function. In *Control and Automation (MED)*, 2017 25th Mediterranean Conference on (pp. 1113-1118). IEEE.
- Witajewski-Baltvilks, J., Lewandowski, P., Szpor, A., Baran, J., & Antosiewicz, M. (2018). Managing coal sector transition under the ambitious emission reduction scenario in Poland. Focus on labour. IBS Research Report 04/2018.
- World Bank, 2011. Transition to a Low-Emissions Economy in Poland. World Bank Other Operational Studies.

11ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΠΣΥΑ, ΧΣ ΚΑΙ ΑΓΧ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΜΙΑΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ ΤΟΥ ΚΙΝΕΖΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ

11.1 Εισαγωγή

Οι μελέτες των πράσινων μεταβάσεων ολοένα και περισσότερο τονίζουν την αλληλεπίδραση και συνεξέλιξη των κοινωνικοτεχνικών συστημάτων σε μία γεωγραφική κλίμακα, λαμβάνοντας υπόψη τη σχεσιακή στροφή (βλ. σχεσιακός ρεαλισμός ή σχεσιακή κοινωνιολογία, το δόγμα που επανακαθορίζει το αντικείμενο της κοινωνιολογίας γύρω από την αντίληψη της κοινωνίας ως τον ιστό των ανθρωπίνων σχέσεων) (Geels, 2016· Yeung, 2005· και Hammer et al., 2011), όπου οι κοινωνικοτεχνικές αλλαγές μπορούν να λάβουν χώρα σε συγκεκριμένα αστικά πλαίσια (Turnheim et al, 2015· Bulkeley et al, 2010· Fastenrath and Braun, 2018· Hodson et al., 2017). Η πράσινη μετάβαση εννοιολογικά θεωρείται ως μία σύνθεση στοιχείων ενός συστήματος που περιλαμβάνουν τεχνολογία, πολιτική, υποδομές και πολιτισμό, προς υποστήριξη μίας βιώσιμης πορείας (Smith, 2007· Smith et al., 2005· Geels, 2004). Αυτές οι συστημικές συνθέσεις ενσωματώνονται σε τοπικά και περιφερειακά πολιτικά, οικονομικά και κοινωνικά συστήματα (Scott and Storper, 2015). Επομένως, η συν-εξέλιξη των συστημικών αυτών διαμορφώσεων δύναται να διαφέρει από μία περιοχή σε μία άλλη, μέσω πολλαπλών μεταβολών σε διαφορετικά ιστορικά αστικών μεταβάσεων, οικονομικής δομής, πολιτισμικών προτιμήσεων, φυσικών προικοδοτήσεων και διαφόρων ομάδων ενδιαφερόμενων φορέων. Ωστόσο, υπάρχει μία περιορισμένη ανάλυση του τρόπου με τον οποίον αυτές οι συστημικές συνθέσεις επηρεάζουν τις διαδικασίες μετάβασης (Kirby et al., 2018· Geels, 2012).

Συγκεκριμένα, οι επιδράσεις του μετασχηματισμού του πλαισίου πολιτικής σε εθνικό ή άλλο επίπεδο λαμβάνουν περιορισμένη προσοχή. Το μίγμα των πολιτικών αποκρίσεων ενδέχεται να ποικίλλει ανά τις χώρες και πόλεις, εξαιτίας των διαφορετικών φορέων, θεσμικών δομών και τρόπων διακυβέρνησης μίας μετάβασης (Wittmayer et al., 2017). Ακόμη και στο ίδιο πλαίσιο των εθνικών ή τοπικών

καθεστώτων ελέγχου άνθρακα, διαφορετικές πολιτικές και θεσμικές επιλογές θα είχαν ως αποτέλεσμα διαφορετικά μονοπάτια μετάβασης χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Ένας αυξανόμενος αριθμός μελετών των πράσινων μεταβάσεων διερευνά τις κινητήριες δυνάμεις των μονοπατιών των μεταβάσεων (Fastenrath and Braun, 2018· Holtz et al., 2018). Ωστόσο, τα εμπόδια ή οι επιπτώσεις των μονοπατιών μετάβασης δεν έχουν διερευνηθεί σε βάθος εξαιτίας των πολυεπίπεδων δυναμικών (Murphy, 2015). Οι κίνδυνοι των πράσινων μεταβάσεων είναι σύνθετοι, όχι μόνο επειδή αυτές οι μεταβάσεις προέρχονται από αλληλεξαρτήσεις των τεχνολογικών υποδομών, των θεσμών, της κοινωνικής κουλτούρας και των πολλαπλών φορέων (Van den Bergh et al., 2011)· αλλά και επειδή οι κίνδυνοι αυτοί θα μπορούσαν ενδεχομένως να πραγματοποιηθούν εντός τεχνολογικών συστημάτων που υποστηρίζουν τέτοιες μεταβάσεις χαμηλού άνθρακα σε ένα αστικό πλαίσιο. Για παράδειγμα, μπορεί να υπάρχουν αδυναμίες ή αναντιστοιχίες μέσα στα δομικά στοιχεία ενός συστήματος καινοτομίας, το οποίο αποτελείται από φορείς σε αλυσίδες εφοδιασμού, δίκτυα και θεσμούς (Jacobsson and Bergek, 2011). Αυτές οι αναντιστοιχίες θα μπορούσαν δυνητικά να οδηγήσουν σε κινδύνους και να εντείνονται ακόμη περισσότερο κατά μήκος πολλαπλών επιπέδων διακυβέρνησης.

Εκτός των πιθανών κινδύνων εντός των συστημάτων, έχουν επίσης συζητηθεί μεμονωμένα κίνδυνοι στη βιβλιογραφία των μεταβάσεων, όπως τα χρηματοοικονομικά ρίσκα (Thoma and Chenet, 2016), οι συμπεριφορικές επιδράσεις (Niamir et al., 2018), η τοπική δυνατότητα διακυβέρνησης (Westley et al., 2011) και διάφορα γνωστικά εμπόδια (Olazabal and Pascual, 2015). Πιο στοχευμένες μελέτες στο Ηνωμένο Βασίλειο διερευνούν τις ανεπιθύμητες επιπτώσεις των πράσινων ανακαινίσεων στα νοικοκυριά (Sovacool et al., 2019) καθώς και τα αναμενόμενα οφέλη και ρίσκα των τεχνολογιών έξυπνων σπιτιών (Wilson et al., 2017)· ωστόσο, λίγες έρευνες έχουν μελετήσει τους κινδύνους σε βάθος, από την οπτική των πολυεπίπεδων δυναμικών στο κινεζικό πλαίσιο. Επίσης, οι περισσότερες προσεγγίσεις στερούνται συγκεκριμένου εννοιολογικού καθορισμού του κινδύνου μεταβάσεων, ο οποίος έχει επιδράσεις σε όλο το σύστημα κατά τη διαδικασία μετάβασης.

Το παρόν κεφάλαιο χτίζεται επί της κατηγοριοποίησης των κινδύνων μεταβάσεων που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 2, σε δύο διαφορετικούς τύπους: τους κινδύνους υλοποίησης και τους κινδύνους συνεπειών. Ως κίνδυνος υλοποίησης ορίζεται η δυνατότητα να παρεμποδιστεί ο σχεδιασμός, η υλοποίηση ή η επιτυχία μίας δεδομένης πολιτικής από ποικίλες αιτίες, εισάγοντας έτσι την πιθανή αποτυχία της υλοποίησης πολιτικής στην ιδέα των εμποδίων ή προκλήσεων. Ο κίνδυνος συνεπειών αναφέρεται στη δυνατότητα μίας δεδομένης πολιτικής να προκαλέσει ποικίλες αρνητικές επιπτώσεις (Hanger-Kopp, Lieu and Nikas, 2019). Βάσει αυτών των ορισμών, επιδιώκεται η συνεισφορά στη γεφύρωση του γνωσιακού χάσματος στους κινδύνους μεταβάσεων χαμηλών εκπομπών άνθρακα, παρέχοντας εμπειρικές πληροφορίες από μία μελέτη περίπτωσης στον κινεζικό κτιριακό τομέα, με συγκεκριμένες αναφορές στο Πεκίνο και την Σανγκάη.

Ο αυξανόμενος αστικός πληθυσμός και πυκνότητα έχουν τροφοδοτήσει την ταχεία ανάπτυξη της κτιριακής βιομηχανίας και έχουν οδηγήσει στην αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης στην Κίνα. Ο κατασκευαστικός τομέας συνεισέφερε το 26.4% του ΑΕΠ της χώρας, ενώ η ενεργειακή κατανάλωση στα κτίρια αντιστοιχούσε το 2015 στο 33% της συνολικής (Zhang et al. 2017). Οι συνολικές εκπομπές άνθρακα από τον κινεζικό κτιριακό τομέα έχουν αυξηθεί από 984.69 εκατομμύρια τόνους CO₂ το 2005 σε 3,753.98 εκατομμύρια τόνους CO₂ το 2014 (Jiang and Li, 2017). Η ταχεία αστικοποίηση και η οικονομική ανάπτυξη έχουν συμβάλει στη ζήτηση για υψηλότερης ποιότητας χώρους διαβίωσης, συμπεριλαμβανομένης της εσωτερικής άνεσης, με αντίστοιχη αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Επομένως, η ενεργειακή διατήρηση στο οικοδομικό απόθεμα, ειδικά σε κτίρια κατοικιών σε αστικές περιοχές, έχει αναδειχθεί σε μία από τις σπουδαιότερες προκλήσεις για τις κλιματικές και ενεργειακές δράσεις της Κίνας (IEA and Tsinghua, 2015). Η πράσινη μετάβαση στον κτιριακό τομέα επομένως παίζει έναν σημαντικό ρόλο στη διασφάλιση της κορύφωσης των εκπομπών πριν το 2030, κατά τις δεσμεύσεις της κινεζικής κυβέρνησης που ορίζονται από την πρώτη ΕΚΣ της χώρας.

Το μονοπάτι πράσινης μετάβασης στο κινεζικό κτιριακό περιβάλλον μπορεί να θεωρηθεί από την οπτική του κύκλου ζωής ενός κτιρίου, συμπεριλαμβανομένης της ενεργειακής κατανάλωσης κατά τη διάρκεια των διεργασιών προγραμματισμού, σχεδιασμού και κατασκευής, καθώς και της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου σε χρήση (Chen and Luo, 2008). Η έννοια της πράσινης κατασκευής συχνά γίνεται αντιληπτή ως η πρακτική της κατασκευής αποδοτικών, σε όρους πόρων, και υγιέστερων πρακτικών για τη σχεδίαση, κατασκευή, ανακαίνιση, λειτουργία και συντήρηση των κτιρίων (Fastenrath and Braun, 2018). Όταν η έννοια της πράσινης κατασκευής εστιάζεται στην ενεργειακή εξοικονόμηση και τη μείωση άνθρακα καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του κτιρίου, η μετάβαση σε πιο πράσινα κτίρια μπορεί δυνητικά να επιτευχθεί μέσω της υιοθέτησης των 'πράσινων' αρχιτεκτονικών αρχών (π.χ. ηλιακές τεχνολογίες, παθητικός ή χαμηλής ενέργειας σχεδιασμός)· της εφαρμογής κτιριακών τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών άνθρακα, όπως προκατασκευασμένων κατασκευών ή τεχνολογιών ενεργειακής αποδοτικότητας· της ανακαίνισης των υφιστάμενων κτιρίων με εξωτερικά παράθυρα και επιλογές σκίασης· της εγκατάστασης συστημάτων παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ, και πράσινων οροφών και τοίχων· και άλλων μέτρων ενεργειακής εξοικονόμησης στον κτιριακό τομέα (Lewis, 2007· UNEP, 2011· Akadiri and Chinyio, 2012· Fastenrath, 2018).

Δεδομένου του κινεζικού πλαισίου των πολιτικών μετάβασης σε κοινωνίες χαμηλού άνθρακα σε αστικές περιοχές, αυτό το κεφάλαιο εστιάζει σε δύο κατευθύνσεις για τη μετάβαση στην πράσινη κατασκευή: την ενεργειακή αποδοτικότητα στον κτιριακό τομέα και την πράσινη ενέργεια στον κτιριακό τομέα και το ηλεκτρικό σύστημα, όπως μικρής κλίμακας εγκαταστάσεις ΑΠΕ και τροφοδότηση του ηλεκτρικού συστήματος με πράσινη ενέργεια.

Μία μετάβαση χαμηλού άνθρακα στο οικιακό κτιριακό περιβάλλον στην Κίνα είναι πιο περίπλοκη από άλλες κατηγορίες κτιρίων. Η αυξημένη πολυπλοκότητα μπορεί να αποδοθεί στην ευρεία ποικιλία

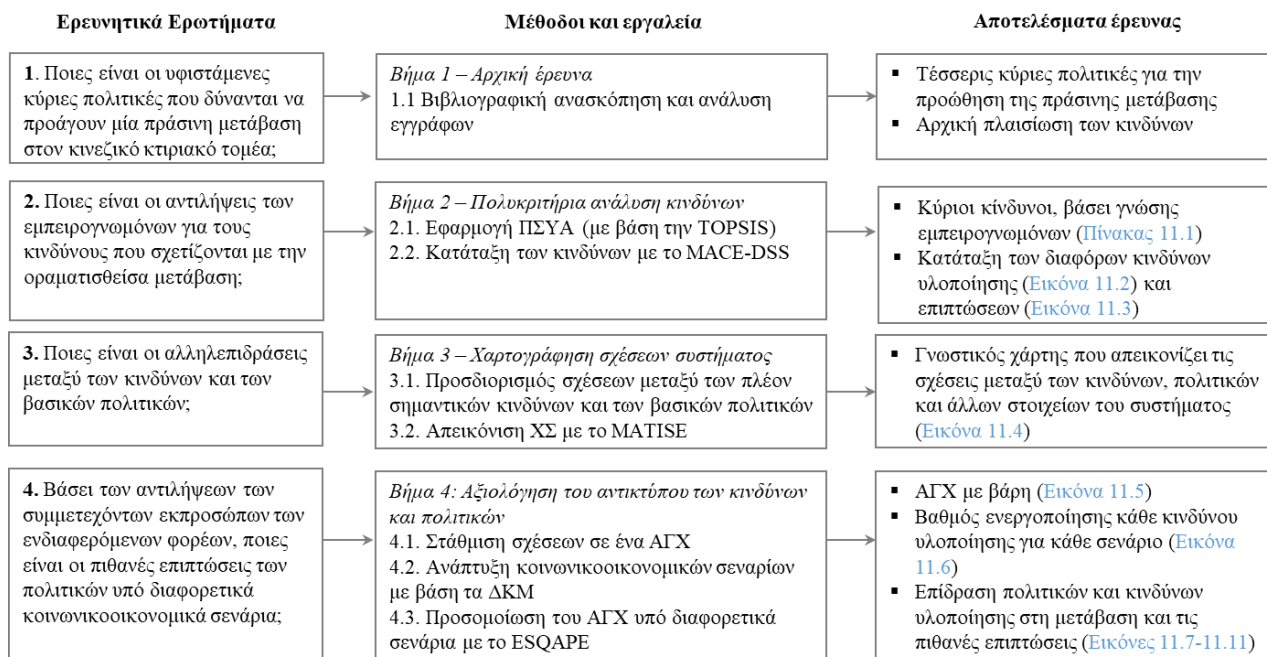
τύπων κατοικιών, στις δημογραφικές διαφορές ανά τα νοικοκυριά, στις μεταβλητές κλιματικές συνθήκες που επηρεάζουν τη δυνατότητα των νοικοκυριών να ρυθμίσουν την εσωτερική θερμοκρασία, καθώς και στα διαφορετικά κοινωνικοοικονομικά πλαίσια που περιλαμβάνουν την αγορά ενοικιάσεων σπιτιών, τα κοινωνικά έθιμα και το σύνολο των στοιχείων που συναποτελούν την κουλτούρα. Είναι δύσκολος ο εννοιολογικός ορισμός των δυναμικών της κοινωνικοτεχνικής αλλαγής σε ένα μοναδικό μονοπάτι, δεδομένων των διαφορετικών κατηγοριών κτιρίων, τοποθεσιών, κλιμάτων και φυσικών πόρων (Bauer et al., 2009). Ακόμη και αν οι αστικές πόλεις σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες χαρακτηρίζονταν από παρόμοιες δυνατότητες καινοτομίας για μία μετάβαση χαμηλών εκπομπών άνθρακα, τα μονοπάτια τους θα αντιμετώπιζαν διαφορετικές αναντιστοιχίες με τις υφιστάμενες κοινωνικοοικονομικές και τεχνολογικές δομές, οι εξελίξεις των οποίων σχετίζονται με διαφορετικές αβεβαιότητες και κινδύνους.

Η μελέτη περίπτωσης μίας πράσινης μετάβασης στον οικιακό κτιριακό τομέα προσφέρει μία ευκαιρία να διερευνηθούν οι κίνδυνοι που ενδεχομένως ελλοχεύουν στην εφαρμογή πολιτικών καθώς και οι πιθανές αρνητικές επιπτώσεις μίας μεταβατικής διαδικασίας. Το παρόν κεφάλαιο, επομένως, επιχειρεί να απαντήσει στα επόμενα ερευνητικά ερωτήματα:

1. Ποιες είναι οι υφιστάμενες βασικές πολιτικές που επιτρέπουν μία χαμηλών εκπομπών άνθρακα μετάβαση του κινεζικού κτιριακού τομέα;
2. Ποιες είναι οι αντιλήψεις των εμπειρογνομόνων για τους κινδύνους που σχετίζονται με τις διεργασίες μίας μετάβασης χαμηλού άνθρακα;
3. Ποιες είναι οι διαδράσεις μεταξύ των πλέον κρίσιμων κινδύνων και των βασικών πολιτικών;
4. Βάσει των αντιλήψεων των ενδιαφερόμενων φορέων, ποιος είναι ο πιθανός αντίκτυπος των πολιτικών και των συσχετιζόμενων κινδύνων, υπό διαφορετικά κοινωνικοοικονομικά σενάρια;

Αυτά τα ερευνητικά ερωτήματα αντιμετωπίζονται με τη χρήση ενός διεπιστημονικού, συνδυαστικού μεθοδολογικού πλαισίου. Οι αντίστοιχες ερευνητικές μέθοδοι και τα αποτελέσματά τους συνοψίζονται στην [Εικόνα 11.1](#).

Το ερευνητικό ερώτημα 1 αποτελεί αντικείμενο της [Ενότητας 11.2](#) και οδηγεί στον προσδιορισμό τεσσάρων κύριων πολιτικών μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης και της ανάλυσης εγγράφων. Η καθοδήγηση και υποστήριξη από τις κυβερνητικές πολιτικές είναι κρίσιμη για την επίτευξη των ενεργειακών στόχων για τον κτιριακό τομέα. Μέσω εθνικών ρυθμίσεων και σχεδίων που σχετίζονται με την ενεργειακή διατήρηση στα κτίρια, αυτή η μελέτη περιγράφει τα μονοπάτια πράσινης μετάβασης του κινεζικού κτιριακού αποθέματος και αποσκοπεί στην πλαίσιωση των υφιστάμενων κύριων μέτρων πολιτικής που προάγουν τη μετάβαση αυτή.



Εικόνα 11.1 Το μεθοδολογικό πλαίσιο της μελέτης περίπτωσης, με τα ερευνητικά ερωτήματα, τις μεθόδους και τα εργαλεία, καθώς και οι αναμενόμενοι έξοδοι κάθε βήματος.

Στο δεύτερο μέρος αυτής της μελέτης, οι βασικοί κίνδυνοι της μετάβασης προσδιορίζονται και κατατάσσονται, ενώ μία ανασκόπηση των πολιτικών παρέχει ένα πρωταρχικό πλαίσιο προσδιορισμού της αρχικής λίστας των κινδύνων. Τα εναπομείναντα ερευνητικά ερωτήματα διερευνώνται στην [Ενότητα 11.3](#). Το ερώτημα 2 εστιάζει στους πλέον κρίσιμους κινδύνους υλοποίησης και συνεπειών με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση και ένα περαιτέρω φιλτράρισμα μέσω της συμμετοχής εμπειρογνομόνων στο δεύτερο βήμα. Οι κίνδυνοι, έπειτα, αξιολογούνται και κατατάσσονται από τους εμπειρογνώμονες, χρησιμοποιώντας το MACE-DSS ([Κεφάλαιο 7](#)), ένα εργαλείο πολυκριτήριας ανάλυσης (Nikas et al., 2018). Χρησιμοποιώντας αποτελέσματα από αυτό το βήμα, επιχειρείται η προσέγγιση του ερευνητικού ερωτήματος 3, εστιάζοντας στους πλέον σημαντικούς κινδύνους που προσδιορίζουν οι συμμετέχοντες εκπρόσωποι των ενδιαφερόμενων φορέων, με τους οποίους συζητήθηκαν οι δυναμικές αιτίου-αποτελέσματος αυτής της μετάβασης (π.χ. βασικές σχέσεις μεταξύ κινδύνων και πολιτικών). Τα αποτελέσματα στη συνέχεια απεικονίζονται σε έναν γνωστικό χάρτη στο τρίτο βήμα, μέσω της αξιοποίησης της μεθοδολογίας της χαρτογράφησης συστημάτων και του εργαλείου MATISE ([Κεφάλαιο 5](#)). Η διαδικασία εξαγωγής της γνώσης των εμπειρογνομόνων που χρησιμοποιήθηκε περιγράφεται λεπτομερώς από τους Nikas and Doukas (2016). Το ερευνητικό ερώτημα 4 προσεγγίζεται με την εφαρμογή του εργαλείου ESQAPE ([Κεφάλαιο 6](#)) για την προσομοίωση ΑΓΧ (Nikas et al., 2019a). Συγκεκριμένα, οι εμπειρογνώμονες χαρακτηρίζουν τις σχέσεις εντός του γνωστικού χάρτη με βάρη, κατασκευάζοντας ένα μοντέλο ΑΓΧ, το οποίο στην πορεία προσομοιώνεται έναντι ποικίλων κοινωνικοοικονομικών σεναρίων. Στην τελευταία ενότητα ([Ενότητα 11.3](#)), εξάγονται συμπεράσματα από την πολυκριτήρια ανάλυση και τη μοντελοποίηση ΑΓΧ καθώς και από τη διάδραση

μεταξύ κινδύνων και πολιτικών από τη μία, και άλλα στοιχεία του συστήματος (π.χ. κοινωνικοοικονομικές εξελίξεις, θεσμική οργάνωση και τεχνολογική καινοτομία) από την άλλη.

11.2 Ερευνητικό πλαίσιο: πρωταρχικές στρατηγικές κλιματικής πολιτικής

Η ενεργειακή αποδοτικότητα στα κτίρια και η πράσινη κατασκευή έχουν προταθεί ως στόχοι υψηλής προτεραιότητας στο Εθνικό Μεσοπρόθεσμο και Μακροπρόθεσμο Τεχνολογικό Αναπτυξιακό Πρόγραμμα (2006-2020) της χώρας. Οι πρωταρχικές δεσμεύσεις στη Συμφωνία του Παρισιού τονίζονται στην ΕΚΣ της Κίνας, η οποία επίσης δίνει έμφαση στην ενίσχυση της πράσινης κατασκευής σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του εγχώριου κτιριακού αποθέματος, αφού εστιάζει ευρέως στην εξοικονόμηση πόρων (ενέργεια, νερό, γη, υλικά) καθ' όλην την διάρκεια της ζωής του κτιρίου. Η υιοθέτηση αρχών πράσινης αρχιτεκτονικής καθώς και κτιριακών τεχνολογιών και υλικών χαμηλών εκπομπών εν γένει μειώνει την ενεργειακή κατανάλωση και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Pachauri et al., 2007· UNEP, 2011). Το μονοπάτι μετάβασης χαμηλού άνθρακα για τα πράσινα κτίρια υποδεικνύεται επίσης και στο 13^ο Πενταετές Σχέδιο (2016-2020) της Κίνας και το Σχέδιο Δράσης Στρατηγικής Ενεργειακής Ανάπτυξης (2014-2020). Το ενδεδειγμένο αφήγημα αντιμετωπίζει δύο βασικά στοιχεία ενός τέτοιου μονοπατιού: τις προσπάθειες ενεργειακής αποδοτικότητας για τη μείωση εκπομπών, και την κατανάλωση πράσινης ενέργειας στα κτίρια με επίκεντρο τις ανανεώσιμες πηγές.

Για την προώθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας, έχουν καθιερωθεί προγράμματα τόσο πράσινης κατασκευής όσο και ανακαινίσεων. Έως το 2020, το επίπεδο ενεργειακής αποδοτικότητας των νέων κτιρίων σε αστικές περιοχές θα πρέπει να αυξηθεί κατά 20% σε σχέση με το 2015· το ποσοστό της πράσινης αστικής κατασκευής (σ.σ. νέα κτίρια) θα πρέπει να φτάσει το 50%· το μερίδιο των πράσινων υλικών θα πρέπει να ξεπεράσει το 40%· και η συνολική έκταση των ανακαινίσεων εξοικονόμησης ενέργειας στο υφιστάμενο οικιακό κτιριακό απόθεμα θα πρέπει να καλύπτει άνω των 500 εκατομμυρίων τ.μ., με το μερίδιο των ανακαινισμένων κτιρίων να ξεπερνά το 60% έως το 2020. Οι στόχοι για αύξηση στη χρήση πράσινης ενέργειας έχουν προταθεί στο '13^ο Πενταετές Σχέδιο για Ενεργειακή Διατήρηση και Πρόγραμμα Μείωσης Εκπομπών' του 2017, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης κατανεμημένων επί στέγης ΦΒ συστημάτων, της ηλιακής ενέργειας, της γεωθερμικής ενέργειας, και της θέρμανσης από βιομηχανικά απόβλητα. Έως το 2020, η έκταση των κτιρίων που κάνουν χρήση ηλιακής θερμικής ενέργειας για θέρμανση θα πρέπει να φτάσει τα 800 εκατομμύρια τ.μ., ενώ η έκταση των εγκαταστάσεων ηλιακών θερμοσιφώνων τα 45 εκατομμύρια τ.μ.. Επιπροσθέτως, υφίστανται και περιφερειακά σχέδια για την ενεργειακή ζήτηση στα κτίρια. Για παράδειγμα, η θέρμανση στη βορειότερη περιοχή της Κίνας αντιστοιχούσε στο 42.5% της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης στα κτίρια, το 2015 (IEA and Tsinghua, 2015). Έτσι, το Σχέδιο Καθαρής Θέρμανσης για τον Χειμώνα για την Βόρεια Κίνα (2017-2021) που δημοσιεύθηκε το 2017 απαιτεί ότι οι βόρειες περιοχές

(συμπεριλαμβανομένων μεταξύ άλλων των Πεκίνου, Τσιαντζίν, Χεμπέι, Χενάν και Σαντόνγκ) θα επιτύχουν μία μετάβαση από τον άνθρακα στο φυσικό αέριο για να εξασφαλίσουν τη μισή ενέργεια που απαιτείται από γεωθερμία, βιομάζα, ηλιακά, φυσικό αέριο, βιομηχανικά απόβλητα και κεντρική, καθαρή ηλεκτροπαραγωγή από άνθρακα έως το 2019. Έως το 2021, το ποσοστό καθαρής ενεργειακής θέρμανσης θα πρέπει να φτάσει το 70%.

Για την επίτευξη μίας τέτοιας πράσινης μετάβασης του κτιριακού τομέα, έχει θεσπιστεί ή ενταθεί μία σειρά από στρατηγικές και δράσεις. Κατόπιν ανάλυσης εγγράφων, τα βασικά μέτρα πολιτικής που υποστηρίζουν τη μετάβαση σε εθνικό και τοπικό επίπεδο μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες: κώδικες και κανονισμοί πράσινης κατασκευής (P_1), σύστημα αξιολόγησης και πιστοποίησης πράσινων κτιρίων (P_2), πολιτικές επιδοτήσεων και προνομιακών μεταχειρίσεων σχετικών με τη διατήρηση ενέργειας στα κτίρια (P_3), και ενημερωτικές εκστρατείες για την ενίσχυση επίγνωσης στους πολίτες (P_4).

11.2.1 Κώδικες και κανονισμοί πράσινης κατασκευής

Μετά την έκδοση του πρώτου κτιριακού ενεργειακού κανονισμού για τα οικιστικά κτίρια το 1986, η Κίνα έχει εφαρμόσει μία σειρά από υποχρεωτικούς ενεργειακές κώδικες, πρότυπα ενεργειακής αποδοτικότητας και προγράμματα πιστοποίησης ενεργειακής αποδοτικότητας (Zhou et al., 2013). Σύμφωνα με διάφορους κτιριακούς κανονισμούς και κώδικες στο εθνικό και τοπικό επίπεδο, έχουν τεθεί υποχρεωτικές απαιτήσεις, πρότυπα και κατευθυντήριες γραμμές για την προώθηση του ελέγχου επίδοσης της ενεργειακής αποδοτικότητας και της παθητικής, ιδιαίτερα χαμηλής ενεργειακής χρήσης στη διαδικασία του σχεδιασμού, της κατασκευής, της λειτουργίας και της αξιολόγησης των κτιρίων. Αυτοί οι κώδικες οφείλουν να αναβαθμιστούν σύμφωνα με τους στόχους μείωσης εκπομπών και τους τοπικούς κανόνες, οι οποίοι μπορεί να διαφέρουν βάσει των τοπικών αναπτυξιακών απαιτήσεων και να είναι αυστηρότεροι από τους εθνικούς κώδικες. Για παράδειγμα, υπάρχουν πέντε κανονισμοί σχετικά με την ενεργειακή διατήρηση (Yuan et al., 2017). Μεταξύ αυτών, ο Κανονισμός για την Διατήρηση Ενέργειας στα Αστικά Κτίρια ενεργοποιήθηκε το 2008 από το κρατικό συμβούλιο της Κίνας, συμπεριλαμβάνοντας τις συγκεκριμένες απαιτήσεις για ενεργειακή εξοικονόμηση στα νέα κτίρια, τα υφιστάμενα κτίρια και τα κτιριακά ενεργειακά συστήματα. Επίσης, ένα σύνολο Τεχνικών Κατευθυντήριων Γραμμών για Παθητική, Ιδιαίτερα Χαμηλή Ενεργειακή Χρήση στα Πράσινα Κτίρια (που εκδόθηκε το 2015) παρέχει κατευθύνσεις για την ενίσχυση της παθητικής, ιδιαίτερα χαμηλής ενεργειακής χρήσης, εγκαθιδρύοντας τους τεχνικούς δείκτες διαφορετικών κλιματικών ζωνών και την τεχνική έμφαση στον σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία και αξιολόγηση των κτιρίων.

11.2.2 Σύστημα αξιολόγησης και πιστοποίησης πράσινων κτιρίων

Το σύστημα αξιολόγησης και πιστοποίησης είναι ένας τύπος καθοδηγούμενης από την αγορά πολιτικής κινήτρων, όπως είναι το Σύστημα Τριών Αστέρων. Το σύστημα περιλαμβάνει δύο διαφορετικές πιστοποιήσεις, την πιστοποίηση σχεδίου και την πιστοποίηση λειτουργίας. Η πρώτη αφορά σε μία προ-πιστοποίηση που μπορεί να δοθεί για να επιτρέψει την εμπορία ενός έργου ως πράσινου κτιρίου, ενώ η δεύτερη είναι μία τελική πιστοποίηση που αποδίδεται κατόπιν ελέγχου της ενεργειακής επίδοσης του κτιρίου μετά από ένα έτος λειτουργίας. Η αύξηση της ζήτησης στα πράσινα κτίρια έχει σε μεγάλο βαθμό τροφοδοτηθεί από κυβερνητικές πολιτικές και στόχους (Kong et al., 2012). Έως το τέλος του 2016, τα έργα πράσινης κατασκευής με πιστοποίηση του Συστήματος Τριών Αστέρων είχαν φτάσει τα 226 (194 με την πιστοποίηση σχεδίου και 32 με την πιστοποίηση λειτουργίας) στο Πεκίνο, με την συνολική κτιριακή έκταση να αγγίζει τα 24.34 εκατομμύρια τ.μ., ενώ στην Σανγκάη είχαν φτάσει τα 398, μόνο 21 εκ των οποίων είχαν πιστοποιηθεί με το πιστοποιητικό λειτουργίας (Beijing MCOHURDM, 2017· Shanghai MCOHURDM, 2017).

Το πιστοποιητικό λειτουργίας επί της ουσίας αποτελεί το κρίσιμο στάδιο για την επίτευξη μειώσεων των εκπομπών άνθρακα. Παρότι αυτή η πιστοποίηση δεν είναι ακόμη κυρίαρχη στην πιστοποίηση κτιρίων, η αύξηση της συμμετοχής στο σύστημα αξιολόγησης και πιστοποίησης θα οδηγούσε σε αύξηση της επίγνωσης των πολιτών για την πράσινη κατασκευή και θα οδηγούσε εν τέλει στις επιθυμητές συμπεριφορικές αλλαγές όλων των εμπλεκόμενων φορέων. Ωστόσο, η αποσύνδεση των δύο πιστοποιητικών (Mo and Philanthropies, 2016) θα μπορούσε να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην επίδοση της πράσινης κατασκευής.

11.2.3 Πολιτικές επιδοτήσεων και προνομιακών μεταχειρίσεων

Οι εθνικές και τοπικές κυβερνήσεις της Κίνας ενεργοποίησαν διάφορες επιδοτήσεις και προνομιακές πολιτικές για την προώθηση της διατήρησης ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων (α) επιβραβεύσεων για ανακαινίσεις, (β) εγκαταστάσεων μικρής κλίμακας ΑΠΕ, (γ) τιμολογιακών επιδοτήσεων για ενεργειακά αποδοτικές συσκευές, και (δ) επιδοτήσεων για τους κατασκευαστές με πιστοποίηση πράσινης κατασκευής. Από το 2012, η κεντρική (εθνική) κυβέρνηση έχει θεμελιώσει ένα πρόγραμμα επιβράβευσης για ανακαινίσεις στο ύψος των 7.86 US\$/m² σε ιδιαίτερα ψυχρές περιοχές και 6.4 US\$/m² για ψυχρές περιοχές. Επίσης, υπάρχει μία επιδότηση 6.4 US\$/m² για κτίρια δύο αστέρων και 11.4 US\$/m² για κτίρια τριών αστέρων. Οι τοπικές κυβερνήσεις δύνανται να παρέχουν διάφορα συμπληρώματα επί αυτών των επιδοτήσεων. Για παράδειγμα, υπάρχει μία επιδότηση 1.6 US\$/m² και άλλη μία 2.86 US\$/m² για κτίρια δύο και τριών αστέρων στο Πεκίνο. Τα κριτήρια επιχορήγησης στην Σανγκάη έφτασαν τα 8.57 US\$/m², με επενδύσεις 1.43 εκατομμυρίων δολαρίων ανά έργο για την επιβράβευση των κτιρίων με πράσινα χαρακτηριστικά σε διαφορετικές κατηγορίες, συμπεριλαμβανομένων: κτιρίων δύο και τριών

αστέρων, κτιρίων με προκατασκευή ύψους άνω του 25%, νέων κτιρίων με ενεργειακές εξοικονομήσεις άνω του 70%, και υφιστάμενων κτιρίων με ενεργειακές εξοικονομήσεις άνω του 50%.

Αυτές οι επιδοτήσεις παρέχουν κίνητρα για την βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας στα κτίρια. Ωστόσο, η ανάπτυξη της πράσινης κατασκευής—και ειδικότερα η ανακαίνιση των υφιστάμενων κτιρίων—βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε χρηματοδοτικές επιδοτήσεις και μπορεί να οδηγήσει σε δύο κινδύνους στο μέλλον. Ο πρώτος αφορά στην έλλειψη τέτοιων αγοραίων πόρων: τα προγράμματα μαζικών ανακαινίσεων θα είναι βιώσιμα μόνο μακροπρόθεσμα. Ο δεύτερος κίνδυνος βρίσκεται στο ενδεχόμενο η εκτενής κρατική παρέμβαση να περιορίσει τον ρόλο των μηχανισμών της αγοράς ή ακόμη και να έχει αρνητικές επιπτώσεις στον χώρο της πράσινης τεχνολογικής καινοτομίας.

11.2.4 Ενημερωτικές εκστρατείες

Μετά τη σύνοδο του ΟΗΕ για το κλίμα στην Κοπεγχάγη το 2009, η κινεζική κεντρική κυβέρνηση έδειξε θέληση να προάγουν την ενεργειακή διατήρηση και την χαμηλών εκπομπών άνθρακα ανάπτυξη. Η πράσινη διακυβέρνηση στην Κίνα καθοδηγείται κυρίως από κυβερνητικές προσπάθειες. Στο πλαίσιο της από πάνω προς τα κάτω ανάπτυξης αυτής, οι κυβερνητικές καμπάνιες παίζουν έναν σημαντικό ρόλο στην ενδυνάμωση της κοινωνικής αποδοχής και υιοθέτησης των τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Ωστόσο, η επιτυχία αυτών των εκστρατειών για την ενίσχυση της επίγνωσης των πολιτών σχετικά με τις τεχνολογίες ΑΠΕ ή για την διαμόρφωση διαφορετικών ενεργειακών συμπεριφορών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των αντιλήψεων των πολιτών, της κουλτούρας των κοινοτήτων, και των κοινών συμπεριφορών απέναντι στις πράσινες δράσεις και την ενσωμάτωση των τεχνολογιών αυτών στη ζωή των πολιτών (Schot et al., 2016· Markantoni, 2016).

11.3 Εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου

11.3.1 Πολυκριτήρια αξιολόγηση των κινδύνων

Στο δεύτερο βήμα της παρούσας μελέτης, σχεδιάζονται, μοντελοποιούνται και επιλύονται δύο προβλήματα ΠΣΥΑ, ένα για τους κινδύνους υλοποίησης (Εικόνα 11.2) και ένα για τους κινδύνους συνεπειών (Εικόνα 11.3) που σχετίζονται με την οραματισθείσα μετάβαση. Δεδομένης της πολυπλοκότητας των διεργασιών μετάβασης και των γνωσιακών χασμάτων που σχετίζονται με το επίπεδο κατανόησης των κινδύνων που σχετίζονται με την κλιματική δράση, η κινητοποίηση της γνώσης των εμπειρογνομόνων μπορεί να συμβάλει στον προσδιορισμό των πιθανών εμποδίων και συνεπειών της μετάβασης του κινεζικού κτιριακού τομέα. Η συμμετοχή των εμπειρογνομόνων έλαβε χώρα την περίοδο Ιουλίου – Αυγούστου 2018. Μία ομάδα έντεκα εκπροσώπων των ενδιαφερόμενων φορέων διαμόρφωσαν, συζήτησαν και αξιολόγησαν τη λίστα των κινδύνων. Η ομάδα αυτή αποτελείτο

από τέσσερις εκπροσώπους φορέων χάραξης πολιτικής από το Πεκίνο και την Σανγκάη, πέντε ερευνητές από το πεδίο της ενεργειακής πολιτικής και της οικονομίας της κλιματικής αλλαγής, ένα στέλεχος κατασκευαστικής εταιρείας, και έναν εκπρόσωπο από ΜΚΟ που δραστηριοποιείται στην προώθηση δράσεων για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η λίστα των κινδύνων που προέκυψε περιλάμβανε δεκαπέντε κινδύνους υλοποίησης και πέντε κινδύνους αρνητικών συνεπειών (Πίνακας 11.1), όλοι εκ των οποίων αξιολογούνται έναντι τεσσάρων κριτηρίων: (C₁) πιθανότητα εμφάνισης/εκδήλωσης· (C₂) επίπεδο επίδρασης στο πλαίσιο πολιτικής και το μονοπάτι μετάβασης (για κινδύνους υλοποίησης) ή το επίπεδο επίδρασης του μονοπατιού μετάβασης σε αυτούς (για κινδύνους συνεπειών)· (C₃) ικανότητα μετριασμού τους· και (C₄) επίπεδο ανησυχίας των συμμετεχόντων εμπειρογνομόνων (Πίνακας 11.2).

Πίνακας 11.1 Περιγραφή κινδύνων υλοποίησης και συνεπειών.

Κίνδυνοι υλοποίησης	
R ₁ .	Έλλειψη ολοκληρωμένου συστηματικού προγραμματισμού με ευρύτερη χρήση πόρων (π.χ. νερού, αποβλήτων, κλπ.) για νέα πράσινα κτίρια
R ₂ .	Έλλειψη δράσης και διάθεσης από πλευράς κατασκευαστικών εταιρειών
R ₃ .	Χαλαρή εποπτεία και επιβολή του ρυθμιστικού πλαισίου στη λειτουργία των πράσινων κτιρίων
R ₄ .	Πράσινη πιστοποίηση για τη λειτουργία των πράσινων κτιρίων σε ανώριμα στάδια
R ₅ .	Συμπεριφορές κλειδώματος (ακαμψίας) ή μη συμμόρφωσης από τους τελικούς καταναλωτές, οδηγώντας σε φαινόμενα ανάκαμψης
R ₆ .	Επενδυτικοί κίνδυνοι για τεχνολογίες ενεργειακής αποδοτικότητας
R ₇ .	Ανεπαρκής προτεραιοποίηση του προγραμματισμού ανακαινίσεων των υφιστάμενων κτιρίων
R ₈ .	Ανεπαρκείς πολιτικές υποστήριξης ανακαινίσεων σε περιφερειακό επίπεδο
R ₉ .	Έλλειψη χρηματοδοτικού διαύλου για την ανακαίνιση υφιστάμενων κτιρίων
R ₁₀ .	Έλλειψη επίγνωσης/πληροφόρησης/εμπειρίας στην ανακαίνιση κτιρίων
R ₁₁ .	Έλλειψη καινοτομίας στο δίκτυο ηλεκτρισμού
R ₁₂ .	Έλλειψη πληροφόρησης των πολιτών για εγκαταστάσεις ΑΠΕ
R ₁₃ .	Έλλειψη χρηματοδοτικών μηχανισμών στήριξης των ΑΠΕ
R ₁₄ .	Χαμηλές αποδόσεις σε σχέση με τα κόστη εγκαταστάσεων ΑΠΕ
R ₁₅ .	Διακοπτόμενη θέρμανση νοικοκυριών από ΑΠΕ
Κίνδυνοι συνεπειών	
R ₁₆ .	Αυξημένες απαιτήσεις γης με περισσότερες κατασκευές νέων κτιρίων
R ₁₇ .	Κοινωνική δικαιοσύνη και ενεργειακή/κλιματική φτώχεια
R ₁₈ .	Αυξημένο κόστος διαβίωσης
R ₁₉ .	Χαμηλότερη ανθεκτικότητα στην κλιματική αλλαγή
R ₂₀ .	Αυξημένη ανεργία στον κτιριακό τομέα εξαιτίας των υψηλότερων κατασκευαστικών κοστών

Οι εμπειρογνώμονες αξιολόγησαν την επίδοση αυτών των κινδύνων έναντι των τεσσάρων κριτηρίων αξιολόγησης, χρησιμοποιώντας μία κλίμακα πέντε γλωσσικών όρων, όπως παρουσιάστηκε στο [Κεφάλαιο 7](#). Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο MACE-DSS για την αξιολόγηση της

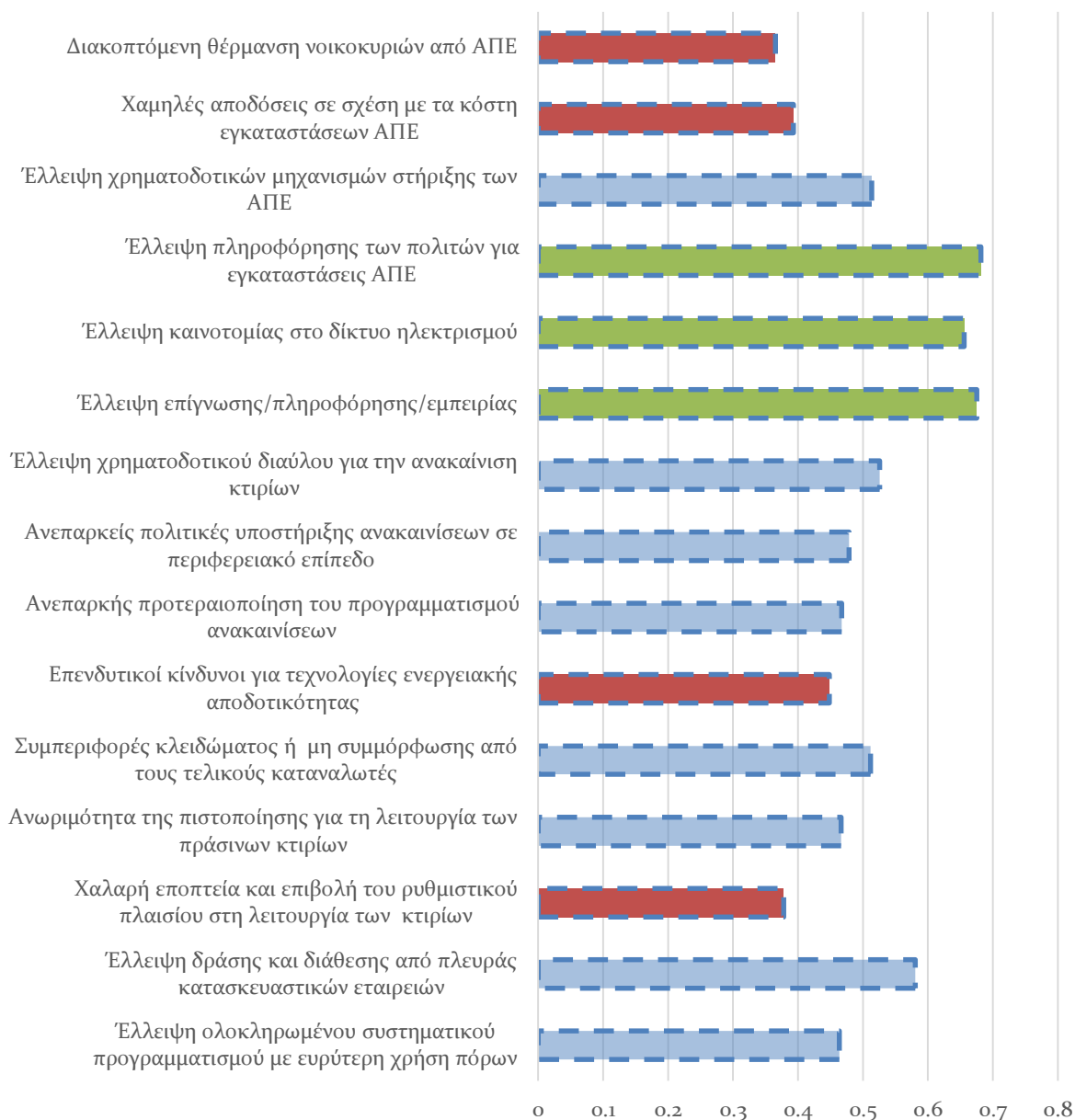
αντίληψης πολλαπλών εμπειρογνομόνων επί πολλαπλών κινδύνων κλιματικής πολιτικής έναντι πολλαπλών κριτηρίων (Nikas et al., 2018). Υπενθυμίζεται ότι το MACE-DSS βασίζεται σε μία τροποποιημένη έκδοση της μεθόδου ΠΣΥΑ TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) για να επιτρέπει τη συμμετοχή πολλαπλών αποφασιζόντων (Krohling and Campanharo, 2011) και να ενσωματώνει την συμπεριφορική τάση τους να αποφεύγουν την απώλεια ή τον κίνδυνο (Yoon and Kim, 2017).

Με το MACE-DSS και με βάση τη μέση τιμή των βαρών των κριτηρίων αξιολόγησης (Πίνακας 11.2) καθώς και τις ατομικές αξιολογήσεις κάθε κινδύνου έναντι των τεσσάρων κριτηρίων, υπολογίζονται οι τελικές κατατάξεις των δεκαπέντε κινδύνων υλοποίησης (Εικόνα 11.2) και των πέντε κινδύνων συνεπειών (Εικόνα 11.3). Και στα δύο γραφήματα, όσο πιο χαμηλή είναι η τελική βαθμολογία ενός κινδύνου, τόσο πιο σημαντικός θεωρείται ο κίνδυνος αυτός.

Πίνακας 11.2 Κριτήρια αξιολόγησης και βάρη κριτηρίων.

Κριτήρια αξιολόγησης	Βάρος
C ₁ . Πιθανότητα εκδήλωσης	3.36
C ₂ . Επίδραση από το/στο μονοπάτι μετάβασης	3.91
C ₃ . Ικανότητα μετριασμού	3.36
C ₄ . Επίπεδο ανησυχίας	3.09

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 11.2, οι εμπειρογνώμονες θεώρησαν τη διακοπτότητα των ΑΠΕ στη θέρμανση στον οικιακό τομέα ως το πιο κρίσιμο εμπόδιο για την αποτελεσματική σχεδίαση ενός βιώσιμου και εύρωστου μονοπατιού μετάβασης. Αμέσως μετά από αυτόν τον κίνδυνο υλοποίησης βρίσκεται η αντιληφθείσα ικανότητα αποτελεσματικής επιβολής και εποπτείας των μέτρων πολιτικής στο κτιριακό περιβάλλον. Οι εμπειρογνώμονες τόνισαν επίσης την υψηλή σημασία ορισμένων οικονομικών κινδύνων που σχετίζονται με την οραματισθείσα μετάβαση: οι συντηρητικές προσδοκίες για την απόδοση των επενδύσεων σε εγκαταστάσεις ΑΠΕ, ειδικά δεδομένων των αντίστοιχων κοστών, καθώς και ένα πλήθος επενδυτικών κινδύνων στην εφαρμογή τεχνολογιών ενεργειακής αποδοτικότητας, αποτελούν ένα πολύ κρίσιμο κομμάτι της εξεταζόμενης πράσινης μετάβασης.

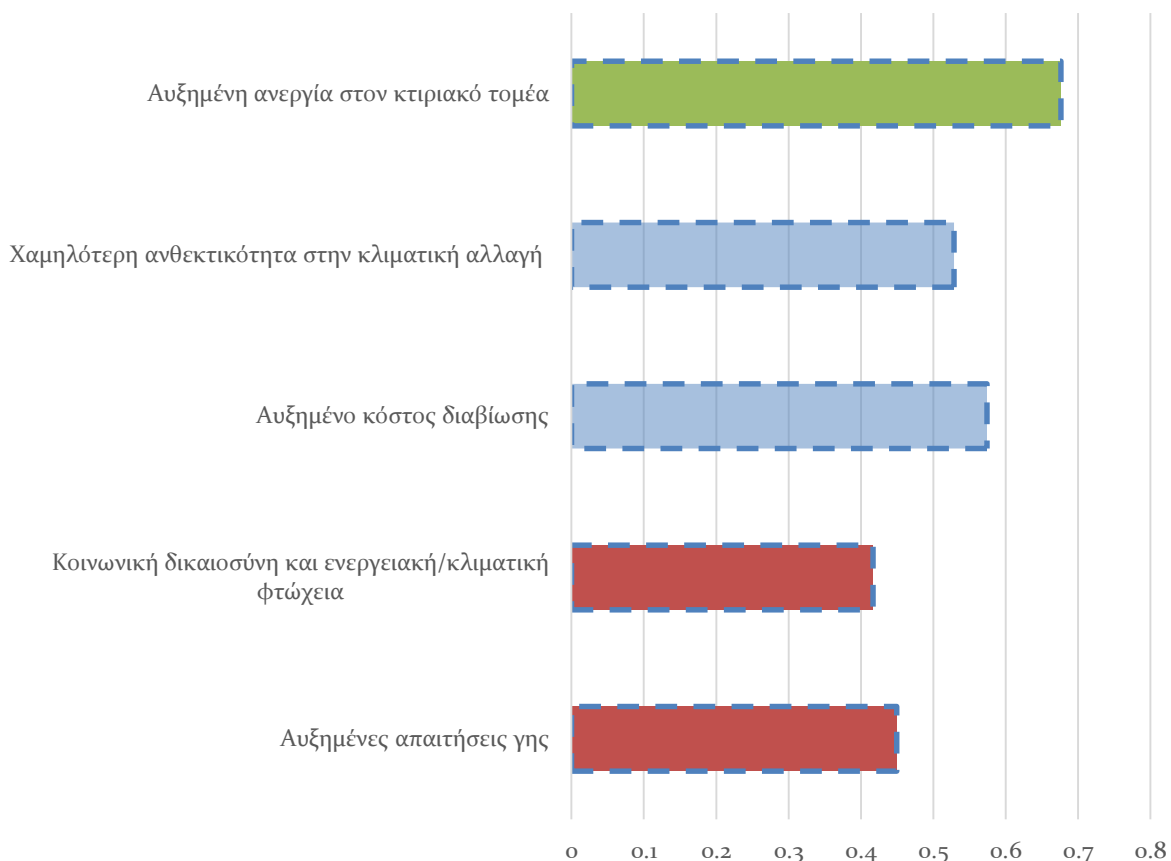


Εικόνα II.2 Αποτελέσματα πολυκριτήριας ανάλυσης σχετικά με τη σημασία των βασικών κινδύνων υλοποίησης.

Η ανάλυση, έπειτα, δίνει έμφαση σε άλλους κινδύνους κατά μήκος του πολιτικού και του ρυθμιστικού άξονα, όπως η έλλειψη ολοκληρωμένου συστηματικού σχεδιασμού με ευρύτερη χρήση πόρων και η ανεπαρκής προτεραιοποίηση του προγραμματισμού ανακαίνσεων των υφιστάμενων κτιρίων. Πέραν του φόβου των συμπεριφορικών ακαμψιών, άλλοι κοινωνικοί κίνδυνοι θεωρήθηκαν χαμηλότερης σημασίας, συμπεριλαμβανομένων των επιπέδων κοινωνικής επίγνωσης, της ποιότητας και επάρκειας της ροής πληροφοριών σχετικών με τις ΑΠΕ, της περιορισμένης εστίασης σε πολιτικές για την καινοτομία, και της απροθυμίας του κατασκευαστικού τομέα να συμμορφωθεί με το νέο, πράσινο παράδειγμα.

Τα αποτελέσματα της πολυκριτήριας ανάλυσης των κινδύνων συνεπειών απεικονίζονται στην [Εικόνα 11.3](#). Οι εμπειρογνώμονες κυρίως έδωσαν σημασία στις αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει μία μετάβαση σε έναν οικιακό κτιριακό τομέα χαμηλών εκπομπών άνθρακα στην κοινωνική δικαιοσύνη και την ενεργειακή και κλιματική φτώχεια. Αυτά τα ευρήματα αντικατοπτρίζουν τις ανησυχίες των ενδιαφερόμενων φορέων σχετικά με τη μη δυνατότητα του συνόλου των πολιτών να χρηματοδοτήσουν τις ανακαινίσεις και λοιπές δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας που σχετίζονται με ένα πράσινο μονοπάτι του κτιριακού τομέα.

Αυτές οι ανησυχίες ακολουθούνται από μία πιθανή αρνητική επίδραση στον σχεδιασμό της χρήσης γης, εξαιτίας της αναμενόμενης αύξησης των απαιτήσεων για την μετάβαση του κτιριακού τομέα, καθώς και από τον κίνδυνο χαμηλότερης κλιματικής ανθεκτικότητας: για παράδειγμα, η διακοπτότητα των ΑΠΕ στη θέρμανση και ψύξη δύναται να αυξήσει την ευπάθεια σε κύματα καύσωνα ή ψύχους. Άλλοι κίνδυνοι αρνητικών συνεπειών κατά μήκος του κοινωνικού άξονα (π.χ. υψηλότερα κόστη διαβίωσης και αυξημένη ανεργία), παρότι σημαντικοί, κρίθηκαν ως λιγότερο κρίσιμοι σε σχέση με τις υπόλοιπες πιθανές επιπτώσεις της πράσινης μετάβασης του κινεζικού κτιριακού τομέα.



Εικόνα 11.3 Αποτελέσματα πολυκριτήριας ανάλυσης σχετικά με τη σημασία των βασικών κινδύνων συνεπειών.

Χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες του MACE-DSS να αξιολογεί τα επίπεδα ομοφωνίας των αποφασιζόντων βάσει στατιστικών δεικτών, παρατηρήθηκαν ορισμένες αποκλίσεις μεταξύ των

προτιμήσεων των συμμετεχόντων εμπειρογνομόνων. Για παράδειγμα, η ομάδα των φορέων χάραξης πολιτικής έδωσε ιδιαίτερη έμφαση στην οικονομική πτυχή των εγκαταστάσεων ΑΠΕ, τονίζοντας τους επενδυτικούς κινδύνους, τις αναμενόμενες χαμηλές αποδόσεις των σχετιζόμενων επενδύσεων και την πιθανή έλλειψη χρηματοδοτικής υποστήριξης για ΑΠΕ. Οι φορείς χάραξης πολιτικής επίσης φάνηκαν να εστιάζουν στους κινδύνους συμπεριφορικής ακαμψίας και της διακοπτότητας των ΑΠΕ στη θέρμανση και ψύξη περισσότερο από τις υπόλοιπες ομάδες ενδιαφερόμενων φορέων. Όσον αφορά τους κινδύνους συνεπειών, η ίδια ομάδα φαίνεται να τονίζει τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις ενός πράσινου μονοπατιού του κτιριακού τομέα στην κοινωνική δικαιοσύνη και το ενδεχόμενο έντασης της ενεργειακής ή/και κλιματικής φτώχειας. Οι εμπειρογνώμονες από την ακαδημαϊκή/ερευνητική κοινότητα, ωστόσο, έδωσαν μεγαλύτερη έμφαση στους επενδυτικούς και τους κοινωνικούς κινδύνους υλοποίησης της μετάβασης, όπως η έλλειψη πληροφορίας και επίγνωσης στους πολίτες. Επίσης, αυτό που φάνηκε να ενδιαφέρει σχεδόν όλους τους εμπειρογνώμονες που συμμετείχαν είναι οι ενδεχόμενες ακαμψίες στη συμπεριφορική αλλαγή των τελικών καταναλωτών, οι οποίες ενδέχεται να εξουδετερώσουν τα οφέλη των μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας, καθώς και ο πολιτικός κίνδυνος που σχετίζεται με την κακή προτεραιοποίηση του προγραμματισμού των ανακαινίσεων του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος.

11.3.2 Ανάπτυξη γνωστικού χάρτη του συστήματος

Κατόπιν της πολυκριτήριας ανάλυσης και της τελικής κατάταξης των κινδύνων που σχετίζονται με την υπό εξέταση μελέτη, προσδιορίστηκαν οι τέσσερις πιο κρίσιμοι κίνδυνοι υλοποίησης (IR) και οι δύο πιο κρίσιμοι κίνδυνοι συνεπειών (CR), σημειωμένοι με κόκκινο χρώμα στα διαγράμματα των [Εικόνων 11.2 – 11.3](#), περιλαμβάνοντας:

- IR₁. Διακοπτότητα των ΑΠΕ στη θέρμανση και ψύξη των νοικοκυριών
- IR₂. Χαλαρή εποπτεία και επιβολή των μέτρων πολιτικής
- IR₃. Επενδυτικοί κίνδυνοι των παρεμβάσεων ενεργειακής αποδοτικότητας
- IR₄. Αντίληψη χαμηλών αποδόσεων των επενδύσεων
- CR₁. Κοινωνική αδικία και κλιματική φτώχεια
- CR₂. Υψηλές Απαιτήσεις γης

Στα επόμενα ερευνητικά βήματα (3 και 4), εφαρμόζονται τα εργαλεία MATISE ([Nikas et al., 2017](#)) και ESQAPE ([Nikas et al., 2019a](#)) που παρουσιάστηκαν στα [Κεφάλαια 5 και 6](#), για την αναπαράσταση και μοντελοποίηση των πιθανών επιπτώσεων των επιλεγμένων πολιτικών και του συνολικού πράσινου μονοπατιού, υπό το πρίσμα των κινδύνων υλοποίησης. Συγκεκριμένα, το ESQAPE είναι ένα εργαλείο

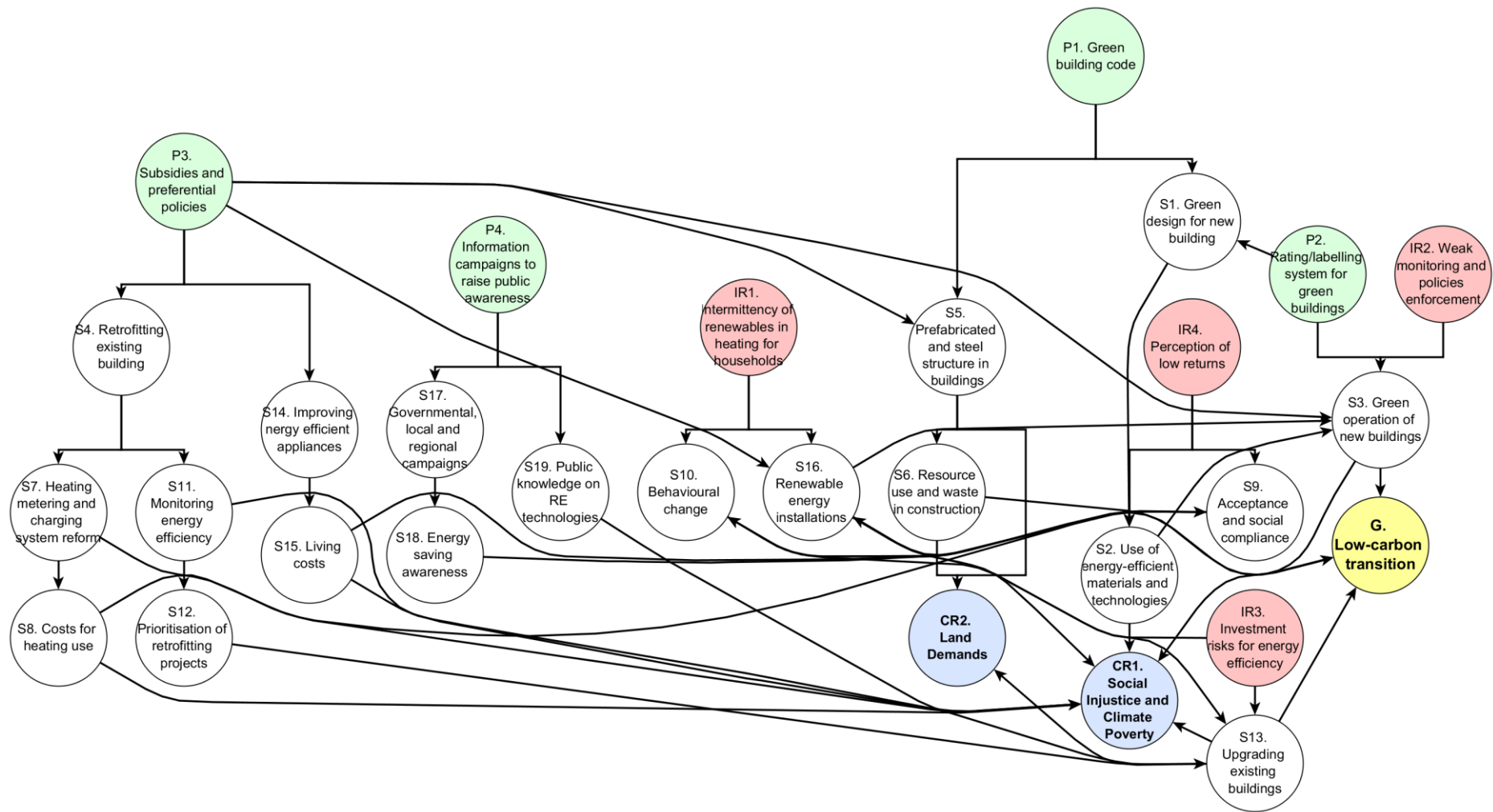
βασισμένο στη μεθοδολογία των ΑΓΧ (Kosko, 1986), πλασιωμένο στο πεδίο της κλιματικής πολιτικής (Nikas and Doukas, 2016). Οι εμπειρογνώμονες συμμετείχαν εκ νέου για να συζητήσουν τα αποτελέσματα της πολυκριτήριας ανάλυσης καθώς και για να ενημερωθούν για το υπόβαθρο των τεσσάρων στρατηγικών πολιτικής που επιλέχθηκαν ως ενδεικτικές για την προώθηση της μετάβασης στον κτιριακό τομέα (Ενότητα 11.2). Οι πολιτικές αυτές περιλαμβάνουν: (P₁) κώδικες και κανονισμούς πράσινης κατασκευής· (P₂) σύστημα αξιολόγησης και πιστοποίησης πράσινων κτιρίων· (P₃) πολιτικές επιδοτήσεων και προνομιακής μεταχείρισης· και (P₄) ενημερωτικές εκστρατείες για την ενημέρωση, επίγνωση και ευαισθητοποίηση των πολιτών. Λαμβάνοντας υπόψιν τους βασικούς κινδύνους, ζητήθηκε από τους εμπειρογνώμονες να προσδιορίσουν τις αλυσίδες σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος μεταξύ καθεμίας εκ των πολιτικών από τη μία, και τον τελικό στόχο μίας βιώσιμης μετάβασης του κινεζικού κτιριακού τομέα από την άλλη. Η διαδικασία επαναλήφθηκε για τους τέσσερις κινδύνους. Ένα παράδειγμα της διαδικασίας φαίνεται στον Πίνακα 11.3.

Πίνακας 11.3 Παράδειγμα αλυσίδας σχέσεων αιτιότητας μεταξύ πολιτικών και του μονοπατιού μετάβασης.

P₄. <i>Ενημερωτικές εκστρατείες για την ευαισθητοποίηση των πολιτών</i>	S₁₇. <i>Κυβερνητικές, τοπικές και περιφερειακές εκστρατείες ενημέρωσης</i>	S₁₈. <i>Ενημερότητα/ επίγνωση των πολιτών για την ενεργειακή αποδοτικότητα</i>	S₁₃. <i>Αναβάθμιση του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος</i>	G. <i>Μετάβαση χαμηλών εκπομπών άνθρακα</i>
P₄. <i>Ενημερωτικές εκστρατείες για την ευαισθητοποίηση των πολιτών</i>	S₁₉. <i>Επίπεδο γνώσης των πολιτών για τις τεχνολογίες ΑΠΕ</i>	S₁₃. <i>Αναβάθμιση του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος</i>	G. <i>Μετάβαση χαμηλών εκπομπών άνθρακα</i>	

Τα αποτελέσματα απεικονίζονται σε έναν γνωστικό χάρτη αιτιότητας (Εικόνα 11.4) (Axelrod, 1976), με τη βοήθεια του MATISE, ο οποίος αποτελεί μία γραφική αποτύπωση της κατανόησης των εμπειρογνομώνων επί των αιτιωδών δυναμικών της πράσινης μετάβασης του κινεζικού κτιριακού τομέα. Παρακάτω, ακολουθεί ενδεικτικά η περιγραφή μίας αλυσίδας σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος ανά πολιτική, εστιάζοντας σε εκείνες τις αλυσίδες που περιλαμβάνουν βασικούς κινδύνους.

Σύμφωνα με τους εμπειρογνώμονες, οι πράσινοι κτιριακοί κανονισμοί (P₁) μπορούν να ενσωματωθούν σε και να επηρεάσουν τα προκατασκευασμένα κτίρια (S₅). Η ανάπτυξη τέτοιων κτιρίων δύναται να μειώσει τη χρήση πόρων και αποβλήτων στην κατασκευή (S₆) και επομένως να διευκολύνει τη μετάβαση (G). Από την άλλη πλευρά, η αποδοτικότητα στη χρήση πόρων και οι μειώσεις των κατασκευαστικών αποβλήτων δύναται να μειώσει το κατασκευαστικό κόστος καθώς και τον απαιτούμενο κατασκευαστικό χρόνο, αυξάνοντας έτσι τη ζήτηση για προκατασκευασμένα κτίρια και αναπόφευκτα οδηγώντας σε αυξήσεις απαιτήσεων σε γη (CR₂).



Εικόνα II.4 Γνωστικός χάρτης της οραματισθείσας μετάβασης, όπως σχεδιάστηκε από τους εμπειρογνώμονες που συμμετείχαν.

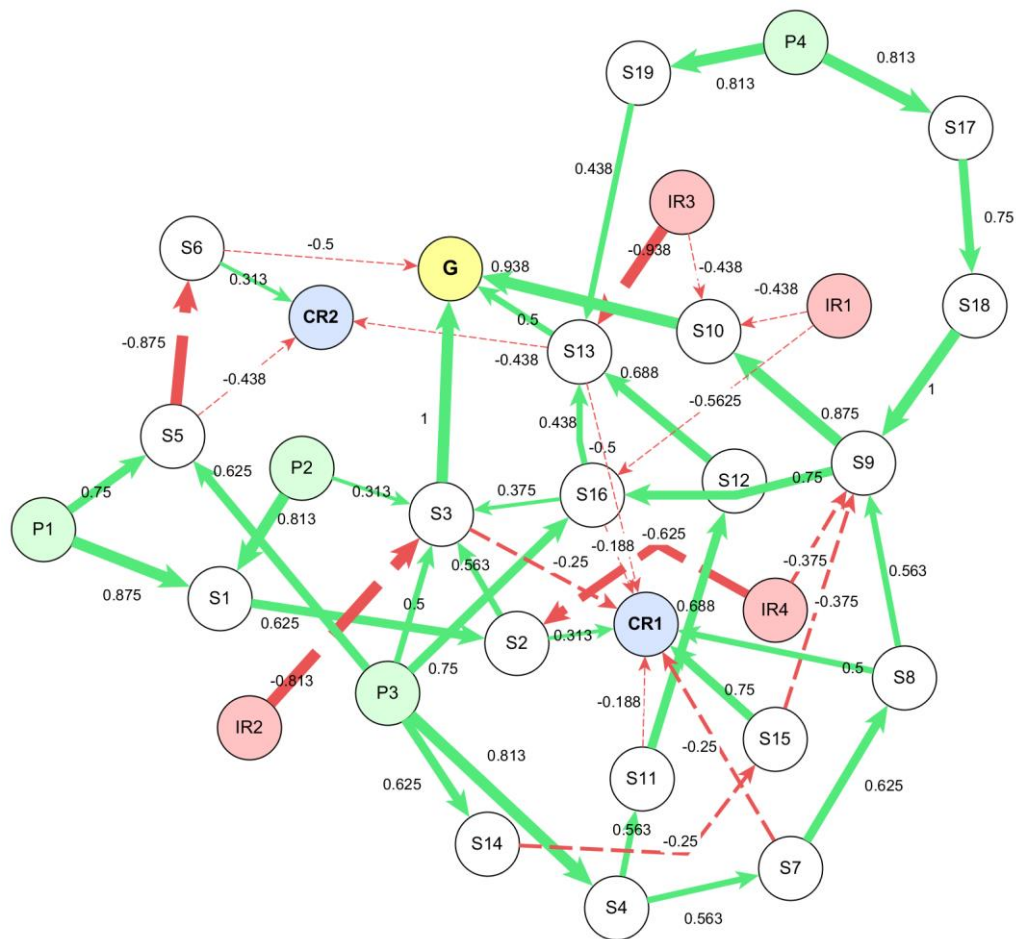
Ένα σύστημα αξιολόγησης και πιστοποίησης για τα πράσινα κτίρια (P₂) μπορεί να εφαρμοστεί σε δύο περιοχές: την πράσινη σχεδίαση των κτιρίων (S₁) και την πράσινη λειτουργία των κτιρίων (S₃). Ένα από τα εμπόδια στο δεύτερο (S₃) μπορεί να βρεθεί στον δυνητικά χαλαρό μηχανισμό εποπτείας και επιβολής των πολιτικών, των παρεμβάσεων και των σχετικών διεργασιών (IR₂), ο οποίος μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την υλοποίηση της επιθυμητής μετάβασης. Η πράσινη σχεδίαση των κτιρίων (S₁) θα προωθήσει τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών υλικών και τεχνολογιών, η οποία με τη σειρά της θα υποστηρίξει τη λειτουργία των πράσινων κτιρίων και τη μετάβαση καθαυτή. Και οι δύο αλυσίδες επηρεάζουν την κοινωνική δικαιοσύνη (CR₁).

Οι επιδοτήσεις και πολιτικές προνομιακής μεταχείρισης (P₃) μπορούν να υποστηρίξουν την ανακαίνιση των υφιστάμενων κτιρίων (S₄), η οποία μπορεί να επιτευχθεί με τρεις τρόπους: την αύξηση της χρήσης ενεργειακά αποδοτικών συσκευών (S₁₄), την καλύτερη εποπτεία/παρακολούθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας (S₁₁), και την μεταρρύθμιση του συστήματος παροχής καθαρής θέρμανσης και μέτρησης (S₇) στις βόρειες περιοχές (Li et al. 2017). Το υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα δύναται να επιτύχει βελτιώσεις της ενεργειακής αποδοτικότητάς του (S₁₄) μέσω της αναβάθμισης της εξωτερικής δομής και του εσωτερικού εξοπλισμού (π.χ. μόνωση εξωτερικών τοιχωμάτων και οροφών, ενεργειακά αποδοτικών παραθύρων, εσωτερικών προϊόντων θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού, φωτισμού, κλπ.). Ωστόσο, τέτοιες παρεμβάσεις ανακαίνισης δύνανται να επιβαρύνουν ιδιαίτερα τα νοικοκυριά, έχοντας ως αποτέλεσμα μία αύξηση του κόστους διαβίωσης των πολιτών (S₁₅), και επομένως να αποδυναμώσουν τα επίπεδα αποδοχής των τεχνολογιών αυτών από τους πολίτες, οδηγώντας σε μη συμμόρφωση (S₉). Επίσης, οι εμπειρογνώμονες εξέφρασαν τις ανησυχίες τους σχετικά με τη μεταφορά του κόστους υλοποίησης των συστημάτων μέτρησης και χρέωσης (S₈) στους τελικούς καταναλωτές: έτσι, βραχυπρόθεσμα, τα κόστη των τελευταίων μπορεί να αυξηθούν σημαντικά προτού τα δυνητικά οφέλη στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας γίνουν ορατά στην πορεία. Αυτό μπορεί να εγείρει ζητήματα κοινωνικής δικαιοσύνης/κλιματικής φτώχειας (CR₁), ιδιαίτερα για τα φτωχότερα νοικοκυριά.

Τέλος, οι ενημερωτικές καμπάνιες (P₄) μπορούν να αυξήσουν τα επίπεδα γνώσης του κοινού για τις τεχνολογίες ΑΠΕ (S₁₉). Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε εγκαταστάσεις ΑΠΕ (S₁₆) και αναβαθμίσεις σε υφιστάμενα κτίρια (S₁₃), και να υποστηρίξει μία μετάβαση χαμηλών εκπομπών άνθρακα στο κτιριακό περιβάλλον (G). Ωστόσο, οι εγκαταστάσεις ΑΠΕ μπορούν να αποτελούν μία οικονομικά βιώσιμη επιλογή μόνο για τους οικονομικά πιο εύρωστους, ακόμη και με την υπόθεση ότι είναι διαθέσιμες οι επιδοτήσεις ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ σε τοπικό επίπεδο, καθώς τα αρχικά επενδυτικά κόστη συνήθως επιβαρύνουν τους τελικούς χρήστες. Αυτό, με τη σειρά του, μπορεί να οδηγήσει επίσης σε κοινωνικές αδικίες (CR₁), καθώς τα διάφορα οφέλη των ΦΒ εγκαταστάσεων, για παράδειγμα, μπορεί να μην είναι προσιτά σε αυτούς που δεν δύνανται να υποστηρίξουν οικονομικά τα κόστη εγκατάστασης. Τέτοια οφέλη περιλαμβάνουν φθηνότερους λογαριασμούς ηλεκτρισμού και, για πιο ολοκληρωμένα ηλιακά συστήματα, συλλογή ομβρίων υδάτων για άρδευση ή άλλες χρήσεις, όπως η παροχή σκίασης.

11.3.3 Διαμόρφωση των πέντε κοινωνικοοικονομικών σεναρίων

Στο τέταρτο βήμα, ο τελικός γνωστικός χάρτης παρουσιάζεται και περιγράφεται στους εμπειρογνώμονες, οι οποίοι εν τέλει αποδίδουν βάρη στις σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος (Εικόνα 11.5) μέσα στο διάστημα [-1, 1] των ΑΓΧ (Nikas and Doukas, 2016). Αυτή η διαδικασία οδηγεί στο τελικό μοντέλο ΑΓΧ που φαίνεται στην Εικόνα 11.5. Ένα θετικό (ή αρνητικό) βάρος ενός συνδέσμου από τον κόμβο Α στον κόμβο Β σημαίνει ότι μία θετική αλλαγή στον κόμβο Α θεωρείται ότι προκαλεί μία θετική (ή αρνητική) αλλαγή στον κόμβο Β, ενώ η απόλυτη τιμή του βάρους υποδεικνύει την αντιληφθείσα δύναμη του εν λόγω συνδέσμου.



Υπόμνημα:

IR₁. Διακοπτότητα των ΑΠΕ

IR₂. Χαλαρός μηχανισμός εποπτείας

IR₃. Επενδυτικοί κίνδυνοι

IR₄. Αντίληψη χαμηλών αποδόσεων

P₁. Πράσινος κτιριακός κώδικας

P₂. Σύστημα αξιολόγησης και πιστοποίησης

P₃. Επιδοτήσεις και προνομιακή μεταχείριση

P₄. Ενημερωτικές εκστρατείες

S₁. Πράσινη σχεδίαση νέων κτιρίων

S₂. Χρήση ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών

S₃. Πράσινη λειτουργία νέων κτιρίων

S₄. Ανακαίνιση υφιστάμενων κτιρίων

S₅. Προκατασκευασμένη και ατσάλινη δόμηση

S₆. Χρήση πόρων και αποβλήτων κατασκευής

S₇. Μεταρρύθμιση συστήματος μέτρησης

S₈. Κόστη θέρμανσης

S₉. Αποδοχή και κοινωνική συμμόρφωση

S₁₀. Συμπεριφορικές αλλαγές

S₁₁. Εποπτεία ενεργειακής αποδοτικότητας

S₁₂. Προτεραιοποίηση έργων ανακαίνισης

S₁₃. Αναβάθμιση υφιστάμενων κτιρίων

S₁₄. Βελτίωση ενεργειακά αποδοτικών συσκευών

S₁₅. Κόστη διαβίωσης

S₁₆. Εγκαταστάσεις ΑΠΕ

S₁₇. Κυβερνητικές, τοπικές, περιφερειακές εκστρατείες

S₁₈. Επίγνωση επί της ενεργειακής αποδοτικότητας

S₁₉. Γνώση πολιτών για τεχνολογίες ΑΠΕ

CR₁. Κοινωνικές αδικίες και κλιματική φτώχεια

CR₂. Απαιτήσεις γης

G. Πράσινη μετάβαση

Εικόνα II.5 Ο ΑΓΧ της πράσινης μετάβασης του Κινεζικού κτιριακού τομέα.

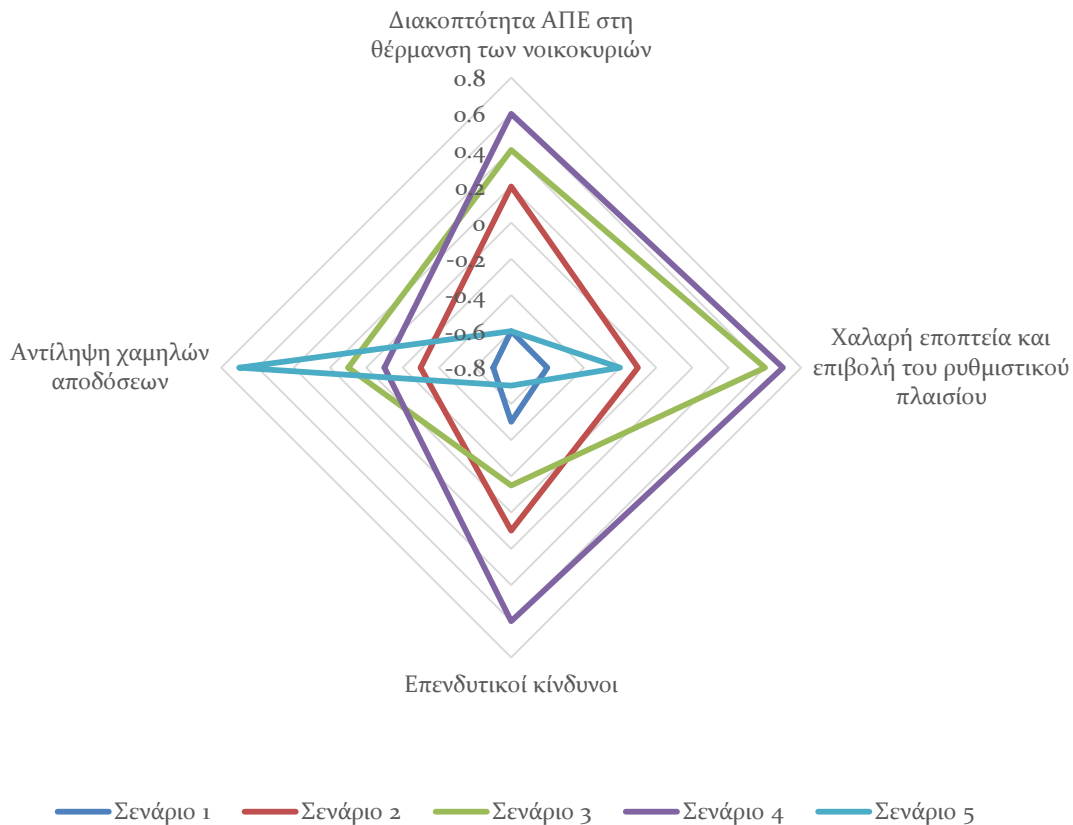
Κατόπιν υπολογισμού των μέσων τιμών των βαρών και αξιοποίησής των στον συνολικό ΑΓΧ, στην πορεία αξιολογείται η αποτελεσματικότητα των κυρίαρχων στρατηγικών πολιτικής, έναντι των πλέον κρίσιμων κινδύνων υλοποίησης και υπό το πρίσμα των σημαντικότερων πιθανών αρνητικών συνεπειών. Το μοντέλο ΑΓΧ προσομοιώνεται έναντι διαφορετικών σεναρίων βάσει των αφηγημάτων των ΔΚΜ (O'Neill et al., 2017), όπως εξηγείται στο [Κεφάλαιο 6](#) και εφαρμόζεται για παράδειγμα στο (Nikas et al., 2019b). Αυτά τα σεναρία αντιπροσωπεύουν πιθανές μελλοντικές εξελίξεις όπου οι επιλεγμένοι τέσσερις κίνδυνοι υλοποίησης δύνανται να πραγματοποιηθούν σε διαφορετικό βαθμό ([Εικόνα 11.6](#)). Η παρούσα μελέτη δεν υποθέτει απαραίτητα ότι αυτά τα αφηγήματα αντιστοιχίζονται επακριβώς με τα σύνολα δεδομένων των ΔΚΜ (O'Neill et al., 2014), όπως ακριβώς εξηγούν και οι van Vliet et al. (2019), αλλά χτίζει πάνω στα αφηγήματα καθαυτά με σκοπό την ανάπτυξη συνεπών σεναρίων ΑΓΧ που περιγράφουν πιθανές μελλοντικές κοινωνικοοικονομικές εξελίξεις. Βάσει των κινδύνων που προσδιορίστηκαν, το μοντέλο ΑΓΧ υπολογίζει την επίδρασή τους σε καθεμία εκ των τεσσάρων πολιτικών σε σύγκριση με μία προσομοίωση αδράνειας (χωρίς πολιτικές) και για διαφορετικές μελλοντικές κοινωνικοοικονομικές συνθήκες, και αυτή η διεργασία βοηθά στη σύγκριση των σχετικών επιδόσεων των τεσσάρων πολιτικών αναμεταξύ τους. Η διεργασία προσομοίωσης είναι παρόμοια με αυτήν που χρησιμοποιείται στα νευρωνικά δίκτυα (Groumpos, 2010), όπως περιγράφεται στο [Κεφάλαιο 6](#).

Το πρώτο σενάριο, «δίκαιο, βιώσιμο μέλλον», περιγράφει ένα κοινωνικοοικονομικά αισιόδοξο μέλλον, στο οποίο η τεχνολογική πρόοδος είναι γρήγορη, μακριά από ορυκτά καύσιμα και προσανατολισμένη στην ενεργειακή αποδοτικότητα και τις ΑΠΕ, επιτρέποντας τη διάχυση νέων τεχνολογιών ΑΠΕ με υψηλότερη απόδοση και χαμηλότερα κόστη εγκατάστασης και λειτουργίας. Η οικονομική ανάπτυξη αυξάνεται με ασυνήθιστα ταχείς ρυθμούς· η εμπιστοσύνη των πολιτών στους θεσμούς έχει αποκατασταθεί· η κοινωνική συνοχή και συμμετοχή και επομένως αποδοχή των ΑΠΕ είναι σε υψηλά επίπεδα· ενώ το αυστηρό ρυθμιστικό πλαίσιο και η βελτιωμένη περιβαλλοντική διαχείριση συνθέτουν τις απαιτούμενες συνθήκες για ένα σταθερό νομικό πλαίσιο.

Το δεύτερο σενάριο, «παρούσα κατάσταση», περιγράφει έναν κόσμο μετριοπαθών προκλήσεων για μία πράσινη μετάβαση, στον οποίο όλες οι ενδιαφέρουσες παράμετροι θεωρούνται μέτριες· το σενάριο αυτό βασίζεται στην υπόθεση ότι το μέλλον θα ακολουθήσει ιστορικά πρότυπα (O'Neill et al., 2017). Το τρίτο σενάριο, «σκοτεινές μέρες», περιγράφει έναν μάλλον απαισιόδοξο κόσμο όπου η οικονομική πρόοδος και οι τεχνολογικές εξελίξεις εξακολουθούν να επιταχύνονται σταθερά αλλά αργά, οι εθνικοί θεσμοί παρουσιάζουν αδυναμίες και αστάθεια, ενώ οι κυβερνήσεις λαμβάνουν αποφάσεις χωρίς ιδιαίτερη έμφαση στην κοινή γνώμη· αυτό το σενάριο περιγράφει ένα ιδιαίτερα δύσκολο μέλλον, τόσο για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής όσο και για την προσαρμογή σε αυτήν.

Το τέταρτο σενάριο, «τεχνοκρατία», περιγράφει ένα μέλλον ταχείας αλλά άνισα διαμοιρασμένης τεχνολογικής προόδου μεταξύ οικονομιών και οικονομικών τομέων, χαμηλής και μέτριας οικονομικής εξέλιξης σε αναπτυσσόμενες και ανεπτυγμένες χώρες (όπως είναι η Κίνα) αντίστοιχα, με πολιτική προτεραιοποίηση προς τα οφέλη της επιχειρηματικής ελίτ αντί του συνόλου της κοινωνίας. Τέλος, το πέμπτο σενάριο, «υψηλή, μαύρη ανάπτυξη», οραματίζεται έναν κόσμο που περιγράφει πολύ ταχεία οικονομική ανάπτυξη, ένα σχετικά σταθερό ρυθμιστικό πλαίσιο και αυξανόμενη αποτελεσματικότητα των θεσμών προσανατολισμένων στην διαμόρφωση ανταγωνιστικών αγορών και γρήγορη τεχνολογική πρόοδο· ωστόσο, ο προσανατολισμός στην εκμετάλλευση και την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων εκτοπίζει εξ ολοκλήρου τις ΑΠΕ, με αποτέλεσμα οι υψηλές τεχνολογικές εξελίξεις να μην αξιοποιούνται για την επιτυχή υλοποίηση μίας μετάβασης σε μία κινεζική οικονομία χαμηλού άνθρακα.

Στη συνέχεια, θεωρείται πόσο σημαντικός θα μπορούσε να είναι ο κάθε κίνδυνος για τα πέντε σενάρια, ποσοτικοποιώντας τις τιμές των κινδύνων στο διάστημα $[-1, 1]$ (Εικόνα 11.6), όπως γίνεται από τους Nikas et al. (2019a, 2019b): όσο πιο μεγάλη είναι η τιμή στο $[-1, 1]$, τόσο πιο μεγάλος είναι ο κίνδυνος. Για παράδειγμα, το Σενάριο 4 χαρακτηρίζεται από υψηλή διακοπτότητα ΑΠΕ (0.6), πολύ χαλαρή εποπτεία και επιβολή του ρυθμιστικού πλαισίου (0.7) και υψηλά επενδυτικά ρίσκα (0.6), αλλά σχετική αισιοδοξία ως προς τις αποδόσεις των πράσινων επενδύσεων (-0.1). Οι τιμές των κινδύνων υλοποίησης χρησιμοποιούνται έπειτα για τις προσομοιώσεις του ΑΓΧ.



Εικόνα 11.6 Βαθμός ενεργοποίησης των κινδύνων υλοποίησης στα πέντε σενάρια ΑΓΧ.

11.3.4 Η πιθανή επίδραση των κινδύνων στα πέντε κοινωνικοοικονομικά σενάρια

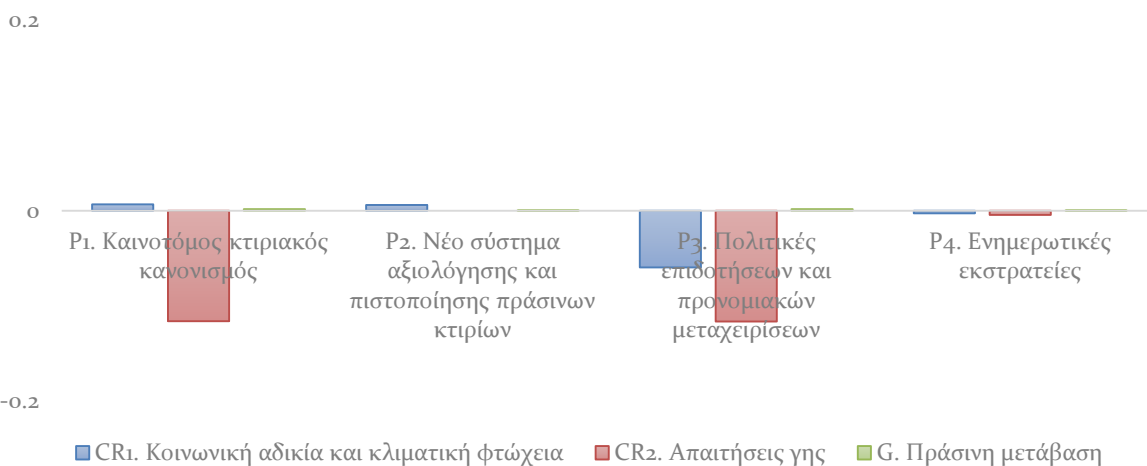
Από την Εικόνα 11.6, παρατηρείται ότι οι τέσσερις κίνδυνοι υλοποίησης είναι ασθενέστεροι (ή το ελάχιστο σημαντικοί) στο Σενάριο 1, με τους βασικότερους κινδύνους να σχετίζονται με τις επενδύσεις σε ενεργειακή αποδοτικότητα. Εάν οι κοινωνικοοικονομικές συνθήκες που πλαισιώνουν τη μετάβαση ακολουθούν ιστορικά πρότυπα (Σενάριο 2), η υλοποίηση των πολιτικών αντιμετωπίζει αυξανόμενα εμπόδια, ειδικά εξαιτίας των επενδυτικών κινδύνων αλλά και την τεχνολογική καινοτομία, όπως αποτυπώνεται από τη διακοπτότητα των ΑΠΕ. Υπό τις προϋποθέσεις του τρίτου σεναρίου, οι ασθενείς και ασταθείς θεσμοί ενεργοποιούν περισσότερους κινδύνους που αφορούν στην εποπτεία και επιβολή του πλαισίου πολιτικής. Υπό το τέταρτο σενάριο, οι βασικοί κίνδυνοι υλοποίησης που οι εμπειρογνώμονες βρήκαν πιο ανησυχητικούς είναι πλέον εμφανείς: για παράδειγμα, η διακοπτότητα των ΑΠΕ στη θέρμανση ενδέχεται να οφείλεται στην άνισα κατανομημένη τεχνολογική πρόοδο, ενώ η κυβερνητική δομή και τα επιχειρηματικά μονοπώλια δύνανται να οδηγήσουν σε ανεπαρκή τήρηση του θεσμικού πλαισίου. Υπό το πέμπτο σενάριο, οι σταθεροί κανονισμοί και οι ολοένα και πιο

ανταγωνιστικές αγορές μπορούν να βοηθήσουν να ξεπεραστούν τα θεσμικά εμπόδια καθώς και τα επενδυτικά ρίσκα. Η ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας και τα αγοραία κίνητρα δύνανται επίσης να προάγουν την προσπάθεια εφαρμογής των τεχνολογιών ΑΠΕ στον κτιριακό τομέα, με τρόπο ουσιαστικό και αποτελεσματικό στην αντιμετώπιση των ζητημάτων διακοπτότητας. Ωστόσο, οι αγοραίες προσδοκίες για αποδόσεις των τεχνικών εφαρμογών μπορεί να παίξουν σημαντικό ρόλο καθώς εσωτερικές κινητήριες δυνάμεις καθορίζουν τη βιωσιμότητα της πράσινης μετάβασης.

11.3.5 Προσομοίωση του ΑΓΧ

Τέλος, ο ΑΓΧ προσομοιώνεται πέντε φορές για κάθε σενάριο, μία για κάθε ένα εκ των τεσσάρων μέτρων πολιτικής και μία ακόμη χωρίς κάποια πολιτική ενεργοποιημένη (αδράνεια). Τα αποτελέσματα για κάθε πολιτική σε κάθε σενάριο εμφανίζονται στις [Εικόνες 11.7 – 11.11](#), ως διαφορές μεταξύ των επιδόσεων κάθε πολιτικής και της περίπτωσης αδράνειας. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση, ενώ το πρόσημο της τιμής καθορίζει εάν η επίδραση αυτή είναι θετική ή αρνητική: μία θετική επίδραση στην μετάβαση είναι επιθυμητή, όπως είναι και μία αρνητική επίδραση στους κινδύνους συνεπειών.

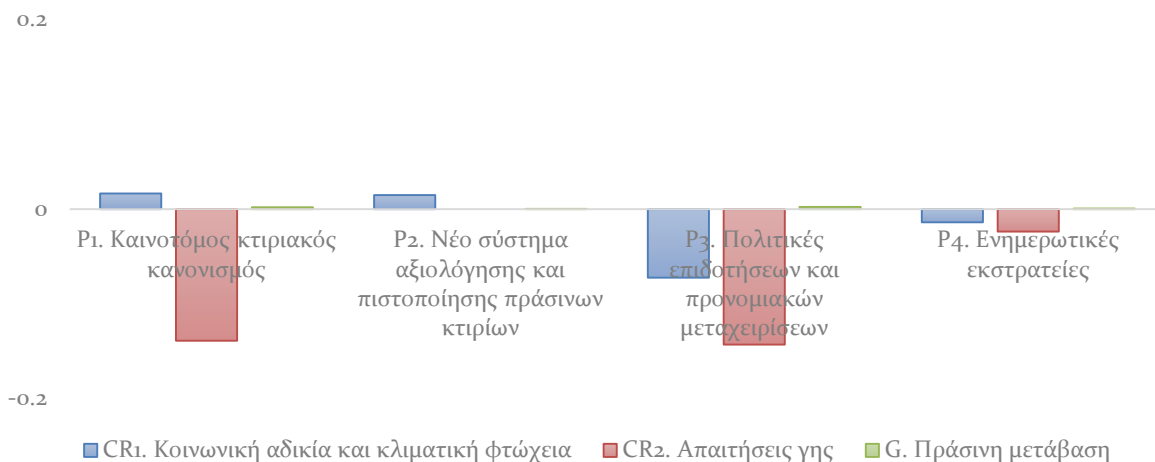
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του ΑΓΧ για το Σενάριο 1 ([Εικόνα 11.7](#)) συνιστούν ότι οι υπό εξέταση πολιτικές θεωρούνται πως έχουν ισχυρή θετική επίδραση σε ένα κοινωνικοοικονομικά αισιόδοξο μέλλον, σε όρους πράσινης μετάβασης. Η επίδραση αυτή είναι περιορισμένη καθώς ο κόσμος ήδη κατευθύνεται προς ένα βιώσιμο μέλλον. Από την άλλη, οι επιδράσεις των πολιτικών στις ανισότητες (κοινωνική αδικία, κλιματική φτώχεια) ποικίλλει. Υπάρχει ελαφρώς μεγαλύτερη ανισότητα εξαιτίας της εφαρμογής ενός νέου κτιριακού κανονισμού και ενός συστήματος πιστοποίησης των πράσινων κτιρίων. Ωστόσο, με τις επιχορηγήσεις σε ισχύ, οι εμπειρογνώμονες φαίνεται να θεωρούν ότι η ανισότητα μειώνεται. Τέτοιες προνομιακές πολιτικές αναμένονται επίσης να μειώνουν σε μεγάλο βαθμό και τις απαιτήσεις γης, σημειώνοντας έτσι συνολικά καλύτερες επιδόσεις από τις υπόλοιπες στρατηγικές υπό το πρώτο σενάριο.



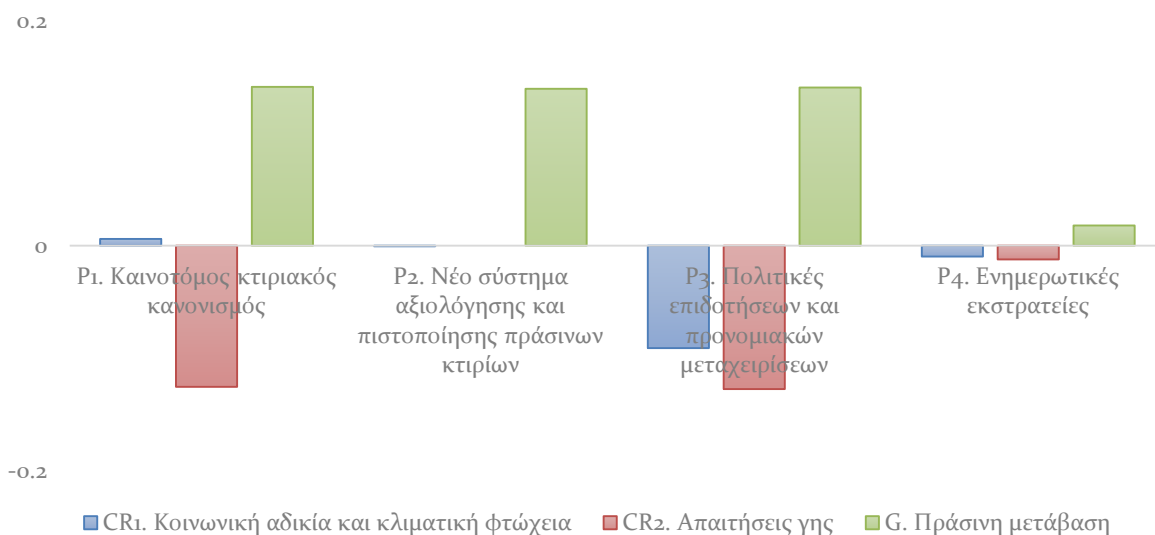
Εικόνα 11.7 Αποτελέσματα ΑΓΧ για το Σενάριο 1.

Τα Σενάρια 2 και 3 ([Εικόνες 11.8](#) και [11.9](#)) εμφανίζουν παρόμοια αποτελέσματα σε όρους διαφορών και μεγέθους των επιδράσεων κάθε πολιτικής στους δύο κινδύνους συνεπειών και τη μετάβαση. Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο σεναρίων βρίσκεται στο γεγονός ότι, στο τρίτο σενάριο, οι επιλεχθείσες πολιτικές έχουν μία σημαντικά μεγαλύτερη δυνατότητα να συμβάλουν ενεργά στη μετάβαση, με τη

μόνη εξαίρεση αυτήν των ενημερωτικών εκστρατειών. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στις κακές κοινωνικοοικονομικές συνθήκες αυτού του σεναρίου, οι οποίες καθιστούν την επίδραση των πολιτικών πολύ πιο εμφανείς.

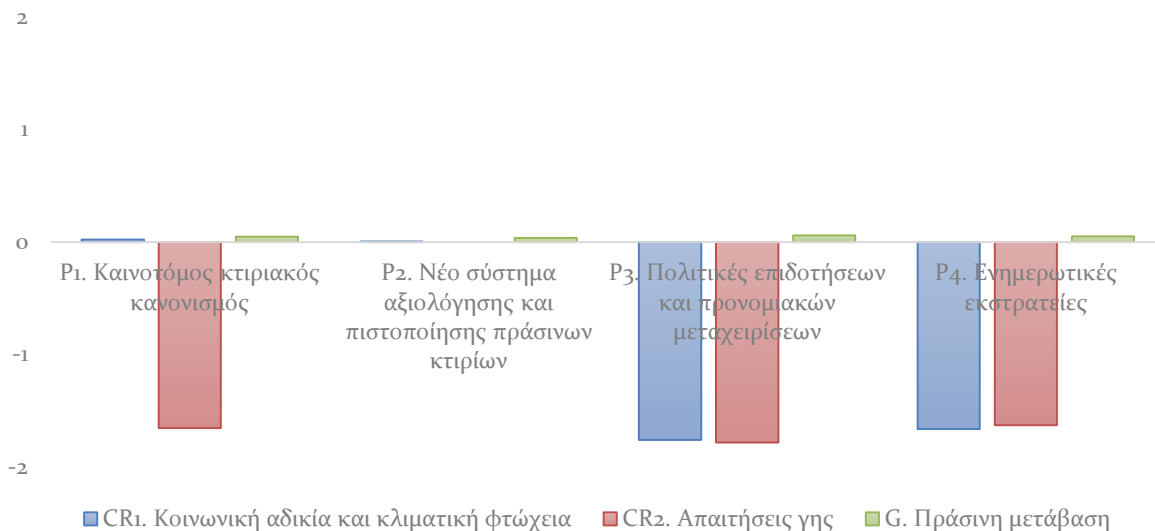


Εικόνα II.8 Αποτελέσματα ΑΓΧ για το Σενάριο 2.



Εικόνα II.9 Αποτελέσματα ΑΓΧ για το Σενάριο 3.

Αντίθετα, τα αποτελέσματα του Σεναρίου 4 (Εικόνα 11.10) εμφανίζουν μεγαλύτερες και επομένως πιο ευδιάκριτες διαφορές μεταξύ των επιδόσεων των πολιτικών. Το σενάριο αυτό φαίνεται να καλλιεργεί τις κατάλληλες συνθήκες για μία μεγάλη μείωση στις εδαφικές απαιτήσεις για κατασκευές πράσινων κτιρίων, εξαιτίας των νέων κατασκευαστικών κανόνων, των επιδοτήσεων και των ενημερωτικών εκστρατειών. Οι επιχορηγήσεις και, σε μικρότερο βαθμό, οι καμπάνιες ενημέρωσης φαίνονται επίσης να αμβλύνουν σημαντικά τις κοινωνικές αδικίες που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή και την ενεργειακή/κλιματική φτώχεια, συγκριτικά με τις άλλες δύο πολιτικές. Αυτό συνδέεται άμεσα με τις αυξημένες ανισότητες που περιγράφει το Σενάριο 4.



Εικόνα II.10 Αποτελέσματα ΑΓΧ για το Σενάριο 4.

Το Σενάριο 5 (Εικόνα II.11) σχετίζεται με εξαιρετικά γρήγορη οικονομική ανάπτυξη, θεσμούς προσανατολισμένους στη διαμόρφωση ανταγωνιστικών αγορών και ταχεία τεχνολογική πρόοδο, παρότι η μετατόπιση του ενδιαφέροντος προς την εξάντληση των ορυκτών αποθεμάτων εμποδίζει την καθαρή και σταθερή μετάβαση σε μία οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Ως εκ τούτου, το σενάριο αυτό χαρακτηρίζεται από ένα ιδιαίτερα χαμηλό δυναμικό για την επιτάχυνση της μετάβασης, ανεξάρτητα από τις επιλεχθείσες πολιτικές, καθώς η μετάβαση διευκολύνεται εξ ορισμού από το κοινωνικοοικονομικό πλαίσιο καθαυτό. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι η βελτίωση του κανονισμού κτιριακών κατασκευών και η εφαρμογή επιδοτήσεων και άλλων οικονομικών κινήτρων ξεχωρίζουν από τις άλλες πολιτικές, αναφορικά με τη συμβολή τους στη μείωση των απαιτήσεων σε όρους εκτάσεων για πράσινες κατασκευές. Πολιτικές σχετικά με την αξιολόγηση και πιστοποίηση των κτιρίων θεωρούνται από τους εμπειρογνώμονες επιβαρυντικές για την κοινωνική ισότητα και αδιάφορες σε όρους απαιτήσεων γης.



Εικόνα II.11 Αποτελέσματα ΑΓΧ για το Σενάριο 5.

Εστιάζοντας στον τρόπο με τον οποίο κάθε μέτρο πολιτικής επηρεάζει τις βασικές κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές (συγκριτικά με την προσομοίωση αδράνειας) σε κάθε σενάριο, τα

αποτελέσματα που απεικονίζονται στις [Εικόνες 11.7 - 11.11](#) υποδεικνύουν ότι όλες οι πολιτικές θεωρούνται να έχουν μία ελαφρώς θετική επίδραση στην υπό εξέταση πράσινη μετάβαση του κτιριακού τομέα της Κίνας. Το μεγαλύτερο δυναμικό για τη μετάβαση παρατηρείται στο Σενάριο 3, το οποίο χαρακτηρίζεται από αργή αλλά σταθερή οικονομική ανάπτυξη και τεχνολογική πρόοδο. Η στρατηγική που αφορά στην αναμόρφωση του συστήματος πιστοποίησης των κτιρίων θεωρείται οριακά αδιάφορη για όλες τις παραμέτρους και όλα τα σενάρια, ενώ ο νέος πράσινος κτιριακός κανονισμός και οι πολιτικές οικονομικών κινήτρων και μηχανισμών υποστήριξης φαίνονται να συμβάλουν στον μετριασμό των απαιτήσεων γης, οι οποίες αντιμετωπίζονται πιο αποτελεσματικά στο Σενάριο 4.

11.4 Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο, η μεθοδολογία περιλάμβανε έναν συνδυασμό εργαλείων ποιοτικής και ημι-ποσοτικής ανάλυσης. Πρώτα εφαρμόστηκε ένα ΠΣΥΑ βασισμένο στην TOPSIS, μέσω του εργαλείου MACE-DSS που παρουσιάστηκε στο [Κεφάλαιο 7](#), για την καταγραφή και κατάταξη των σχετικών κινδύνων υλοποίησης και συνεπειών, για τους οποίους οι εμπειρογνώμονες ανησυχούν περισσότερο. Αυτοί αφορούσαν σε δεκαπέντε παράγοντες που δύνανται να εμποδίσουν στο μέλλον την οραματισθείσα μετάβαση του κινεζικού κτιριακού τομέα καθώς και σε πέντε πιθανές αρνητικές επιπτώσεις αυτής της μετάβασης. Οι πιο κρίσιμοι κίνδυνοι, όπως ορίστηκαν από τους συμμετέχοντες εμπειρογνώμονες, περιλάμβαναν τέσσερις κινδύνους υλοποίησης που αφορούσαν σε επενδυτικά ρίσκα που ενέχουν οι παρεμβάσεις ενεργειακής εξοικονόμησης, δυσκολίες εποπτείας και επιβολής της πολιτικής, ρίσκα τεχνολογικής καινοτομίας, και χαμηλές προσδοκίες της αγοράς επί των αποδόσεων των επενδύσεων· καθώς και δύο κινδύνους συνεπειών που περιστρέφονται γύρω από τις αυξημένες απαιτήσεις γης και την κλιματική φτώχεια.

Στην πορεία, οι εμπειρογνώμονες συμμετείχαν εκ νέου και, μέσω του εργαλείου MATISE ([Κεφάλαιο 5](#)), κατέγραψαν και απεικόνισαν τις διασυνδέσεις μεταξύ πολιτικών, κινδύνων και άλλων στοιχείων του συστήματος που αντιπροσωπεύει τη μετάβαση. Ο γνωστικός χάρτης που προέκυψε μετασχηματίστηκε σε ΑΓΧ και, με το εργαλείο ESQAPE ([Κεφάλαιο 6](#)) προσομοιώθηκε για την ημι-ποσοτική αξιολόγηση των επιδράσεων διαφορετικών μελλοντικών κοινωνικοοικονομικών συνθηκών και τεσσάρων επιλεγμένων πολιτικών που εφαρμόζονται υπό αυτές τις συνθήκες στο μονοπάτι μετάβασης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του ΑΓΧ επιτρέπουν την εξαγωγή ορισμένων ποιοτικών συμπερασμάτων που αντικατοπτρίζουν τις προσδοκίες και αντιλήψεις των εμπειρογνομώνων επί των δυναμικών εντός της υπό μελέτη μετάβασης, επί των στρατηγικών πολιτικής που αποσκοπούν στην προώθηση της μετάβασης, καθώς και επί των κινδύνων που πηγάζουν από αυτήν.

Πρώτον, οι επενδυτικοί κίνδυνοι και οι προκλήσεις στον έλεγχο και την επιβολή του πολιτικού πλαισίου έχουν σημαντική επίδραση στις διεργασίες μετάβασης του κινεζικού οικιστικού περιβάλλοντος, αλλά οι ταχείες τεχνολογικές εξελίξεις, οι σταθεροί θεσμοί και η αγοραία ανταγωνιστικότητα δύνανται να βοηθήσουν να ξεπεραστούν αυτοί οι κίνδυνοι.

Δεύτερον, οι ασθενείς και ασταθείς θεσμοί ή οι μονοπωλιακές επιχειρηματικές παρεμβάσεις μπορεί να αμβλύνουν τους ρυθμιστικούς κινδύνους καθώς και τα εμπόδια στην τεχνολογική καινοτομία. Όπως αναφέρουν προηγούμενες μελέτες, η διακυβέρνηση πολλαπλών επιπέδων παίζει έναν σπουδαίο ρόλο στην διευκόλυνση μίας επιτυχούς μετάβασης σε μία οικονομία χαμηλού άνθρακα. Δηλαδή, εθνικές, περιφερειακές και τοπικές κυβερνήσεις οφείλουν να συνεργαστούν αποτελεσματικά για να σχεδιάσουν

και εφαρμόσουν πολλαπλές πολιτικές αντί να εξαρτώνται από το ρυθμιστικό πλαίσιο σε κεντρικό εθνικό επίπεδο. Απαιτούνται πιο λεπτομερείς μηχανισμοί πολιτικής σε τομεακό και τοπικό επίπεδο για την διαμόρφωση ανταγωνιστικών αγορών που θα προάγουν τεχνολογική καινοτομία και επενδύσεις στην πράσινη ανάπτυξη. Ωστόσο, μία προσέγγιση διακυβέρνησης πολλαπλών επιπέδων οφείλει να ενισχυθεί με τη συμμετοχή πολλαπλών εμπειρογνομόνων κατά μήκος της αξιακής αλυσίδας του κτιριακού τομέα (από τις κατασκευαστικές εταιρείες έως τους τελικούς καταναλωτές). Επιπροσθέτως, τόσο οι μελλοντικοί σταθεροί εθνικοί θεσμοί όσο και οι παρόντες κυρίαρχοι θεσμοί είναι κρίσιμοι για τη συνοχή της εφαρμογής του μίγματος πολιτικής στα διάφορα επίπεδα διακυβέρνησης και την αποτελεσματική τήρηση των πράσινων πολιτικών στον κατασκευαστικό τομέα.

Τρίτον, κατά τη σύγκριση της πιθανής επιρροής των κινδύνων υλοποίησης στα σενάρια που φέρουν υψηλές προκλήσεις στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής ή/και την προσαρμογή σε αυτήν, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η υψηλή τεχνολογική πρόοδος υπό διαφορετικές κοινωνικοοικονομικές και πολιτικές συνθήκες επηρεάζει τις πράσινες μεταβάσεις με διαφορετικούς τρόπους. Η άνιση κατανομή της τεχνολογικής προόδου μπορεί να οδηγήσει σε περιορισμένη κοινωνική αποδοχή ή και συμμόρφωση με τις πράσινες τεχνολογίες. Μία μετάβαση με γρήγορες τεχνολογικές εξελίξεις και δομή κεντρικής κυβέρνησης μπορεί επίσης να αποτύχει εξαιτίας της αδυναμίας αποτελεσματικής επίβλεψης και επιβολής του νομικού πλαισίου. Η τεχνολογική καινοτομία δεν είναι ο μοναδικός κινητήριος μοχλός μίας επιτυχούς μετάβασης σε έναν πράσινο κατασκευαστικό τομέα, καθώς συνολικά οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες και η διακυβέρνηση της μετάβασης παίζουν εξίσου σημαντικούς ρόλους. Σύμφωνα με τον Van den Bergh (2011), η καινοτομία ενός συστήματος δεν εξαρτάται από την καινοτομία μίας τεχνολογίας. Η πράσινη μετάβαση οφείλει να προάγεται υπό το πρίσμα πολλαπλών παραγόντων, όπως η διακυβέρνηση, οι κοινωνικές νόρμες και οι αντιλήψεις των εμπειρογνομόνων, αλλιώς το απροσδόκητο φαινόμενο ανάκαμψης (rebound effect) μπορεί να βλάψει τις όποιες προσπάθειες για πράσινη τεχνολογική καινοτομία.

Πέραν της ανάλυσης των κινδύνων υλοποίησης, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των ΑΓΧ επίσης βοηθούν στην πληροφόρηση των διεργασιών χάραξης πολιτικής επί των πιθανών επιπτώσεων των μέτρων πολιτικής και των σχετιζόμενων κινδύνων συνεπειών υπό μελλοντικές κοινωνικοοικονομικές εξελίξεις. Συγκεκριμένα, και στα πέντε διαφορετικά σενάρια, οι επιδοτήσεις και οι πολιτικές προνομιακών μεταχειρίσεων φαίνονται να ωφελούν τη μετάβαση περισσότερο, καθώς και να έχουν την πλέον θετική συμβολή στον μετριασμό των δύο κρισιμότερων πιθανών συνεπειών της μετάβασης: τις απαιτήσεις γης και τις κοινωνικές αδικίες. Αντίθετα, η εφαρμογή ενός καινοτόμου κτιριακού κανονισμού και η προώθηση ενός νέου συστήματος πιστοποίησης των πράσινων κτιρίων σχετίζονται με αρνητικές επιπτώσεις στο κοινωνικό σκέλος της μετάβασης με την άμβλυνση των κοινωνικών αδικιών και της κλιματικής φτώχειας, σε όλα τα σενάρια. Όλες οι εξετασθείσες πολιτικές έχουν το μεγαλύτερο περιθώριο θετικής επίδρασης σε ένα κοινωνικοοικονομικά δύσκολο μέλλον: αυτό δεν σημαίνει ότι μία πράσινη μετάβαση είναι ευκολότερη σε ένα τέτοιο μέλλον αλλά ότι, σε έναν κόσμο σημαντικά δυσμενών κοινωνικοοικονομικών συνθηκών, οι σωστές πολιτικές μπορεί να κάνουν τη διαφορά. Τέλος, διαφορετικά αποτελέσματα παρατηρούνται για ένα παρεμφερές σενάριο που χαρακτηρίζεται από οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη σε αργό ρυθμό, ένα ευρύτερο πλαίσιο πολιτικής προσανατολισμένο στο όφελος μίας ελίτ αλλά πιο αισιόδοξη επενδυτική συμπεριφορά: εάν οι φορείς χάραξης πολιτικής αναμένουν ότι ένα τέτοιο σενάριο είναι το πλέον πιθανό, θεωρείται πως η μακροπρόθεσμη επίδραση της επένδυσης σε πολιτικές συμπεριφορικής αλλαγής και των ενημερωτικών προσπαθειών σε πρώιμο στάδιο θα είναι εξίσου θετική με τους σχετικά πολύ ακριβότερους μηχανισμούς οικονομικής υποστήριξης.

Συνολικά, τα ΠΣΥΑ και οι ΑΓΧ παρέχουν ένα πλαίσιο θεώρησης των κινδύνων που ελλοχεύουν σε ένα μονοπάτι πράσινης μετάβασης. Μπορούν να αποτελέσουν πολύ χρήσιμα εργαλεία για τις διαδικασίες σχεδιασμού πολιτικών, επειδή επιτρέπουν την αποκάλυψη και προτεραιοποίηση των υποκείμενων παραγόντων που δύνανται να καλλιεργήσουν ή οξύνουν κινδύνους, με βάση τη γνώση και αντίληψη των εμπειρογνομώνων (Doukas and Nikas, 2019), πριν την εφαρμογή άλλων επιστημονικών εργαλείων, για την προσεκτική αποτίμηση αυτών των παραγόντων και κινδύνων, και την επίτευξη ευρωστίας, καλύτερης διακυβέρνησης και επιστημονικής πλαisiώσης της κλιματικής δράσης (Doukas et al., 2018). Πρόκειται για την ίδια ολοκληρωμένη προσέγγιση που παρουσιάζεται λεπτομερώς στο [Κεφάλαιο 2](#) και εφαρμόζεται σε σχετικές μελέτες (Nikas et al., 2019b· Antosiewicz et al., 2019· Forouli et al., 2019). Η παρούσα μελέτη αναγνωρίζει ότι οι κίνδυνοι των μεταβάσεων δύνανται να διαφέρουν ανάλογα με το τοπικό και κλιματικό/γεωγραφικό πλαίσιο, και επομένως περιορίζεται στις αστικές περιοχές του Πεκίνου και της Σανγκάης. Ωστόσο, περιλαμβάνει ορισμένα ευρήματα που μπορούν να γενικευθούν στην κινεζική επικράτεια. Συχνά, η κατανόηση των ενδιαφερόμενων φορέων επί των κινδύνων είναι πιο λεπτομερής ή και διαφορετική, από την κατανόηση των ερευνητών και ακαδημαϊκών (van Vliet et al., 2019). Οι κίνδυνοι που προσδιορίστηκαν από τους εμπειρογνώμονες μπορεί επίσης να είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν ή να ενσωματωθούν σε μακροοικονομικά μοντέλα, εξαιτίας της έλλειψης δεδομένων ή ιδιαιτεροτήτων που δεν γενικεύονται εύκολα σε μοντελικές διεργασίες. Επομένως, το κεφάλαιο αυτό καταλήγει ότι περισσότερες μελέτες απαιτούνται για τη διερεύνηση των κινδύνων στα μονοπάτια μετάβασης από μία από κάτω προς τα πάνω οπτική, όπου δηλαδή πραγματοποιείται και η εφαρμογή. Αυτοί οι κίνδυνοι πρέπει έπειτα να λαμβάνονται υπόψη από κυβερνήσεις που λειτουργούν σε διαφορετικές κλίμακες, στις προσπάθειες για σχεδίαση και υλοποίηση πολιτικών προς ένα πράσινο μέλλον.

11.5 Βιβλιογραφία

- Akadiri, P. O., Chinyio, E. A., & Olomolaiye, P. O., 2012. Design of a sustainable building: a conceptual framework for implementing sustainability in the building sector. *Buildings*, 2(2), 126-152.
- Antosiewicz, M., Nikas, A., Szpor, A., Witajewski-Baltvilks, J., & Doukas, H., 2019. Pathways for the transition of the Polish power sector and associated risks. *Environmental Innovation and Societal Transitions*.
- Axelrod, R. (Ed.), 1976. *Structure of decision: The cognitive maps of political elites*. Princeton university press.
- Bauer, M., Möslle, P., Schwarz M., 2009. The Motivation behind the Green Building Idea. In: *Green Building*, 8-21. Springer, Berlin, Heidelberg
- Beijing Municipal Commission of Housing, Urban-Rural Development and Management (MCOHURDM), 2017. *The actions in Beijing Green Buildings Development*
- Bulkeley, H., Broto, V. C., Hodson, M., & Marvin, S. (Eds.), 2010. *Cities and low carbon transitions*. New York: Routledge.
- Chen, W.K., Luo, F, 2008. Research on building energy consumption based on whole life cycle theory. *Building Science*, 10, 23-27.
- Doukas, H., & Nikas, A., 2019. Decision Support Models in Climate Policy. *European Journal of Operational Research*.
- Doukas, H., Nikas, A., González-Eguino, M., Arto, I., & Anger-Kraavi, A., 2018. From integrated to integrative: Delivering on the Paris Agreement. *Sustainability*, 10(7), 2299.
- Fastenrath, S., 2018. *Urban Sustainability Transitions in the Building Sector. Insights from contrasting contexts: Freiburg and Brisbane (Doctoral dissertation, Universität zu Köln)*.

- Fastenrath, S., & Braun, B., 2018. Ambivalent urban sustainability transitions: Insights from Brisbane's building sector. *Journal of Cleaner Production*, 176, 581-589.
- Forouli, A., Gkonis, N., Nikas, A., Siskos, E., Doukas, H., & Tourkolias, C., 2019. Energy efficiency promotion in Greece in light of risk: Evaluating policies as portfolio assets. *Energy*, 170, 818-831.
- Geels, F. W., Kern, F., Fuchs, G., Hinderer, N., Kungl, G., Mylan, J., Neukirch, M., & Wassermann, S., 2016. The enactment of socio-technical transition pathways: a reformulated typology and a comparative multi-level analysis of the German and UK low-carbon electricity transitions (1990-2014). *Research Policy*, 45(4), 896-913.
- Geels, F. W., 2004. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research policy*, 33(6-7), 897-920.
- Geels, F. W., 2012. A socio-technical analysis of low-carbon transitions: introducing the multi-level perspective into transport studies. *Journal of transport geography*, 24, 471-482.
- Groumpos, P. P., 2010. Fuzzy cognitive maps: basic theories and their application to complex systems. In *Fuzzy cognitive maps* (pp. 1-22). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hammer, S., Kamal-Chaoui, L., Robert, A., & Plouin, M., 2011. *Cities and Green Growth: A Conceptual Framework*. OECD Publishing.
- Hanger-Kopp, S., Nikas, A., & Lieu, J., 2019. Framing risk and uncertainty associated with low-carbon pathways. In Hanger-Kopp, S. J. Lieu, and A. Nikas (eds.). *Narratives of low-carbon transitions: Understanding risks and uncertainties*. Routledge, Abingdon.
- Hodson, M., Geels, F. W., & McMeekin, A., 2017. Reconfiguring urban sustainability transitions, analysing multiplicity. *Sustainability*, 9(2), 299.
- Holtz, G., Xia-Bauer, C., Roelfes, M., Schüle, R., Vallentin, D., & Martens, L., 2018. Competences of local and regional urban governance actors to support low-carbon transitions: Development of a framework and its application to a case-study. *Journal of Cleaner Production*, 177, 846-856.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. P., 1981. *Multiple attribute decision making: methods and applications*. Berlin. Springer.
- IEA (International Energy Agency) and Tsinghua University, 2015. *Building Energy use in China: Transforming construction and influencing consumption to 2050*. OECD/IEA.
- Jacobsson, S., & Bergek, A., 2011. Innovation system analyses and sustainability transitions: contributions and suggestions for research. *Environmental Innovation & Societal Transitions*, 1(1), 41-57.
- Jiang, R., & Li, R., 2017. Decomposition and Decoupling Analysis of Life-Cycle Carbon Emission in China's Building Sector. *Sustainability* 9(5), 793
- Kirby, P., & O'Mahony, T., 2018. Addressing the Problem: Understanding Low-Carbon Transition with the Social Sciences. In *The Political Economy of the Low-Carbon Transition*, 57-86. Palgrave Macmillan, Cham.
- Kong, X., Lu, S., & Wu, Y., 2012. A review of building energy efficiency in china during "eleventh five-year plan" period. *Energy Policy*, 41(none), 624-635.
- Kosko, B., 1986. Fuzzy cognitive maps. *International journal of man-machine studies*, 24(1), 65-75.
- Krohling, R. A., & Campanharo, V. C., 2011. Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea. *Expert Systems with applications*, 38(4), 4190-4197.
- Lewis, P., 2007. Climate change 2007: the physical science basis. *South African Geographical Journal Being a Record of the Proceedings of the South African Geographical Society*, 92(1), 86-87.
- Li, Y., Ren, J., Jing, Z., Lu, J., Ye, Q., & Lv, Z., 2017. The existing building sustainable retrofit in china: a review and case study. *Procedia Engineering*, 205, 3638-3645.
- Markantoni, M., 2016. Low carbon governance: mobilizing community energy through top-down support? *Environmental Policy and Governance*, 26(3), 155-169.
- Mo, K., & Philanthropies, B., 2016. *Financing Building Energy Efficiency: A Challenge and Opportunity for China's Cities*. Paulson Institute.

- Murphy, J. T., 2015. Human geography and socio-technical transition studies: Promising intersections. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 17, 73-91.
- Niamir, L., Filatova, T., Voinov, A., & Bressers, H., 2018. Transition to low-carbon economy: assessing cumulative impacts of individual behavioral changes. *Energy Policy*, 118, 325-345.
- Nikas, A., & Doukas, H., 2016. Developing robust climate policies: a fuzzy cognitive map approach. In *Robustness Analysis in Decision Aiding, Optimization, and Analytics*, 239-263). Springer, Cham.
- Nikas, A., Doukas, H., & Martínez López, L., 2018. A group decision making tool for assessing climate policy risks against multiple criteria. *Heliyon*, 4(3).
- Nikas, A., Ntanos, E., & Doukas, H., 2019a. A semi-quantitative modelling application for assessing energy efficiency strategies. *Applied Soft Computing*, 76, 140-155.
- Nikas, A., Stavrakas, V., Arsenopoulos, A., Doukas, H., Antosiewicz, M., Witajewski-Baltvilks, J., & Flamos, A., 2019b. Barriers to and consequences of a solar-based energy transition in Greece. *Environmental Innovation and Societal Transitions*.
- Olazabal, M., & Pascual, U., 2015. Urban low-carbon transitions: cognitive barriers and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 109, 336-346.
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K. L., Hallegatte, S., Carter, T. R., Mathur, R., & van Vuuren, D. P., 2014. A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122(3), 387-400.
- O'Neill B.C. , Kriegler E, Ebi K.L. , Kemp-Benedict E. , Riahi K., Rothman D.S. , van Ruijven B., Birkmann J. , Kok K. , Levy M. , & Van Vuuren D.P., 2017. The Roads Ahead: Narratives for Shared Socioeconomic Pathways Describing World Futures in the 21 st Century. *Global Environmental Change*, 42, 69-180.
- Pachauri, R.K., Allen, M.R., Barros, V.R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R. ... & Dubash, N.K., 2014. Climate Change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 151. IPCC.
- Schot, J., Kanger, L., & Verbong, G., 2016. The roles of users in shaping transitions to new energy systems. *Nature Energy*, 1(5), 16054.
- Scott, A. J. & Storper, M., 2015. The nature of cities: the scope and limits of urban theory. *International Journal of Urban and Regional Research*, 39(1), 1-15.
- Shanghai Municipal Commission of Housing, Urban-Rural Development and Management (MCOHURDM), 2017. Shanghai Green building Development Report 2016.
- Smith, A., 2007. Translating sustainabilities between green niches and socio-technical regimes. *Technology analysis & strategic management*, 19(4), 427-450.
- Smith, A., Stirling, A., & Berkhout, F., 2005. The governance of sustainable socio-technical transitions. *Research policy*, 34(10), 1491-1510.
- Sovacool B., Lipson M., Chard R., 2019. Temporality, vulnerability, and energy justice in household low carbon innovations. *Energy Policy*. 128. 495-504.
- Thoma, J., & Chenet, H., 2016. Transition risks and market failure: a theoretical discourse on why financial models and economic agents may misprice risk related to the transition to a low-carbon economy. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 1-17.
- Turnheim, B., Berkhout, F., Geels, F., Hof, A., Mcmeekin, A., & Nykvist, B., 2015. Evaluating sustainability transitions pathways: bridging analytical approaches to address governance challenges. *Global Environmental Change*, 35, 239-253.
- UNEP, 2011. Climate change and pops: predicting the impacts. Report of the UNEP/AMAP expert group. Arctic Monitoring & Assessment Program.
- Van den Bergh, J., Truffer, B., & Kallisa, G., 2011. Environmental innovation and societal transitions: introduction and overview. *Environmental Innovation & Societal Transitions*. 1 (1), 1-23.

- Van Vliet O.P.R, Hanger S, Nikas A, Spijker E, Carlsen H, Doukas H, & Lieu J., 2019. The importance of stakeholders in scoping risk assessments – lessons from low-carbon transitions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. Under review.
- Westley, F., Olsson, P., Folke, C., Homer-Dixon, T., Vredenburg, H., & Loorbach, D., 2011. Tipping toward sustainability: emerging pathways of transformation. *AMBIO*, 40(7), 762-780.
- Wilson, C., Hargreaves, T., & Hauxwell-Baldwin, R., 2017. Benefits and risks of smart home technologies, *Energy Policy*, 103, 72-83.
- Wittmayer, J. M., Avelino, F., Steenbergen, F. V., & Loorbach, D., 2017. Actor roles in transition: insights from sociological perspectives. *Environmental Innovation & Societal Transitions*. 24, 45-56.
- Xu, X., Anadon, L.D., & Lee, H., 2016. Increasing Residential Building Energy Efficiency in China: An Evaluation of Policy Instruments. Discussion Paper, 2016-02, Energy Technology Innovation Policy Project, Belfer Center, April.
- Yeung, H. W. C., 2005. Rethinking relational economic geography. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 30(1), 37-51.
- Yoon, K. P., & Kim, W. K., 2017. The behavioral TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 89, 266-272.
- Yuan, X., Zhang, X., Liang, J., Wang, Q., & Zuo, J., 2017. The development of building energy conservation in china: a review and critical assessment from the perspective of policy and institutional system. *Sustainability*, 9(9), 1654.
- Zhang, Y., Kang, J., & Jin, H., 2017. A Review of Green Building Development in China from the Perspective of Energy Saving. *Energies*, 11(2), 334.
- Zhou, N., Khanna, N. Z., Fridley, D., & Romankiewicz, J., 2013. Development and implementation of energy efficiency standards and labeling programs in china: progress and challenges.

12ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΩΘΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

12.1 Εισαγωγή

Η ενεργειακή αποδοτικότητα σταδιακά καταλαμβάνει τη θέση ενός βασικού ενεργειακού πόρου στο πλαίσιο των εθνικών και διεθνών προσπαθειών για την επίτευξη στόχων βιωσιμότητας (Bye et al., 2018). Στην Ευρώπη, η αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας θεωρείται κλειδί για την αντιμετώπιση μελλοντικών προκλήσεων στην ήπειρο, σε όρους ασφάλειας εφοδιασμού, κλιματικής αλλαγής, απασχόλησης, ανάπτυξης και ανταγωνιστικότητας (Saheb and Ossenbrink, 2015). Η μείωση της ζήτησης για ενέργεια και η προτεραιοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας είναι επομένως ένας από τους κύριους στόχους της Ενεργειακής Ένωσης (European Commission, 2017). Στην περίπτωση της Ελλάδας, συγκεκριμένα, η ενεργειακή πολιτική με έμφαση στην εξοικονόμηση ενέργειας έχει τη δυνατότητα να συνεισφέρει σημαντικά στην οικονομική ανάκαμψη της χώρας (International Energy Agency, 2017), να μειώσει την ενεργειακή φτώχεια, και να ενισχύσει και ενδυναμώσει περαιτέρω τις ευάλωτες κοινότητες στη χώρα, προάγοντας την ανταγωνιστικότητα και τη βιωσιμότητα (Ministry of Environment and Energy, 2017).

Η μετάβαση σε μία ενεργειακά πιο αποδοτική οικονομία προσφέρει μία μοναδική ευκαιρία επανασχεδιασμού του πλαισίου κλιματικής πολιτικής, αλλά απαιτεί τον καθορισμό και την εφαρμογή νέων στρατηγικών από τους αποφασίζοντες και φορείς χάραξης πολιτικής σχετικής με την κλιματική αλλαγή και δράση. Τα μοντέλα και οι μέθοδοι επιχειρησιακής έρευνας, όπως αναλύεται και στο Κεφάλαιο 4, έχουν ευρέως χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη της διαμόρφωσης κλιματικής πολιτικής σε αυτήν την κατεύθυνση. Οι μεθοδολογίες υποστήριξης αποφάσεων στο πεδίο της ενέργειας περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τα ΠΣΥΑ (Pohekar and Ramachandran, 2004· Suganthi et al., 2015) και τις μεθόδους μαθηματικού προγραμματισμού (Baños et al., 2011). Οι προσεγγίσεις πολυστοχικής βελτιστοποίησης και των ΠΣΥΑ έγιναν απαραίτητες για την αντιμετώπιση ενεργειακών προβλημάτων βιωσιμότητας, κυρίως λόγω των διαχειριστικών προκλήσεων των ενεργειακών αγορών και των συγκρούσεων μεταξύ των ενδιαφερόμενων φορέων (Antunes and Henriques, 2016· Buoro et al., 2013· Wu et al., 2018).

Από την άλλη πλευρά, οι αβέβαιες οικονομικές δυναμικές της ενεργειακής αγοράς, η γεωπολιτική αστάθεια και οι ασταθείς χρηματοπιστωτικές αγορές θέτουν αυστηρές προκλήσεις στον σχεδιασμό

εύρωστων ενεργειακών μοντέλων (Zhang and Chen, 2017). Επομένως, οι φορείς χάραξης πολιτικής αντιμετωπίζουν ένα μίγμα κινδύνων πολιτικής, οικονομικής, ρυθμιστικής, κοινωνικής, τεχνολογικής και περιβαλλοντικής φύσεως, όταν καλούνται να σχεδιάσουν στρατηγικές ενεργειακής πολιτικής (Angelopoulos et al., 2017· Bürer and Wüstenhagen, 2008· Dóci and Gotchev, 2016· Enevoldsen, 2016· Gatzert and Kosub, 2016· Gatzert and Vogl, 2016· Holma et al., 2018· Kitzing, 2014· Marrero et al., 2015· Szumilo and Fuerst, 2017). Σε μία αναλυτική βιβλιογραφική ανασκόπηση της έννοιας του κινδύνου, ο Aven (2016) αναγνωρίζει προοπτικές και προσεγγίσεις εννοιολογικοποίησης, αξιολόγησης και διαχείρισης κινδύνων. Στο πεδίο του ενεργειακού σχεδιασμού, οι Ioannou et al. (2017) δίνουν μία επισκόπηση των μεθόδων μοντελοποίησης κινδύνου και αβεβαιοτήτων, ενσωματώνοντας τις προοπτικές των εμπειρογνομόνων και λοιπών ενδιαφερόμενων φορέων.

Υπό το πρίσμα των ανωτέρω προκλήσεων, αυτό το κεφάλαιο αποσκοπεί στην υποστήριξη του σχεδιασμού πολιτικής ενεργειακής αποδοτικότητας, παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο, στο οποίο η μοντελοποίηση ενεργειακών συστημάτων συνδυάζεται με ένα μοντέλο ΠΣΥΑ, ένα πολυστοχικό μοντέλο ΑΧ, και ένα μοντέλο ΑΓΧ, με βάση το προτεινόμενο επιστημονικό υπόδειγμα (Κεφάλαιο 2). Αρχικά, τα δεδομένα για το κόστος και τις αναμενόμενες εξοικονομήσεις ενέργειας των υπό μελέτη μέτρων λαμβάνονται από ένα μοντέλο ενεργειακών συστημάτων TIMES για την Ελλάδα, ενώ η αξιολόγηση κάθε μέτρου έναντι των κινδύνων υλοποίησης πραγματοποιείται με τη γνώση των εμπειρογνομόνων και ένα μοντέλο ΠΣΥΑ για πολλαπλούς αποφασίζοντες. Στην πορεία, εφαρμόζεται το πολυστοχικό μοντέλο ΑΧ, για την εύρεση των υποβέλτιστων χαρτοφυλακίων πολιτικής, με κριτήρια βελτιστοποίησης τη μεγιστοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας (ή ελαχιστοποίηση του κόστους) και την ελαχιστοποίηση του κινδύνου, ενώ η επίδοση των χαρτοφυλακίων αυτών αξιολογείται έναντι στοχαστικής αβεβαιότητας με την χρήση της μεθόδου Monte Carlo. Τέλος, με την εκ νέου συμμετοχή των εμπειρογνομόνων και την χρήση της μεθόδου των ΑΓΧ αξιολογείται ένα αντιπροσωπευτικό υποσύνολο των υποβέλτιστων χαρτοφυλακίων για τον προσδιορισμό εκείνου που οι εμπειρογνώμονες θεωρούν βέλτιστο. Τα εμπειρικά ευρήματα της μελέτης χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη της Ελλάδας να επαναδομήσει το ΕΣΔΕΑ της έως το 2020, με την σύσταση ενός μίγματος πολιτικών που συνολικά επιτρέπουν την όσο το δυνατόν εγγύτερη προσέγγιση των εθνικών στόχων εξοικονόμησης ενέργειας για το 2020, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τα κόστη και τον αντίκτυπο των υποκείμενων κινδύνων, και λαμβάνοντας υπόψιν ένα πλήθος τεχνικών, οικονομικών και άλλων περιορισμών. Παράλληλα, αναγνωρίζοντας τη σημασία της αξιοποίησης της γνώσης του ανθρώπινου παράγοντα στη γεφύρωση γνωσιακών χασμάτων (Nikas et al., 2017), έλαβε χώρα διεξοδική συμμετοχή εμπειρογνομόνων, με σκοπό την αξιολόγηση των κινδύνων υλοποίησης από την σκοπιά των στελεχών του ελληνικού Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι πολλές μελέτες έχουν διερευνήσει τη χρήση της ΑΧ στον ενεργειακό τομέα (Bazilian and Roques, 2008· Pérez Odeh et al., 2018). Αντίθετα, ελάχιστες μελέτες φαίνεται ότι έχουν ενσωματώσει παράγοντες κινδύνου και αβεβαιότητες σε μοντέλα πολυκριτήριας βελτιστοποίησης ενεργειακών χαρτοφυλακίων, οι σημαντικότερες εκ των οποίων συνοψίζονται στους Πίνακες 12.1 – 12.3. Η πλειοψηφία αυτών διαχειρίζονται την αβεβαιότητα ντετερμινιστικά, με τη χρήση σεναρίων, ενώ μόνο δύο μελέτες έχουν συνδυάσει τεχνικές ανάλυσης ρίσκου, ΑΧ και ανάλυση ευρωστίας έναντι στοχαστικών αβεβαιοτήτων. Ακόμη πιο ασυνήθης είναι η συμμετοχή εμπειρογνομόνων στην αξιολόγηση των ενεργειακών χαρτοφυλακίων. Ο Bistline (2016) χρησιμοποιεί εμπειρικές πληροφορίες προερχόμενες από εμπειρογνώμονες για να παραμετροποιήσει ένα μοντέλο στοχαστικού προγραμματισμού για την αποτίμηση προσπαθειών E&A σε ενεργειακές τεχνολογίες. Στο πεδίο της εξοικονόμησης ενέργειας, οι Togeby et al. (2012) συμπεριέλαβαν εμπειρογνώμονες στην διαδικασία αξιολόγησης του δανικού χαρτοφυλακίου πολιτικής ενεργειακής αποδοτικότητας, όμως η δουλειά

τους περιορίστηκε στη βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίων, στην οποία δεν τονίζονται οι έννοιες του κινδύνου και της ευρωστίας που αναλύονται λεπτομερώς στην παρούσα μελέτη.

Πίνακας 12.1 Ανασκόπηση μελετών που συνδυάζουν ανάλυση κινδύνου, ανάλυση χαρτοφυλακίου, ανάλυση ευρωστίας και συμμετοχή εμπειρογνομόνων στο πεδίο της ενέργειας.

Δημοσίευση	Ανάλυση Κινδύνου	ΑΧ	Ανάλυση ευρωστίας	Συμμετοχή εμπειρογνομόνων
Allan et al., 2011		✓	Ντετερμινιστική	
Bistline, 2016		✓	Στοχαστική	✓
Bukarica and Tomšić, 2017	✓			
Deluque et al., 2018	✓	✓	Στοχαστική	
Huang and Wu, 2008	✓	✓	Ντετερμινιστική	
Jackson, 2010	✓		Στοχαστική	
Marrero et al., 2015	✓	✓	Ντετερμινιστική	
Muñoz et al., 2009	✓	✓	Ντετερμινιστική	
Thollander et al., 2007	✓			
Togebly et al., 2012		✓		✓
Vithayasrichareon and MacGill, 2012a		✓	Ντετερμινιστική	
Zhu and Fan, 2010	✓	✓	Ντετερμινιστική	
Losekann et al., 2013	✓	✓	Ντετερμινιστική	
García and Morales-Acevedo, 2014		✓	Ντετερμινιστική	
Bhattacharya and Kojima, 2012	✓	✓	Στοχαστική	
Arnesano et al., 2012	✓	✓	Ντετερμινιστική	
Awerbuch and Berger, 2003	✓	✓	Ντετερμινιστική	
Vithayasrichareon and MacGill, 2012b	✓	✓	Στοχαστική	
Tang and Hill, 2018				
Escribano Francés et al., 2013	✓	✓		

Πίνακας 12.2 Πεδίο εφαρμογής προηγούμενων σχετικών μελετών.

Δημοσίευση	Τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής		Ενεργειακή αποδοτικότητα	Ενεργειακή πολιτική	E&A
	Ορυκτά	ΑΠΕ			
Allan et al., 2011	✓	✓			
Bistline, 2016					✓
Bukarica and Tomšić, 2017			✓		
Deluque et al., 2018	✓	✓			
Huang and Wu, 2008	✓	✓			
Jackson, 2010			✓		
Marrero et al., 2015	✓	✓			✓
Muñoz et al., 2009		✓			
Thollander et al., 2007			✓		

Δημοσίευση	Τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής		Ενεργειακή αποδοτικότητα	Ενεργειακή πολιτική	E&A
	Ορυκτά	ΑΠΕ			
Togebly et al., 2012			✓		
Vithayasrichareon and MacGill, 2012a	✓				
Zhu and Fan, 2010	✓				
Losekann et al., 2013	✓	✓			
García and Morales-Acevedo, 2014	✓	✓			
Bhattacharya and Kojima, 2012	✓	✓			
Arnesano et al., 2012		✓			
Awerbuch and Berger, 2003	✓	✓			
Vithayasrichareon and MacGill, 2012b	✓				
Tang and Hill, 2018			✓		
Escribano Francés et al., 2013				✓	

Πίνακας 12.3 Γεωγραφική τοποθέτηση και χρονικός ορίζοντας προηγούμενων σχετικών μελετών.

Δημοσίευση	Γεωγραφική εστίαση			Χρονικός ορίζοντας	
	Υπερεθνική	Εθνική	Τομεακή	<10 έτη	>= 10 έτη
Allan et al., 2011		Σκωτία			2007-2020
Bistline, 2016	ΗΠΑ				2010-2050
Bukarica and Tomšić, 2017					
Deluque et al., 2018	ΗΠΑ				✓
Huang and Wu, 2008		Ταϊβάν			2006-2025
Jackson, 2010			✓		
Marrero et al., 2015	ΟΟΣΑ				
Muñoz et al., 2009		Ισπανία		2005-2010	
Thollander et al., 2007		Σουηδία			
Togebly et al., 2012		Δανία		2005-2008	
Vithayasrichareon and MacGill, 2012a	Παγκόσμια				
Zhu and Fan, 2010		Κίνα			2010-2020
Losekann et al., 2013		Βραζιλία			2010-2020
García and Morales-Acevedo, 2014		Μεξικό			2010-2050
Bhattacharya and Kojima, 2012		Ιαπωνία			2010-2020
Arnesano et al., 2012		Ιταλία			2010-2030

Δημοσίευση	Γεωγραφική εστίαση			Χρονικός ορίζοντας	
	Υπερεθνική	Εθνική	Τομεακή	<10 έτη	>= 10 έτη
Awerbuch and Berger, 2003	ΕΕ				2000-2010
Vithayasrichareon and MacGill, 2012b		Ταϊλάνδη			2010-2030
Tang and Hill, 2018	ΗΠΑ				
Escribano Francés et al., 2013	ΕΕ				2008-2020

Με βάση αυτήν την ανασκόπηση, συμπεραίνεται ότι καμία μελέτη στο παρελθόν δεν έχει εισάγει και εφαρμόσει μία προσέγγιση ΑΧ που ενσωματώνει την γνώση των εμπειρογνομώνων, τα ΠΣΥΑ και την ανάλυση ευρωστίας στο πεδίο της ενεργειακής αποδοτικότητας, πολύ δε περισσότερο τη χρήση των ΑΓΧ, καθώς και ότι κανένα εύρωστο μοντέλο ΑΧ δεν έχει εφαρμοστεί στην Ελλάδα στον ευρύτερο χώρο της ενεργειακής πολιτικής και τον ενεργειακό σχεδιασμό.

Επίσης, μία ακόμη καινοτομία υλοποίησης αυτής της μελέτης βασίζεται στην αξιοποίηση αυτής της μελέτης για την επιστημονική πλαisiώση της προετοιμασίας του 4^{ου} ΕΣΔΕΑ της Ελλάδας και τον επανασχεδιασμό του εθνικού πλαισίου πολιτικής για την ενεργειακή αποδοτικότητα. Με την εξαίρεση των Togeby et al. (2012) που αφορούσε στην υποστήριξη του σχεδιασμού νέων φόρων και οικονομικών κινήτρων αλλά παράβλεπε εξ ολοκλήρου τις έννοιες του κινδύνου και της ευρωστίας, όλες οι υπόλοιπες μελέτες της βιβλιογραφίας αφορούσαν σε ex-post ανάλυση μέτρων πολιτικής (Tang and Hill, 2018· Banerjee and Solomon, 2003· Ribeiro, 2018· Thoyre, 2015· Vine et al., 2006).

12.2 Πλαίσιο μελέτης

12.2.1 Στόχοι και πρόοδος

Σε περιφερειακό επίπεδο, η ΕΕ αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις σχετικά με την ανάγκη αντιμετώπισης τόσο της κλιματικής αλλαγής όσο και μίας αυξανόμενης εξάρτησης από ενεργειακές εισαγωγές, οι οποίες προκύπτουν από τους ελλείψεις ενεργειακών πόρων της ηπείρου. Η αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αντιμετώπιση αυτών των μελλοντικών προκλήσεων, ειδικά δεδομένου του υφιστάμενου οικονομικού περιβάλλοντος. Οι πολιτικές εξοικονόμησης ενέργειας δύνανται να ωφελήσουν τους τελικούς καταναλωτές σε όρους κόστους των λογαριασμών ενέργειας, καθώς και να συνεισφέρουν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, την ασφάλεια εφοδιασμού, την ανταγωνιστικότητα, την οικονομική βιωσιμότητα και τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Σε αυτό το πλαίσιο, έχει τεθεί ένας συνολικός στόχος για την ΕΕ, που αφορά στην εξοικονόμηση 20% πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης έως το 2020, ο οποίος έχει έκτοτε αναβαθμιστεί στο 30% έως το 2030 (European Commission, 2017).

Για την καλύτερη καταγραφή της προόδου, κρίθηκε απαραίτητο οι εθνικές δεσμεύσεις και οι σχετικοί μηχανισμοί επίτευξης αυτών να προτείνονται και να ενημερώνονται τακτικά. Σε αυτήν την κατεύθυνση, ζητήθηκε από τα ΚΜ να καταθέτουν εθνικά ΕΣΔΕΑ, με σκοπό την υιοθέτηση πολιτικών, δεσμεύσεων και στρατηγικών σε όλες τις πτυχές της τελικής και πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς και να παρέχουν εκτιμήσεις των αναμενόμενων και επιτευχθεισών ενεργειακών εξοικονομήσεων (Οδηγία 2012/27/ΕΕ). Κάθε ΕΣΔΕΑ χρησιμοποιείται ως ένα εργαλείο ενεργειακής πολιτικής,

συνεισφέροντας στη συνάθροιση συγκρίσιμων αποτελεσμάτων, στην κατεύθυνση μίας κοινής και αποτελεσματικής Ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής.

Στην Ελλάδα, το τρίτο ΕΣΔΕΑ κατατέθηκε τον Δεκέμβριο 2014 (ως ενημέρωση των προηγούμενων το 2008 και 2011), ως το πρώτο εθνικό σχέδιο δράσης υπό το πρίσμα της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ. Ο εθνικός στόχος ενεργειακής αποδοτικότητας για το 2020 (για επίτευξη 20% εξοικονόμησης στο Ευρωπαϊκό επίπεδο) τέθηκε στα 18.4 ΜΤΟΕ τελικής ενεργειακής κατανάλωσης· στα 24.7 ΜΤΟΕ πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης· και στα 0.081 και 0.109 kΤΟΕ/€ ενεργειακής έντασης τελικής και πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης αντίστοιχα. Οι ετήσιοι και συσσωρευτικοί στόχοι για το 2020, αναφορικά με την τελική ενεργειακή κατανάλωση, παρουσιάζονται στον Πίνακα 12.4.

Πίνακας 12.4 Εθνικοί στόχοι εξοικονόμησης ενέργειας για την Ελλάδα, 2014 – 2020.

Έτος	Ετήσια εξοικονόμηση (kΤΟΕ)						Συσσωρευτική ετήσια εξοικονόμηση (kΤΟΕ)
2014	100.2						100.2
2015	100.2	100.2					200.5
2016	100.2	100.2	125.3				325.8
2017	100.2	100.2	125.3	125.3			451.0
2018	100.2	100.2	125.3	125.3	150.3		601.4
2019	100.2	100.2	125.3	125.3	150.3	150.3	751.7
2020	100.2	100.2	125.3	125.3	150.3	150.3	902.1
Συσσωρευτική συνολική εξοικονόμηση							3,332.7

Οι ενδιάμεσες περίοδοι που τέθηκαν ώστε να βεβαιώνεται και να εποπτεύεται η πρόοδος ήταν: (α) 2014 – 2015, με τον ενδιάμεσο συσσωρευτικό στόχο εξοικονόμησης 300.7 kΤΟΕ (3.5 TWh)· και (β) 2016-2018, με τον ενδιάμεσο συσσωρευτικό στόχο εξοικονόμησης 1,768.9 kΤΟΕ (19.5 TWh) ([Ministry of Environment and Energy, 2014](#)). Για την επίτευξη αυτών των στόχων, το ΕΣΔΕΑ εισήγαγε δεκαοχτώ μέτρα πολιτικής για την επίτευξη ενεργειακών εξοικονομήσεων αποκλειστικά στο επίπεδο του τελικού καταναλωτή, χωρίς την επιβολή υποχρεωτικών μέτρων στους πωλητές και διανομείς ηλεκτρισμού. Σύμφωνα με την ετήσια έκθεση που κατατέθηκε από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας για την πρόοδο που σημειώθηκε το έτος 2015, διαπιστώθηκε μία αρνητική απόκλιση της τάξεως του 36% (ή 108.4 kΤΟΕ) από τον ενδιάμεσο στόχο ([Ministry of Environment and Energy, 2016](#)). Ως εκ τούτου, περαιτέρω προσπάθειες μετριασμού απαιτούντο για την επαναφορά της πρόοδου στην τροχιά του εθνικού στόχου. Αυτή η διαπίστωση συνθέτει το πλαίσιο της παρούσας μελέτης, σκοπός της οποίας είναι η υποστήριξη της ανακατασκευής των μέτρων πολιτικής και του προσδιορισμού του βέλτιστου χαρτοφυλακίου πολιτικής, χωρίς να παραβλέπονται οι διαθέσιμοι προϋπολογιστικοί περιορισμοί ή οι σχετικοί κίνδυνοι υλοποίησης και οι υποκείμενες αβεβαιότητες.

12.2.2 Μέτρα πολιτικής

Ο εθνικός στόχος εξοικονόμησης ενέργειας για το 2018 – 2020 τίθεται ίσος με 1,819 kΤΟΕ, υπολογισμένος λαμβάνοντας υπόψιν (i) τον συνολικό στόχο των 3,332 kΤΟΕ για την περίοδο 2014 – 2020 σύμφωνα με το 3^ο ΕΣΔΕΑ της χώρας, (ii) τις εξοικονομήσεις ενέργειας που είχαν ήδη επιτευχθεί την περίοδο 2014 – 2017 (1,281 kΤΟΕ), και (iii) την προκαθορισμένη συνεισφορά του μέτρου των

καθεστώτων επιβολής (232 kTOE). Τα υπό εξέταση μέτρα πολιτικής, για την επίτευξη του στόχου αυτού, περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- M1. Πρόγραμμα "Εξοικονόμηση Κατ' Οίκον"

Το πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ' οίκον» έχει ως στόχο την υποστήριξη δράσεων ενεργειακής αναβάθμισης των κατοικιών συμπεριλαμβανομένων τόσο των μονοκατοικιών όσο και των διαμερισμάτων ή πολυκατοικιών. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα παρέχει χρηματοπιστωτική υποστήριξη στους δικαιούχους του, μέσω τμηματικής επιδότησης συνδυασμένης με δηνυτική δανειοδότηση από ένα από τα συμβαλλόμενα με το πρόγραμμα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα. Τα κριτήρια επιλεξιμότητας που εφαρμόζονται αφορούν τόσο την αρχική ενεργειακή κατηγορία της κατοικίας όσο και την εισοδηματική κατάσταση του δικαιούχου. Τέλος, οι δράσεις που υποστηρίζονται από το πρόγραμμα πρέπει να οδηγούν σε συγκεκριμένη ενεργειακή αναβάθμιση της κατοικίας και αφορούν σε παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης τόσο του κελύφους των κατοικιών όσο και των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού χρήσης.

- M2. Ενεργειακή αναβάθμιση δημοσίων κτιρίων

Το πρόγραμμα ενεργειακής αναβάθμισης δημοσίων κτιρίων αφορά σε παρεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε υφιστάμενα δημόσια κτίρια. Ειδικότερα, αυτές περιλαμβάνουν παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης του κτιριακού κελύφους, ενεργειακής αναβάθμισης των Η/Μ εγκαταστάσεων, αναβάθμισης του συστήματος φυσικού και τεχνητού φωτισμού και εγκατάστασης συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης, ενώ το ποσοστό της χρηματοδότησης δηνυτικά μπορεί να φθάσει έως το 100% του συνολικού κόστους.

- M3. Έργα ενεργειακής απόδοσης και επίδειξης σε ΜΜΕ και μέτρα στήριξης

Το πρόγραμμα έχει ως τελικούς δικαιούχους τις ΜΜΕ και στοχεύει στην ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων τους. Ειδικότερα οι δράσεις αφορούν σε παρεμβάσεις ενεργειακής αναβάθμισης του κτιριακού κελύφους, ενεργειακής αναβάθμισης των Η/Μ εγκαταστάσεων, αναβάθμισης του συστήματος φυσικού/τεχνητού φωτισμού, και εγκατάστασης συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα παρέχει χρηματοδοτική υποστήριξη στους δικαιούχους του μέσω τμηματικής επιδότησης, το ποσοστό της οποίας κυμαίνεται ανάλογα με την γεωγραφική θέση του δικαιούχου, τον συνδυασμό των παρεμβάσεων καθώς και την κατάταξη/μέγεθος της ΜΜΕ.

- M4. Εφαρμογή συστήματος ενεργειακής διαχείρισης με βάση το πρότυπο ISO 50001 σε φορείς του Δημοσίου και ευρύτερου δημόσιου τομέα

Το πρόγραμμα αφορά στη χρηματοδότηση των φορέων του Δημοσίου και ευρύτερου δημόσιου τομέα με στόχο την εφαρμογή συστήματος ενεργειακής διαχείρισης και πιστοποίηση των κτιρίων τους σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 50001.

- M5. Ενεργειακή αναβάθμιση σε κτίρια επαγγελματικής χρήσης μέσω ΕΕΥ

Το πρόγραμμα στοχεύει στην περαιτέρω ανάπτυξη της αγοράς των ενεργειακών υπηρεσιών μέσω συμβάσεων ενεργειακής απόδοσης. Ειδικότερα το πρόγραμμα παρέχει ευνοϊκές συνθήκες δανειοδότησης των εταιρειών ενεργειακής υπηρεσιών (ΕΕΥ) μέσω επιδοτούμενων επιτοκίων ή παροχής εγγυήσεων, με στόχο την υλοποίηση έργων ενεργειακής αναβάθμισης σε κτίρια επαγγελματικής χρήσης

τα οποία θα αποπληρώνονται σταδιακά μέσω της επιτευχθείσας εξοικονόμησης και σύμφωνα με τα οριζόμενα στην σύμβαση ενεργειακής απόδοσης.

- M6. Ανάπτυξη ευφών συστημάτων μέτρησης ενέργειας

Το πρόγραμμα αφορά στην ευρείας κλίμακας αντικατάσταση υφιστάμενων συστημάτων μέτρησης της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στο Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας από τον Διαχειριστή (ΔΕΔΔΗΕ), με αντίστοιχα ευφυή συστήματα, η οποία αποσκοπεί ιδίως στη δυνατότητα ενεργού συμμετοχής των καταναλωτών στην αγορά ενέργειας αλλά και γενικότερα στην αποτελεσματικότερη και οικονομικότερη διαχείριση της.

- M7. Δράσεις ΕΠΠΕΡΑΑ / ΥΜΕΠΠΕΡΑΑ

Το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Περιβάλλον - Αειφόρος Ανάπτυξη» (ΕΠΠΕΡΑΑ) εντάσσεται στο ΕΣΠΑ 2007 – 2013 ενώ το αντίστοιχο Πρόγραμμα «Υποδομές Μεταφορών, Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη» (ΥΜΕΠΠΕΡΑΑ) στο ΕΣΠΑ 2014 – 2020 και περιλαμβάνουν μια σειρά δράσεων, έργων περιβαλλοντικών υποδομών μεγάλης κλίμακας και δράσεις εθνικής εμβέλειας, η υλοποίηση των οποίων συμβάλει στην αειφορική διαχείριση των περιβαλλοντικών μέσων, του φυσικού αποθέματος και των αστικών κέντρων. Στρατηγικός στόχος τους είναι η προστασία και αναβάθμιση του περιβάλλοντος ώστε να αποτελέσει το υπόβαθρο για την άνοδο της ποιότητας ζωής των πολιτών καθώς και η βελτίωση της ανταγωνιστικότητας της οικονομίας. Οι συγκεκριμένες δράσεις του προγράμματος που εντάσσονται στο μέτρο αυτό αφορούν συγκεκριμένα σε παρεμβάσεις βελτίωσης ενεργειακής αποδοτικότητας.

- M8. Συμψηφισμός προστίμων αυθαιρέτων

Το μέτρο αναφέρεται στις επιτευχθείσες εξοικονομήσεις ενέργειας από τις παρεμβάσεις που υλοποιούνται σύμφωνα με το καθεστώς που ορίζεται από το Άρθρο 20 του Νόμου 4178/2013. Ειδικότερα βάση του εν λόγω άρθρου δίνεται η δυνατότητα να εφαρμόζεται συμψηφισμός των ποσών που καταβάλλονται για αμοιβές υπηρεσιών, εργασίες και υλικά για την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων με τα ποσά του ειδικού προστίμου που προβλέπονται στον προαναφερθέντα νόμο και έως το ποσοστό 50% του προβλεπόμενου ειδικού προστίμου.

- M9. Ενεργειακοί υπεύθυνοι και σχέδια δράσης ενεργειακής αποδοτικότητας (ΣΔΕΑ) σε κτίρια του ευρύτερου δημόσιου τομέα

Το μέτρο αναφέρεται στην επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας από την εφαρμογή των καθηκόντων των ενεργειακών υπευθύνων των δημοσίων κτιρίων όπως αυτά ορίζονται στην Υπουργική Απόφαση Αριθμ. Δ6/Β/14826/ 2008 καθώς και μέσω της υλοποίησης των σχεδίων ενεργειακής απόδοσης για τα κτίρια των περιφερειών και δήμων σύμφωνα με τα οριζόμενα στο Άρθρο 7, παρ. 12 του Νόμου 4342/2015.

- M10. Τηλεθέρμανση

Το μέτρο αφορά στην επιτευχθείσα εξοικονόμηση ενέργειας από την επέκταση του δικτύου τηλεθέρμανσης πόλεων μέσω του προγράμματος ΕΠΠΕΡΡΑ και ΥΜΕΠΠΕΡΡΑ. Ειδικότερα αφορά στις εξοικονομήσεις ενέργειας από την ολοκληρωμένη επέκταση του δικτύου Πτολεμαΐδας και Αμυνταίου καθώς και τις σχεδιαζόμενες επεκτάσεις των δικτύων τηλεθέρμανσης Φλώρινας και Κοζάνης.

- Μ11. Αντικατάσταση παλαιών ελαφριών φορτηγών δημοσίου και ιδιωτικού τομέα

Το μέτρο εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο δράσεων παροχής κινήτρων για την απόσυρση των οχημάτων παλαιάς τεχνολογίας ή μεγάλης ηλικίας με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και την ανανέωση και εκσυγχρονισμό του στόλου ελαφριών φορτηγών δημοσίου και ιδιωτικού τομέα, ενώ τα κίνητρα απόσυρσης κλιμακώνονται με την κατηγορία και τον κυβισμό του οχήματος που αποσύρεται.

- Μ12. Αντικατάσταση παλαιών επιβατικών οχημάτων ιδιωτικού τομέα

Το μέτρο εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο δράσεων παροχής κινήτρων για την απόσυρση των οχημάτων παλαιάς τεχνολογίας ή μεγάλης ηλικίας με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και την ανανέωση και εκσυγχρονισμό του στόλου επιβατικών οχημάτων ιδιωτικού τομέα, ενώ τα κίνητρα απόσυρσης κλιμακώνονται με την κατηγορία και τον κυβισμό του οχήματος που αποσύρεται.

- Μ13. Οδοφωτισμός

Το πρόγραμμα στοχεύει στην μείωση της αυξημένης ενεργειακής κατανάλωσης και του σχετιζόμενου λειτουργικού κόστους που αντιμετωπίζουν οι οργανισμοί τοπικής αυτοδιοίκησης για την κάλυψη των αναγκών του οδοφωτισμού. Το πρόγραμμα παρέχει χρηματοδότηση μέσω δανεισμού για την ενεργειακή αναβάθμιση των δικτύων του δημοτικού οδοφωτισμού και υλοποιείται από το Ταμείο Παρακαταθηκών και Δανείων σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων καθώς και με την τεχνική υποστήριξη του ΚΑΠΕ.

- Μ14. Αντλιοστάσια

Το πρόγραμμα στοχεύει στην μείωση της αυξημένης ενεργειακής κατανάλωσης και του σχετιζόμενου λειτουργικού κόστους που αντιμετωπίζουν οι δήμοι και οι δημοτικές υπηρεσίες ύδρευσης για την άντληση των υδάτων. Ειδικότερα το πρόγραμμα παρέχει χρηματοδότηση μέσω δανεισμού για την ενεργειακή αναβάθμιση των αντλιοστασίων.

- Μ15. ΠΕΑ

Το συγκεκριμένο μέτρο αναφέρεται στην εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται μέσω της ενημέρωσης και αλλαγής της συμπεριφοράς των ιδιοκτητών ή ενοικιαστών κτιρίων που εκδίδουν ενεργειακά πιστοποιητικά (ΠΕΑ), μη έχοντας υποχρέωση, επηρεαζόμενοι από την διάδοση του μέτρου μέσω των δράσεων προώθησης του υπουργείου.

12.2.3 Το αβέβαιο ελληνικό περιβάλλον

Το ρυθμιστικό πλαίσιο στην Ελλάδα καθαυτό είναι αβέβαιο: μία επισκόπηση του παρελθοντικού μονοπατιού υποδεικνύει ότι, όσον αφορά την ενεργειακή αποδοτικότητα, η χώρα έχει σημειώσει σημαντικές καθυστερήσεις στην υιοθέτηση των Κοινοτικών Οδηγιών σε εθνικό επίπεδο. Μετά τον σχετικά γρήγορο καθορισμό των απαιτήσεων θερμικής μόνωσης στα κτίρια το 1979, η πρώτη αξιοσημείωτη πολιτική στη χώρα υπήρξε η αργοπορημένη υιοθέτηση της Κοινοτικής Οδηγίας του 1993 για τον περιορισμό των εκπομπών άνθρακα μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας, το 1998. Αντίστοιχα, ο Ν. 3661/2008 έθεσε την Οδηγία 2002/91/ΕΕ σε ισχύ, καθορίζοντας τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης, εισάγοντας τα ΠΕΑ και κάνοντας αναφορά σε πιστοποιημένους ενεργειακούς επιθεωρητές. Ο νόμος αυτός τροποποιήθηκε το 2010, ώστε να προβλέπει την εφαρμογή

ΚΣΕΔ σε όλα τα δημόσια κτίρια. Παρότι η υιοθέτηση του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK) το 2010 θεωρείται ορόσημο στην εθνική στρατηγική για την ενεργειακή αποδοτικότητα, ο οποίος έχει έκτοτε αναβαθμιστεί βάσει εξελίξεων σε Κοινοτικό επίπεδο, ήταν ο Ν. 4342/2015 που υιοθέτησε καθυστερημένα τους στόχους της ΕΕ για το 2020 (Οδηγία 2012/27/ΕΕ). Αυτό το ιστορικό των σημαντικών καθυστερήσεων στην υιοθέτηση των Ευρωπαϊκών Οδηγιών στο εθνικό πλαίσιο πολιτικής μπορεί από μόνο του να θεωρηθεί ως αβεβαιότητα για τις μελλοντικές εξελίξεις τόσο στο πεδίο της ενεργειακής πολιτικής όσο και σε αυτό της κλιματικής δράσης.

Αναφορικά με την ηλεκτροπαραγωγή σε επίπεδο νοικοκυριού, η οποία θα μπορούσε να αποδειχθεί καθοριστικής σημασίας μέσο επίτευξης των στόχων ΑΠΕ και έχει ενσωματωθεί σε προγράμματα βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας, μεγάλες επενδύσεις έλαβαν χώρα σε μία περίοδο γενναιόδωρων οικονομικών κινήτρων για την ενίσχυση της διάχυσης της ηλιακής ενέργειας (2008-2012), όπως αναλύεται διεξοδικά στο [Κεφάλαιο 8](#). Αυτό εν τέλει οδήγησε σε ένα σημαντικό οικονομικό εμπόδιο για την κυβέρνηση. Εξαιτίας αυτού του ολοένα αυξανόμενου ελλείμματος, η κυβέρνηση προχώρησε σε μία μείωση 12.5% στον μηχανισμό στήριξης εγκαταστάσεων ΦΒ που ξεκίνησαν μετά τον Φεβρουάριο 2012 και σε μία ακόμη μεγαλύτερη μείωση (44%) στις επιδοτήσεις των ηλιακών μονάδων παραγωγής που εγκαταστάθηκαν μετά τον Ιανουάριο 2013. Μάλιστα, ήταν μόνο τα ελκυστικά συμβόλαια Feed In Tariff σε ισχύ που διατήρησαν την ορμή της ανάπτυξης της ηλιακής ενέργειας το 2013, παρά την οικονομική ύφεση και τις δυσμενείς αλλαγές των μηχανισμών στήριξης. Οι τελευταίες, σε συνδυασμό με ένα πάγωμα των διαδικασιών αποδοχής και επεξεργασίας των αιτήσεων για νέες επενδύσεις στην ηλιακή ενέργεια μεταξύ Αυγούστου 2012 και Απριλίου 2014, καθώς και μία απρόσμενη στροφή προς νέες λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, διαμορφώνουν το υπόβαθρο ενός διαρκώς μεταβαλλόμενου ρυθμιστικού περιβάλλοντος και ενός βαθμού δυσπιστίας σε αυτό.

Επίσης, η κοινή αντίληψη περί κλιματικής αλλαγής και της επείγουσας ανάγκης μετριασμού των επιδράσεων αυτής φαίνεται επίσης να μεταβάλλεται σε μία περίοδο οικονομικής κρίσης. Συγκεκριμένα, η συντριπτική πλειοψηφία των Ελλήνων εμφανίζονταν ιδιαίτερα ενήμεροι επί των περιβαλλοντικών και κλιματικών προβλημάτων και, στο ξέσπασμα της ύφεσης, θεωρούσαν την κλιματική αλλαγή ως το υπέρτατο παγκόσμιο πρόβλημα ([European Commission, 2008](#)). Ωστόσο, πέντε έτη αργότερα, οι τάσεις αντιστράφηκαν, με την φτώχεια και την ευρύτερη οικονομική κατάσταση να κερδίζουν δραματικά έδαφος στις ανησυχίες των πολιτών συγκριτικά με την κλιματική αλλαγή ([European Commission, 2013](#)). Την ίδια στιγμή, οι πολίτες τώρα εμφανίζονται να έχουν πολύ περιορισμένη εμπιστοσύνη στις αρχές αλλά και τις μεγάλες επιχειρήσεις αναφορικά με τη δυνατότητα αλλά και προθυμία τους να αντιμετωπίσουν την κλιματική αλλαγή ([Papoulis et al., 2015](#)). Η αβέβαιη κοινωνική συνοχή προσθέτει στο ήδη αβέβαιο πλαίσιο των ελληνικών προσπαθειών για εξοικονόμηση ενέργειας και απαγκίστρωση από τον άνθρακα, καθώς μία έλλειψη κοινωνικής αποδοχής θα μπορούσε να μειώσει την εισαγωγή και διάχυση τεχνικά και οικονομικά εφικτών τεχνολογικών επιλογών, καθώς και την επιτυχή υλοποίηση των κατά τα άλλα προτιμητέων μέτρων πολιτικής. Ειδικά όσον αφορά στην βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας στον οικιακό και τον εμπορικό τομέα, πολλά από τα μέτρα που λαμβάνονται υπόψιν εξαρτώνται από την συμπεριφορική αλλαγή και βασίζονται σημαντικά σε πρωτοβουλίες που οι αποφασίζοντες, σε μικρή κλίμακα, είναι ελεύθεροι να υλοποιήσουν ή να αγνοήσουν.

Τέλος, η Ελλάδα αντιμετωπίζει επίσης αντίστοιχες προκλήσεις και αβεβαιότητες στις οικονομικές και πολιτικές διαστάσεις, με προεκτάσεις και για το ενεργειακό μέτωπο ([Doukas et al., 2014](#)). Πρόκειται για μία χώρα που χτυπήθηκε σφοδρά από την κρίση του 2008, η οποία οδήγησε σε μία συνολική απώλεια προϊόντος της τάξης του 30% από την έναρξη της ύφεσης, με το 45% του πληθυσμού να ζει κάτω από το όριο της φτώχειας (σε πραγματικούς όρους του 2008), και σε κοινωνικές ανισότητες. Αυτό

είχε μακροχρόνιες κοινωνικές επιπτώσεις (Kaplanoglou and Rapanos, 2018). Ως εκ τούτου, η Ελλάδα πέρασε σημαντική πολιτική αστάθεια, και ακόμη θεωρείται ότι αντιμετωπίζει κρίση πολιτικής εκπροσώπησης (Stavrakakis and Katsambekis, 2018). Ένα παραπροϊόν αυτής της αστάθειας υπήρξε η απροσδόκητη ανακοίνωση της κατασκευής νέων λιγνιτικών μονάδων παραγωγής, των Ptolemaida V και Meliti II, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος που ξεπερνά το 1 GW (Simoglou et al., 2018), καλλιεργώντας ανησυχίες και επιφυλάξεις σχετικά με το πόσο αποφασισμένη είναι η ελληνική κυβέρνηση να ανταποκριθεί στις ενεργειακές και κλιματικές δεσμεύσεις της.

Με βάση αυτές τις συνθήκες, προκύπτουν πολλές κρίσιμες ερωτήσεις. Θα είναι η Ελλάδα πολιτικά και οικονομικά ικανή να υποστηρίξει ή/και επιδοτήσει βραχυπρόθεσμες εξελίξεις και μακροπρόθεσμες πράσινες μεταβάσεις; Ακόμη κι αν είναι, θα έχουν οι πολίτες την οικονομική δυνατότητα και την επαρκή εμπιστοσύνη στη σταθερότητα του πλαισίου πολιτικής για να αξιοποιήσουν τους μηχανισμούς στήριξης; Γίνεται εμφανές ότι αυτές οι αβεβαιότητες δύνανται να επιτρέψουν τη δημιουργία σημαντικών κινδύνων υλοποίησης του ρυθμιστικού πλαισίου, ή την πραγμάτωση αρνητικών συνεπειών αυτού.

12.2.4 Προκλήσεις και κίνδυνοι στο βραχυπρόθεσμο και μεσοπρόθεσμο μέλλον

Υπό το πρίσμα των εθνικών μεσοπρόθεσμων δεσμεύσεων ενεργειακής αποδοτικότητας και με αφετηρία τα μέτρα πολιτικής (Ενότητα 12.2.2) και τις αβεβαιότητες της ελληνικής πραγματικότητας (Ενότητα 12.2.3), αναφορικά με την ενεργειακή αποδοτικότητα στη χώρα, πραγματοποιήθηκαν συζητήσεις με εμπειρογνώμονες του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας. Οι συζητήσεις αυτές αφορούσαν στην αποτύπωση των σημαντικότερων κινδύνων που απορρέουν από τις αβεβαιότητες αυτές και απειλούν την επιτυχή υλοποίηση των επιλεχθέντων μέτρων.

Οι εμπειρογνώμονες εμφανίστηκαν να ενδιαφέρονται κατά βάση για τους εξωγενείς παράγοντες που θέτουν προκλήσεις στην επιτυχή υλοποίηση ενός νέου πλαισίου πολιτικής, δηλαδή για τους εξωγενείς κινδύνους. Αυτό κατά βάση οφείλεται στο γεγονός ότι ο χρονικός ορίζοντας των συζητήσεων, δηλαδή 3-10 έτη, δεν θεωρήθηκε αρκετά μεγάλος για τη θεώρηση και αξιόπιστη αξιολόγηση των πιθανών αρνητικών συνεπειών ενός τέτοιου πλαισίου ενεργειακής πολιτικής.

Οι ειδικοί του Υπουργείου συμφώνησαν ότι μία σημαντική πρόκληση για οποιαδήποτε στρατηγική περιστρέφεται γύρω από την ενεργειακή αποδοτικότητα στην Ελλάδα βρίσκεται στην κοινωνική αντίληψη. Οι πολίτες πρέπει, πρωτίστως, να κατανοήσουν τα οφέλη της βιώσιμης χρήσης ενέργειας· κάτι τέτοιο δεν είχε γίνει στο παρελθόν επιτυχώς, και αυτός ο τύπος περιορισμένης επίγνωσης θεωρείται κίνδυνος για την υλοποίηση των αντίστοιχων μέτρων στον οικιακό τομέα, ο οποίος καλύπτει περίπου το 79% του συνολικού κτιριακού τομέα της χώρας (Gaglia et al., 2017). Φαίνεται να υπάρχει μία γνωστική αντιστάθμιση μεταξύ των οφελών που σχετίζονται με την υιοθέτηση μίας βιώσιμης ενεργειακής συμπεριφοράς και της εμπιστοσύνης που έχουν τα νοικοκυριά στην ικανότητα της κυβέρνησης να διατηρήσει ένα σταθερό ρυθμιστικό πλαίσιο που αποζημιώνει τους πολίτες για αυτήν τους τη συμπεριφορά. Παρά το γεγονός αυτό, συγκριτικά με άλλες πιθανές δράσεις, τα οικονομικά κίνητρα για εξοικονόμηση ενέργειας και οι σχετικοί μηχανισμοί (και, επομένως, οποιαδήποτε πρωτοβουλία στοχεύει στον οικιακό τομέα) προς το παρόν παρουσιάζουν το υψηλότερο επίπεδο ικανοποίησης και επομένως δεν θεωρούνται πρώτη προτεραιότητα από το κράτος για να κάνει περισσότερα (Zerva et al., 2018).

Αρνητικές εμπειρίες του παρελθόντος, όπως ο πρώτος μηχανισμός «Εξοικονόμηση κατ' οίκον» για κατοικίες, πρέπει να ληφθούν υπόψιν κατά τον σχεδιασμό μελλοντικών μηχανισμών στήριξης. Έως τώρα, τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα, έχοντας τον ρόλο του μεσάζοντα, δεν έχουν υποστηρίξει επαρκώς τις διαδικασίες, προσθέτοντας στην ήδη επιβαρυνόμενη γραφειοκρατία που σχετίζεται με τις αιτήσεις για τέτοια προγράμματα. Εξαιτίας του αρνητικού οικονομικού περιβάλλοντος, ο τραπεζικός τομέας επίσης θεωρείται ανεπαρκής στην προώθηση σχετικών ανακαινίσεων και παρεμβάσεων από οικονομικής πλευράς.

Σε παρόμοιο επίπεδο, οι εμπειρογνώμονες συλλογικά υπερτόνισαν την υφιστάμενη δυσκολία που αντιμετωπίζει η πλειοψηφία του πληθυσμού να επενδύσει σε κτιριακές ανακαινίσεις, πόσο μάλλον σε κατασκευές ΚΣΜΚΕ. Ο κατασκευαστικός τομέας έχει σχεδόν αδρανοποιηθεί, εξαιτίας της συνεχιζόμενης ύφεσης, καθώς και σημαντικών φορολογικών βαρών που επιβλήθηκαν στο πλαίσιο της λιτότητας. Τέτοιου είδους φορολογικές επιλογές φαίνεται πως αποτελούν σταθερές στις κυβερνητικές προτεραιότητες τα τελευταία έτη, οι οποίες περιγράφονται από τους εμπειρογνώμονες ως πολιτικά ασταθείς, στον βαθμό που θα μπορούσαν να αποτελέσουν τροχοπέδη στη συνέπεια της υλοποίησης του πλαισίου ενεργειακής πολιτικής. Ορισμένοι ειδικοί, μάλιστα, υποστήριξαν ότι στο πιο πρόσφατο παρελθόν η χάραξη πολιτικής έχει διενεργηθεί απρόσεκτα. Εν τέλει, αυτή η παρατήρηση επισημαίνει τον κίνδυνο ενός ρυθμιστικού πλαισίου ιδιαίτερα απαιτητικού για την ωριμότητα της αγοράς, το οποίο δεν θα προσελκύει επιτυχώς επενδύσεις.

Τα περισσότερα μέτρα στο παρελθόν εστίασαν στην ενεργειακή αποδοτικότητα σε κτίρια του δημοσίου τομέα, τόσο για την κεντρική διοίκηση όσο και για την τοπική αυτοδιοίκηση. Παρότι αυτό δεν θεωρείται γενικώς ως ένα παράδειγμα κακής προτεραιοποίησης, ο κίνδυνος της μη ευθυγράμμισης των ενδιαφερόντων των τοπικών αρχών με τις εθνικές δεσμεύσεις και οδηγίες της κεντρικής κυβέρνησης οφείλει να αναγνωριστεί. Ένα πρόσφατο παράδειγμα μπορεί να βρεθεί στην έκδοση των ΠΕΑ, όπου δεν υπήρξαν δράσεις συντονισμού μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων ή/και μεταξύ της κεντρικής κυβέρνησης και της τοπικής αυτοδιοίκησης, ώστε να διασφαλιστεί η συνοχή και διαφανής υλοποίηση (Spyridaki et al., 2016).

Τελικά, για την ανάληψη επαρκούς δράσης, είναι σημαντικό να κατανοηθούν οι κίνδυνοι που σχετίζονται με καθένα εκ των μέτρων πολιτικής που εξετάζονται από το Υπουργείο για την κατάρτιση των ΕΣΔΕΑ, όπως αυτά περιγράφονται παραπάνω (Ενότητα 12.2.2). Τέτοιοι κίνδυνοι που σχετίζονται με ένα, περισσότερα ή όλα εκ των δεκαπέντε υπό εξέταση μέτρων πολιτικής περιλαμβάνουν, επομένως, την ανικανότητα των αρχών σε δημοτικό/περιφερειακό επίπεδο να ευθυγραμμίσουν τις προτεραιότητές τους με τις υποχρεώσεις της κεντρικής διοίκησης· την πολιτική αστάθεια· τις περίπλοκες γραφειοκρατικές διαδικασίες· το απαιτητικό ρυθμιστικό πλαίσιο σε σχέση με την ωριμότητα της αγοράς· τον ανεπαρκή τραπεζικό τομέα· την περιορισμένη κοινωνική αποδοχή· το μη επαρκώς καταρτισμένο προσωπικό· και τις δυσμενείς αγοραίες συνθήκες.

Ο πιο κρίσιμος κίνδυνος φαίνεται να αφορά στην πολύπλοκη γραφειοκρατία που απαιτείται για την αίτηση, έγκριση, χρηματοδότηση και υλοποίηση των περισσότερων εκ των εξεταζόμενων πολιτικών. Είναι αξιοσημείωτο ότι αυτός ο κίνδυνος φαίνεται να θεωρείται ως ο κρισιμότερος όλων και όχι μόνο για τις πολιτικές που στοχεύουν στον οικιακό και τον εμπορικό τομέα, αλλά και για ορισμένες πολιτικές που περιλαμβάνουν ευθύνες και δράσεις από πλευράς της κεντρικής διοίκησης και της τοπικής αυτοδιοίκησης. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι, ειδικά σε σχέση με τις τελευταίες, οι εμπειρογνώμονες τονίζουν τη σημασία της διαφανούς και αποτελεσματικής επικοινωνίας και συντονισμού μεταξύ των

διαφόρων φορέων για σχεδόν όλα τα μέτρα πολιτικής που λειτουργούν σε επίπεδο δήμων ή περιφερειών.

Κίνδυνοι οικονομικής φύσεως, και συγκεκριμένα η ανεπάρκεια των εμπλεκόμενων χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων να υποστηρίξουν τις παρεμβάσεις καθώς και το δυσμενές οικονομικό περιβάλλον, μπορούν επίσης να αποβούν καθοριστικοί για την επιτυχή υλοποίηση των μέτρων πολιτικής που στοχεύουν στον οικιακό και τον εμπορικό τομέα. Ανειδίκευτο προσωπικό και ανεπαρκείς τεχνικές δεξιότητες, τα οποία απαιτούνται σε όλα τα στάδια των ανακαινίσεων, αποτελούν έναν ακόμη σημαντικό κίνδυνο. Μάλιστα, αυτός ο κίνδυνος θεωρήθηκε από τους συμμετέχοντες εμπειρογνώμονες να εμποδίζει ενδεχομένως όχι μόνο την επιτυχή εγκατάσταση και διαχείριση των ΚΣΕΔ στα κτίρια του ευρύτερου δημόσιου τομέα, αλλά και την ορθή ενημέρωση του κοινού για τα οφέλη των σχετικών δράσεων.

Από τους υπόλοιπους κινδύνους υλοποίησης, η πολιτική αστάθεια δεν θεωρήθηκε κρίσιμη για κανένα εκ των δεκαπέντε μέτρων πολιτικής. Αυτό μπορεί εν μέρει να αποδοθεί στο γεγονός ότι οποιαδήποτε κρίση στο πολιτικό σκηνικό μπορεί να αντικατοπτριστεί στην κοινωνική αποδοχή, δεδομένου του μικρού χρονικού ορίζοντα και της εξίσου περιορισμένης δυνατότητας δραστικών μεταβολών του ρυθμιστικού πλαισίου.

12.3 Μεθοδολογική Προσέγγιση

12.3.1 Διαμόρφωση του προβλήματος

Σαν ένα πρώτο βήμα του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, πρέπει να οριστεί το μοντέλο του διστοχικού μαθηματικού προγραμματισμού. Τα δύο κριτήρια βελτιστοποίησης, ή αλλιώς οι αντικειμενικές συναρτήσεις, είναι: (α) η μεγιστοποίηση των ενεργειακών εξοικονομήσεων του χαρτοφυλακίου, για δεδομένο προϋπολογισμό, ή η ελαχιστοποίηση του κόστους του χαρτοφυλακίου, με δεδομένο τον στόχο ενεργειακής αποδοτικότητας, και (β) η ελαχιστοποίηση του συνολικού κινδύνου του χαρτοφυλακίου. Ωστόσο, το πρόβλημα μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να ενσωματώνει διαφορετικές διαστάσεις και κριτήρια βελτιστοποίησης, όπως τα κοινωνικά οφέλη, την ανεργία, κλπ.

Μετά την επιλογή των κριτηρίων αξιολόγησης, καθορίζονται τα μέτρα ή οι στρατηγικές πολιτικής προς αξιολόγηση, προσδιορίζονται οι σχετικοί κίνδυνοι και επιλέγονται οι παράμετροι του μοντέλου, οι τιμές των οποίων παραμένουν αβέβαιες.

12.3.2 Συγκέντρωση δεδομένων από το μοντέλο ενεργειακού συστήματος

Για τις ανάγκες μακροπρόθεσμης μοντελοποίησης του εθνικού ενεργειακού συστήματος, το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας χρησιμοποιεί ένα μοντέλο TIMES για την Ελλάδα, το οποίο έχει επιλεγεί από το ΚΑΠΕ. Το TIMES (Loulou et al., 2005) είναι ένα από κάτω προς τα πάνω, καθοδηγούμενο από τη ζήτηση πλαίσιο μοντελοποίησης ενεργειακής βελτιστοποίησης, το οποίο προσδιορίζει τον συνδυασμό των τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής ελαχίστου κόστους και τους ενεργειακούς τύπους που εξυπηρετούν την ενεργειακή ζήτηση υπό περιορισμούς μέσω συγκεκριμένων υποθέσεων (Nikas et al., 2019a). Το Υπουργείο βασίζει την ανάλυση της προόδου αναφορικά με τους στόχους ενεργειακής αποδοτικότητας, όπως ορίζονται στο Άρθρο 7 της Οδηγίας, σε δεδομένα που προέρχονται από (i) μία ex-post ανάλυση των ήδη υλοποιημένων πολιτικών, (ii) υπολογισμούς με βάση το μοντέλο TIMES για

την Ελλάδα, (iii) άλλους επιστημονικούς υπολογισμούς με βάση τον τύπο της τεχνολογίας και το προτεινόμενο χρηματοδοτικό πρόγραμμα, και (iv) συνδυασμούς των παραπάνω (Ministry of Environment and Energy 2014, 2017).

Όλα τα τεχνικά δεδομένα από τις εξετασθείσες πολιτικές, όπως τα κόστη και οι ετήσιες εξοικονομήσεις ανά παρέμβαση και ο αριθμός των δυνατών παρεμβάσεων κατ' έτος, παρέχονται από το υπουργείο ως τα επίσημα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την προετοιμασία του αντίστοιχου μέρους του 4^{ου} ΕΣΔΕΑ της Ελλάδας.

Τέλος, προκειμένου να αξιολογηθούν αποτελεσματικά οι πολιτικές έναντι των υποκείμενων κινδύνων υλοποίησης (Ενότητα 12.2.4), έλαβε χώρα εκτεταμένη διαβούλευση με τα ενδιαφερόμενα μέρη, με τη μορφή δομημένων ερωτηματολογίων. Μέσω της εξαγωγής της γνώσης των εμπειρογνομόνων του Υπουργείου, αναφορικά με την ευπάθεια των επιλεχθέντων μέτρων πολιτικής στο σύνολο των οκτώ προκαθορισμένων στόχων, υπολογίζεται ένας δείκτης κινδύνου (risk index) για κάθε μέτρο πολιτικής.

12.3.3 Μοντέλο ΠΣΥΑ για την αξιολόγηση κινδύνου

Η αξιολόγηση κινδύνου στη βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίων αποτελεί μία κύρια διεργασία που απαιτεί την αξιολόγηση μίας εναλλακτικής έναντι πολλαπλών κριτηρίων και με βάση τη γνώση πολλαπλών εμπειρογνομόνων· επομένως, συνήθως εφαρμόζονται πολυκριτήριες μεθοδολογίες σε ένα περιβάλλον πολλαπλών αποφασιζόντων. Αυτή η μελέτη βασίζεται, όπως αναλύεται στο [Κεφάλαιο 7](#), στη μέθοδο TOPSIS (Hwang and Yoon, 1981), μία μέθοδο ΠΣΥΑ που χρησιμοποιείται ευρέως στη βιβλιογραφία σε αυτό το ερευνητικό πεδίο (Nikas et al., 2018). Πολλές μελέτες στη σχετική βιβλιογραφία βασίστηκαν στην TOPSIS και διενεργήθηκαν σε πλαίσιο πολλαπλών αποφασιζόντων, όπως παρουσιάζεται στον [Πίνακα 12.5](#).

Πίνακας 12.5 Πρόσφατες εφαρμογές της TOPSIS με πολλαπλούς αποφασίζοντες στην ευρύτερη βιβλιογραφία ενεργειακής πολιτικής (Doukas and Nikas, 2019).

Δημοσίευση	Κριτήρια Αξιολόγησης							Πεδίο	Εφαρμογή
	Οικονομικά	Ενεργειακά	Περιβαλλοντικά	Ρυθμιστικά	Κοινωνικά	Τεχνολογικά	Άλλα		
(Brand and Missaoui, 2014)	✓	✓	✓		✓			Ενέργεια	Αξιολόγηση τεχνολογιών
(Büyüközkan and Güleriyüz, 2017)	✓		✓	✓	✓	✓		Ενέργεια	Αξιολόγηση τεχνολογιών
(Jun et al., 2013)	✓		✓		✓		✓	Κτίρια	Ανάλυση σεναρίων
(Montanari, 2004)	✓		✓			✓		Ενέργεια	Επιλογή έργων
(Mourhir et al., 2016)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	Περιβάλλον	Αξιολόγηση πολιτικών
(Sakthivel et al., 2015)			✓			✓		Μεταφορές	Αξιολόγηση τεχνολογιών

Δημοσίευση	Κριτήρια Αξιολόγησης							Πεδίο	Εφαρμογή
	Οικονομικά	Ενεργειακά	Περιβαλλοντικά	Ρυθμιστικά	Κοινωνικά	Τεχνολογικά	Άλλα		
(Kaya and Kahraman, 2011)	✓		✓		✓	✓		Ενέργεια	Αξιολόγηση τεχνολογιών
(Onu et al., 2017)	✓		✓	✓	✓	✓		Ενέργεια· Περιβάλλον	Αξιολόγηση πολιτικών
(Nikas et al., 2018)	✓	✓	✓	✓	✓	✓		Ενέργεια	Αξιολόγηση κινδύνων

Η προτεινόμενη υπομονάδα αξιολόγησης κινδύνου βασίζεται σε ένα μοντέλο Fuzzy TOPSIS για υποστήριξη πολλαπλών αποφασιζόντων, προκειμένου να προσαρμοστεί στις απαιτήσεις της μελέτης και να διαχειριστεί τη φύση των δεδομένων που λήφθηκαν από τους εμπειρογνώμονες του Υπουργείου, από τους οποίους ζητήθηκε να συμπληρώσουν τα δομημένα ερωτηματολόγια.

Η Fuzzy TOPSIS (Chen, 2000) επεκτείνει την TOPSIS στο ασαφές περιβάλλον, καθώς τα κλασσικά αριθμητικά δεδομένα δεν δύνανται να εξαχθούν πάντα στον πραγματικό κόσμο, όπως και εν προκειμένω. Η προτεινόμενη προσέγγιση βασίζεται στις αρχές της Fuzzy TOPSIS, προσαρμοσμένης στο περιβάλλον πολλαπλών αποφασιζόντων (Krohling and Campanharo, 2011). Η πλειοψηφία των μεθόδων ΠΣΥΑ πολλαπλών αποφασιζόντων χρησιμοποιούν τη στρατηγική της σύνθεσης χρησιμότητας για την εξαγωγή μίας ομόφωνης προτίμησης. Ωστόσο, η επιλεχθείσα μέθοδος βασίζεται στις έννοιες της ομαδικής θετικής ιδανικής και ομαδικής αρνητικής ιδανικής λύσης, όπως αυτές εισάγονται από τους Wei-guo and Hong (2007). Η καινοτομία της παρούσας εφαρμογής, επομένως, όπως αυτή χαρακτηρίζει το εργαλείο MACE-DSS (Nikas et al., 2018) που χρησιμοποιήθηκε, έγκειται στον συνδυασμό της Fuzzy TOPSIS και της TOPSIS για πολλαπλούς αποφασίζοντες.

Η διαδικασία ΠΣΥΑ περιγράφεται αναλυτικά στο [Κεφάλαιο 7](#). Η βαθμολογία που αντιστοιχεί σε κάθε πολιτική είναι ο δείκτης κινδύνου της, ο οποίος ενσωματώνεται στο μοντέλο AX στο επόμενο βήμα.

12.3.4 Πολυστοχικό μοντέλο AX

Η AX είναι ένα πολύ αποτελεσματικό εργαλείο για την αντιμετώπιση κινδύνων και αβεβαιοτήτων, διευκολύνοντας την ανάλυση ευρωστίας φυσικών, τεχνολογικών και κοινωνικών συστημάτων και των σχέσεων τους (Pérez Odeh et al., 2017). Η βελτιστοποίηση χαρτοφυλακίου εισήχθη ως έννοια πρώτα στα χρηματοοικονομικά από τον Markowitz (1952), ο οποίος έθεσε τα θεμέλια της σύγχρονης θεωρίας χαρτοφυλακίου. Έκτοτε, πολλές μελέτες έχουν επεκτείνει ή τροποποιήσει το μοντέλο του Markowitz και προτείνει τεχνικές για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων προβλημάτων πολυστοχικής βελτιστοποίησης χαρτοφυλακίων (Anagnostopoulos and Mamanis, 2010· Babaei et al., 2015· Doerner et al., 2004· Kremmel et al., 2011· Krink and Paterlini, 2011· Lwin et al., 2014· Macedo et al., 2017· Pai and Michel, 2014· Ponsich et al., 2013· και Stummer and Heidenberger, 2001).

Σε προβλήματα βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων, τα κριτήρια είναι συνήθως συγκρουόμενα και, επομένως, δεν υπάρχει μία μοναδική λύση. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας βελτιστοποίησης είναι ένα μέτωπο διαφορετικών ικανών λύσεων, το μέτωπο Pareto, οι οποίες λύσεις χαρακτηρίζονται από μία

αντιστάθμιση μεταξύ των στόχων (Branke et al., 2009· Metaxiotis and Liagkouras, 2012). Οι πιο ευρέως διαδεδομένες μέθοδοι δημιουργίας του συνόλου των υποβέλτιστων λύσεων σε προβλήματα βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων είναι οι μέθοδοι σταθμισμένου μέσου και η ϵ -constraint. Η τελευταία έχει πολλαπλά πλεονεκτήματα έναντι της πρώτης, ειδικά σε περιπτώσεις όπου κάποιες μεταβλητές απόφασης είναι ακέραιες (Steuer, 1989). Για την περαιτέρω βελτίωση της επίδοσής της ή την προσαρμογή της σε έναν συγκεκριμένο τύπο προβλημάτων, πολλές εκδοχές της μεθόδου έχουν εμφανιστεί στη βιβλιογραφία (Hamacher et al., 2007).

Στη μέθοδο ϵ -constraint, μία από τις αντικειμενικές συναρτήσεις βελτιστοποιείται χρησιμοποιώντας τις υπόλοιπες αντικειμενικές συναρτήσεις ως περιορισμούς του μοντέλου (Chankong and Haimes, 2008). Για τη βελτίωση της αποδοτικότητας της μεθόδου, ο Mavrotas (2009) εισήγαγε μία καινοτόμο έκδοση της μεθόδου, την επαυξημένη ϵ -constraint (AUGMECON). Οι βασικές της καινοτομίες περιλαμβάνουν: τη χρήση λεξικογραφικής βελτιστοποίησης, την εγγυημένη παραγωγή Pareto βέλτιστων λύσεων (αποφεύγοντας την παραγωγή μη ικανών λύσεων) και την αλγοριθμική επιτάχυνση της υπολογιστικής διεργασίας.

Η παρούσα μελέτη χρησιμοποιεί μία επέκταση της AUGMECON, την AUGMECON-2. Το βασικό της σημείο (Mavrotas and Florios, 2013) είναι ότι μπορεί να παράγει ολόκληρο το μέτωπο Pareto (PF). Με τον τρόπο αυτό, καμία Pareto βέλτιστη λύση δεν μένει ανεξερεύνητη (Mavrotas et al., 2015a).

12.3.5 Ανάλυση ευρωστίας με προσομοιώσεις Monte Carlo

Σε προβλήματα πολυστοχικής βελτιστοποίησης, ο τελικός στόχος είναι η επιλογή του πλέον προτιμητέου μεταξύ των Pareto βέλτιστων λύσεων που παράγονται (Mavrotas et al., 2015b). Ωστόσο, στην περίπτωση της αβεβαιότητας, τα αποτελέσματα τυπικά παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα αστάθειας, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις καταλήγουν σε λύσεις που απέχουν πολύ από το βέλτιστο (Mavrotas et al., 2015a). Έτσι, αυτό το βήμα αποσκοπεί στον προσδιορισμό του βαθμού ευρωστίας του συνόλου Pareto και του καθενός Pareto βέλτιστου χαρτοφυλακίου, στην περίπτωση μεταβολών στις παραμέτρους του μοντέλου.

Οι παράμετροι αβεβαιότητας του μοντέλου θεωρούνται στοχαστικής φύσεως, λαμβάνοντας τις τιμές τους από κατάλληλες κατανομές πιθανότητας αντί για συγκεκριμένες (ντετερμινιστικές) τιμές. Έτσι, η προσομοίωση Monte Carlo διενεργείται επαναληπτικά για τη λήψη τυχαίων τιμών για τις παραμέτρους αβεβαιότητας και το μοντέλο έπειτα επιλύεται για την παραγωγή του ακριβούς συνόλου των Pareto βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Στο τέλος, η εκτέλεση των πολλαπλών επαναλήψεων Monte Carlo δίνει έναν μεγάλο αριθμό διαφορετικών PF, τα οποία αναλύονται για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με την ευρωστία των χαρτοφυλακίων ή μιγμάτων πολιτικής.

Αρχικά, προσδιορίζεται το PF αναφοράς, δηλαδή το σύνολο των Pareto βέλτιστων λύσεων μετά την επίλυση του μοντέλου χωρίς τη θεώρηση αβεβαιότητας, με τη χρήση ντετερμινιστικών τιμών για όλες τις παραμέτρους αβεβαιότητας. Στην πορεία, οι αποκλίσεις των διαφορετικών PF από το PF αναφοράς παρατηρούνται κατά τη διενέργεια των προσομοιώσεων Monte Carlo. Όσο μικρότερη είναι η απόκλιση, τόσο πιο εύρωστο είναι το PF αναφοράς.

Αναφορικά με την ευρωστία των μέτρων πολιτικής καθ'αυτών στα βέλτιστα χαρτοφυλάκια, καταμετράται πόσες φορές λαμβάνεται κάθε πολιτική ως βέλτιστη ανά τις επαναλήψεις Monte Carlo. Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα για μία πολιτική, τόσο πιο εύρωστη η συγκεκριμένη πολιτική είναι.

Αυτή η προσέγγιση παρέχει στους εμπειρογνώμονες ένα επιπρόσθετο εργαλείο υποστήριξης της τελικής τους απόφασης, δίνοντάς τους επιπλέον πληροφορία για τις υποβέλτιστες λύσεις, δηλαδή για την ευρωστία των χαρτοφυλακίων και των μέτρων πολιτικής σε σχέση με αναταράξεις στις παραμέτρους του μοντέλου (Mavrotas and Pechak, 2013).

12.3.6 Επιλογή του βέλτιστου μίγματος πολιτικής με ΑΓΧ

Παρότι τα αποτελέσματα της ΑΧ παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες τόσο για τις αναμενόμενες ενεργειακές εξοικονομήσεις όσο και για τον σχετικό κίνδυνο κάθε χαρτοφυλακίου, το PF που προκύπτει δεν υποδεικνύει παρά ένα πλήθος υποβέλτιστων λύσεων από τα οποία οι φορείς χάραξης πολιτικής δύνανται να διαλέξουν, προκειμένου να βελτιστοποιήσουν τις εξοικονομήσεις ενέργειας με τον ασφαλέστερο δυνατό τρόπο. Η επιλογή του ενός χαρτοφυλακίου πολιτικής επομένως εξαρτάται από τους αποφασίζοντες, βάσει της κατανόησης, της πολιτικής οπτικής και τη συμπεριφορά του καθενός εξ αυτών απέναντι στον κίνδυνο· μία επιλογή επομένως μπορεί να αποδειχθεί δύσκολη. Η μεθοδολογία ΑΓΧ και το εργαλείο ESQAPE, όπως περιγράφονται στο [Κεφάλαιο 6](#), επιλέχθηκαν για να διευκολύνουν τους αποφασίζοντες να επιλέξουν το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο.

Το μοντέλο ΑΓΧ που προκύπτει προσομοιώνεται για διαφορετικά (επιλεγμένα) υποβέλτιστα χαρτοφυλάκια πολιτικών που περιλαμβάνουν τα πιο εύρωστα εκ των δεκαπέντε μέτρων πολιτικής, έναντι διαφορετικών σεναρίων που σχεδιάζονται για διαφορετικό βαθμό ενεργοποίησης των οκτώ κινδύνων υλοποίησης. Οι κίνδυνοι ποσοτικοποιούνται σε πέντε διαφορετικά σενάρια που αντιστοιχούν στις κοινωνικοοικονομικές περιγραφές των πέντε ΔΚΜ (O'Neill et al., 2017), όπως προτείνεται από τους Nikas et al. (2019a, 2019b).

12.4 Εφαρμογή

12.4.1 Συλλογή δεδομένων των μέτρων πολιτικής

Τα μέτρα πολιτικής που επιλέχθηκαν, όπως αναλύθηκαν στην [Ενότητα 12.2.2](#), είναι τα εξής:

- M1. Πρόγραμμα "Εξοικονόμηση Κατ' Οίκον"
- M2. Ενεργειακή αναβάθμιση δημοσίων κτιρίων
- M3. Έργα ενεργειακής απόδοσης και επίδειξης σε ΜΜΕ και μέτρα στήριξης
- M4. Εφαρμογή συστήματος ενεργειακής διαχείρισης με βάση το πρότυπο ISO 50001 σε φορείς του Δημόσιου και ευρύτερου δημόσιου τομέα
- M5. Ενεργειακή αναβάθμιση σε κτίρια επαγγελματικής χρήσης μέσω ΕΕΥ
- M6. Ανάπτυξη ευφών συστημάτων μέτρησης ενέργειας
- M7. Δράσεις ΕΠΠΕΡΑΑ / ΥΜΕΠΠΕΡΑΑ
- M8. Συμψηφισμός προστίμων αυθαιρέτων

- Μ9. Ενεργειακοί υπεύθυνοι και σχέδια δράσης ενεργειακής αποδοτικότητας (ΣΔΕΑ) σε κτίρια του ευρύτερου δημόσιου τομέα
- Μ10. Τηλεθέρμανση
- Μ11. Αντικατάσταση παλαιών ελαφριών φορτηγών δημοσίου και ιδιωτικού τομέα
- Μ12. Αντικατάσταση παλαιών επιβατικών οχημάτων ιδιωτικού τομέα
- Μ13. Οδοφωτισμός
- Μ14. Αντλιοστάσια
- Μ15. ΠΕΑ

Τα βασικά τεχνικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα ανάλυση, όπως εξήχθησαν από το μοντέλο TIMES καθώς και από τον απολογισμό προηγούμενων παρεμβάσεων του Υπουργείου, παρουσιάζονται στον Πίνακα 12.6.

Πίνακας 12.6 Τεχνικά δεδομένα που προέκυψαν από το μοντέλο TIMES και προηγούμενες παρεμβάσεις για τα 15 μέτρα πολιτικής, για την περίοδο 2018-2020.

<i>Μέτρο πολιτικής</i>	<i>Εξοικονομήσεις ενέργειας/παρέμβαση (kTOE)</i>	<i>Οικονομική αποδοτικότητα (Euro/kTOE)</i>	<i>Μέγιστος αριθμός παρεμβάσεων κατ' έτος</i>
M1	0.0016	4,565,600	20,000
M2	0.02	13,600,000	360
M3	0.009	4,761,600	5,000
M4	0.0048	1,666,600	300
M5	0.02	1,474,900	100
M6	0.0000063	49,047,600	1,000,000
M7	0.039	28,789,300	69
M8	0.0006	1,250,000	174
M9	0.0046	92,400	30,000
M10	0.00019	78,938,000	1,100
M11	0.0003	5,416,600	4,500
M12	0.000166	7,379,200	65,000
M13	0.20	0	20
M14	0.0017	0	1,500
M15	0.0092	0	286

Τα μέτρα Μ13-Μ15 (οδοφωτισμός, αντλιοστάσια και ΠΕΑ, αντίστοιχα) δεν απαιτούν χρηματοδοτική συνεισφορά από το Υπουργείο, ωστόσο συνδέονται με κινδύνους υλοποίησης.

12.4.2 Αξιολόγηση κινδύνου

Το πρόβλημα επιλογής χαρτοφυλακίου επιλύεται με δύο κριτήρια ή αντικειμενικές συναρτήσεις. Η πρώτη αφορά στην μεγιστοποίηση των ενεργειακών εξοικονομήσεων (για δεδομένο προϋπολογισμό) ή στην ελαχιστοποίηση του κόστους (για δεδομένο τον στόχο της ενεργειακής αποδοτικότητας) των χαρτοφυλακίων πολιτικών, και η δεύτερη στην ελαχιστοποίηση του συνολικού κινδύνου στον οποίον τα χαρτοφυλάκια υποτίθεται πως εκτίθενται. Ο τελευταίος υπολογίζεται συναρτήσει του επιμέρους κινδύνου των μέτρων πολιτικής από τα οποία κάθε χαρτοφυλάκιο απαρτίζεται, η αλλιώς του δείκτη κινδύνου κάθε μέτρου.

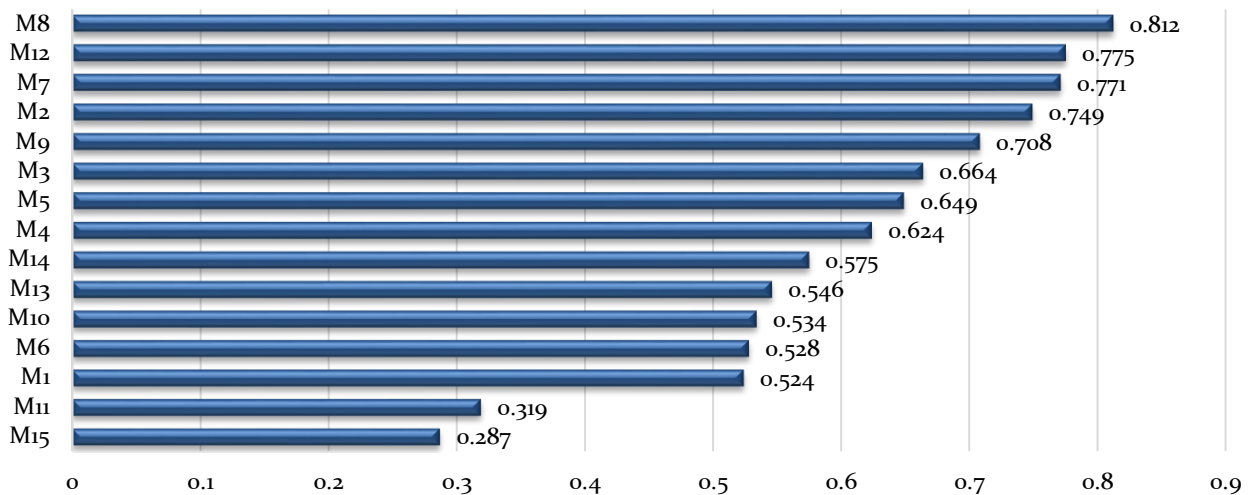
Για τον προσδιορισμό του δείκτη κινδύνου, κατασκευάζεται ένα πρόβλημα πολυκριτήριας ανάλυσης, το οποίο έχει ως εναλλακτικές δράσεις τις 15 πολιτικές και επιλύεται με την χρήση του MACE-DSS (Κεφάλαιο 7), όπως παρουσιάζεται από τους Nikas et al. (2018). Ως κριτήρια αξιολόγησης θεωρούνται οι 8 κίνδυνοι υλοποίησης που περιεγράφηκαν (Ενότητα 12.2.4), και παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 12.7.

Πίνακας 12.7 Οι οκτώ κίνδυνοι επιτυχούς υλοποίησης των επιλεχθέντων μέτρων πολιτικής.

Κίνδυνοι υλοποίησης	
R1	Δυσκολίες ευθυγράμμισης ενδιαφερόντων τοπικής αυτοδιοίκησης με εθνικές υποχρεώσεις
R2	Πολιτική αστάθεια
R3	Γραφειοκρατία
R4	Ιδιαίτερα απαιτητικό ρυθμιστικό πλαίσιο συγκριτικά με την ωριμότητα της αγοράς
R5	Ανεπαρκής χρηματοπιστωτικός/τραπεζικός τομέας
R6	Κοινωνική εναντίωση
R7	Ανειδίκευτο προσωπικό – Περιορισμένες τεχνικές δεξιότητες
R8	Δυσμενείς οικονομικές συνθήκες (οικονομική κρίση/ύφεση)

Η εφαρμογή της μεθόδου Fuzzy TOPSIS, όπως περιγράφεται στην Ενότητα 12.3.3, υπολογίζει έναν Δείκτη Ρίσκου για κάθε μέτρο πολιτικής (Εικόνα 12.1). Αυτοί οι δείκτες κινδύνου ενσωματώνονται κατάλληλα στο μοντέλο διστοχικού προγραμματισμού βελτιστοποίησης χαρτοφυλακίων, $RI(i)$, όπου $i = 1 \dots 15$ το μέτρο πολιτικής στο οποίο αντιστοιχεί ο δείκτης RI .

Δείκτης Ρίσκου RI



Εικόνα 12.1 Δείκτες Κινδύνου (RI) για τα 15 μέτρα πολιτικής ενεργειακής αποδοτικότητας, όπως προκύπτουν από την ανάλυση ΠΣΥΑ.

12.4.3 Μαθηματική μοντελοποίηση

Οι δύο αντικειμενικές συναρτήσεις του μοντέλου μαθηματικού προγραμματισμού για την εύρεση των μέγιστων δυνατών εξοικονομήσεων ενέργειας, δεδομένου του διαθέσιμου προϋπολογισμού, έχουν μοντελοποιηθεί ως εξής:

- 1) Μεγιστοποίηση των συνολικών ενεργειακών εξοικονομήσεων σε kTOE:

$$\sum_{i=1}^{12} b(i, 1) * Sav(i, 1) + 2 * \sum_{i=1}^{12} b(i, 2) * Sav(i, 2) + 3 * \sum_{i=1}^{12} b(i, 3) * Sav(i, 3) + \sum_{i=13}^{15} ktoe(i, 1) + 2 * \sum_{i=13}^{15} ktoe(i, 2) + 3 * \sum_{i=13}^{14} ktoe(i, 3) + 2 * ktoe(15,3) = maxZ_1$$

Οι εξοικονομήσεις ενέργειας που επιτυγχάνονται από κάθε μέτρο υπολογίζονται πολλαπλασιάζοντας τις εξοικονομήσεις ανά μονάδα κεφαλαίου που αντιστοιχεί σε κάθε μέτρο $Sav(i, j)$ με την ποσότητα κεφαλαίου προς επένδυση στο μέτρο από το Υπουργείο $b(i, j)$. Το $i = 1..15$ αντιστοιχεί στο αντίστοιχο μέτρο εξοικονομησης ενέργειας, ενώ το $j = 1,2,3$ στα έτη 2018, 2019 και 2020 αντίστοιχα. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψιν το συσσωρευτικό φαινόμενο για την ποσοτικοποίηση των ενεργειακών εξοικονομήσεων, θεωρώντας όλα τα έτη που ένα μέτρο υλοποιείται και βρίσκεται σε ισχύ, μέσα στην περίοδο 2018 – 2020. Με άλλα λόγια, εάν ένα έργο υλοποιηθεί το έτος 2018, τότε οι συσσωρευτικές εξοικονομήσεις που αντιστοιχούν στο μέτρο περιλαμβάνουν τις εξοικονομήσεις του μέτρου και για τα τρία έτη. Για μέτρα που δεν απαιτούν την χρηματοδοτική συνεισφορά του Υπουργείου, οι αντίστοιχες εξοικονομήσεις ενέργειας σε kTOE προστίθενται στην εξίσωση, θεωρώντας επίσης τις συσσωρευτικές εξοικονομήσεις.

2) Ελαχιστοποίηση του κινδύνου του χαρτοφυλακίου:

$$\sum_{i=1}^{15} \sum_{j=1}^3 Risk(i, j) = \min Z_2$$

Η δεύτερη αντικειμενική συνάρτηση αφορά στην ελαχιστοποίηση του κινδύνου υλοποίησης των χαρτοφυλακίων πολιτικών. Προκειμένου να υπολογισθεί ορθά ο κίνδυνος κάθε μέτρου πολιτικής, ο Δείκτης Κινδύνου $RI(i)$ πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή $d(i, j)$, ο οποίος αναπαριστά:

$$\frac{\text{Ετήσιες τελικές εξοικονομήσεις του μέτρου (κΤΟΕ)}}{\text{μέγιστες δυνατές παρεμβάσεις ανά έτος}}$$

Έπειτα, ο κίνδυνος του χαρτοφυλακίου εκφράζεται ως το άθροισμα των κινδύνων όλων των επιμέρους μέτρων πολιτικής που το απαρτίζουν.

Οι μεταβλητές απόφασης του προβλήματος $b(i, j)$ είναι συνεχείς και εκφράζουν το κεφάλαιο που επενδύει το Υπουργείο σε κάθε μέτρο πολιτικής ($i = 1 \dots 12$) κάθε χρόνο. Τα μέτρα ($i = 13 \dots 15$) δεν απαιτούν την συνεισφορά του Υπουργείου και δύνανται να υλοποιηθούν με ιδιωτικά κεφάλαια. Σε αυτήν την περίπτωση, οι μεταβλητές απόφασης είναι οι εξοικονομήσεις ενέργειας σε κΤΟΕ ($ktoe(i, j)$) προς επίτευξη μέσα στα έτη 2018 – 2020.

Οι περιορισμοί του μοντέλου περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

1. Ο πρώτος περιορισμός ορίζει έναν συνολικό μέγιστο προϋπολογισμό που είναι διαθέσιμος από το Υπουργείο για την υλοποίηση των μέτρων πολιτικής:

$$\sum_{i=1}^{15} \sum_{j=1}^3 b(i, j) \leq MaxBudg,$$

2. Ένας δεύτερος περιορισμός αφορά σε έναν σταθερό προϋπολογισμό προς επένδυση στην ανάπτυξη των έξυπνων μετρητών ενέργειας (M6) από τον ΔΕΔΔΗΕ. Αυτός ο προϋπολογισμός μπορεί να διατεθεί μόνο σε αυτό το συγκεκριμένο μέτρο.

$$\sum_{j=1}^3 b(M6, j) \leq BudgM6$$

3. Συγκεκριμένοι τεχνικοί περιορισμοί επιβάλλονται ως ανώτατα όρια στον αριθμό των δυνατών παρεμβάσεων ανά έτος και μέτρο, $Interv(i, j)$:

$$Interv(i, j) \leq MaxInterv(i, j), \quad \forall i, j$$

4. Τέλος, τίθενται ορισμένοι θεωρητικοί περιορισμοί στις συνολικές μέγιστες πιθανές παρεμβάσεις για κάθε μέτρο (π.χ. ο συνολικός αριθμός των δημοσίων κτιρίων στην Ελλάδα). Για την περίπτωση των ενεργειακών αναβαθμίσεων των δημοσίων κτιρίων (M2), για παράδειγμα, ο περιορισμός μοντελοποιείται ως εξής:

$$ThInterv(M2, j) \leq MaxThInterv(M2, j), \quad \forall j$$

12.4.4 Σύνοψη βασικών υποθέσεων μοντελοποίησης

Προκειμένου να καθοριστεί ο εθνικός στόχος ενεργειακών εξοικονομήσεων για τα έτη 2018 – 2020, θεωρούνται οι ακόλουθες υποθέσεις:

- Ο συνολικός στόχος για την περίοδο 2014 – 2020 είναι 3,332 kTOE, όπως ορίζεται στο 3^ο ΕΣΔΕΑ.
- Εξοικονομήσεις της τάξεως των 1,281 KTOE έχουν ήδη επιτευχθεί μέσα στην περίοδο 2014 – 2017.
- Η προκαθορισμένη συνεισφορά του μέτρου των καθεστώτων επιβολής για την περίοδο 2018 – 2020 αντιστοιχεί σε 232 kTOE.

Οι δυο σημαντικότερες παράμετροι για την αξιολόγηση των χαρτοφυλακίων πολιτικών θεωρούνται οι εξοικονομήσεις ενέργειας και ο κίνδυνος υλοποίησης. Αυτή η επιλογή είναι συνεπής και ευθυγραμμισμένη με τις φιλοδοξίες των περισσότερων ΕΣΔΕΑ, όπου οι επιπτώσεις των πολιτικών εκφράζονται σε όρους εξοικονομήσεων ενέργειας, και σπανίως άλλων δεικτών, όπως θέσεις εργασίας, μειώσεις εκπομπών άνθρακα, και ποιότητα ατμοσφαιρικού αέρα (Economidou et al., 2016). Οποιοσδήποτε άλλες παράμετροι, όπως κοινωνικά οφέλη ή στόχοι απασχόλησης, θεωρούνται δευτερεύουσες επιδράσεις αναφορικά με το βέλτιστο των πολιτικών, και οι επιδράσεις τους ενσωματώνονται στο προτεινόμενο μοντέλο μέσω των εξεταζόμενων κινδύνων υλοποίησης. Οι επιπτώσεις των επιπρόσθετων, εξωτερικών παραμέτρων που δύνανται να επηρεάσουν τη βέλτιστη λύση του μοντέλου λαμβάνονται υπόψιν μέσω της ανάλυσης της ευρωστίας των αποτελεσμάτων.

Η συσσωρευτική ιδιότητα λαμβάνεται υπόψιν κατά τον υπολογισμό των εξοικονομήσεων, διπλασιάζοντας ή τριπλασιάζοντας τις επιτευχθείσες εξοικονομήσεις για μία διετή ή τριετή υλοποίηση. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί το μέτρο των ΠΕΑ, το οποίο θεωρείται πως έχει διετή διάρκεια ζωής.

Για την αξιολόγηση της ευρωστίας των αποτελεσμάτων υπό αβεβαιότητα, υποτίθεται ομοιόμορφη κατανομή με δειγματοληψία τιμών στο διάστημα [0.8, 1.1].

Με αφετηρία την έρευνα των Bertoldi et al. (2010) σχετικά με την προεξόφληση, και όμοια με τους DeLlano-Paz et al. (2014) και Yushchenko and Patel (2016), δεν πραγματοποιείται προεξόφληση των δεδομένων λόγω του μεσοπρόθεσμου χρονικού ορίζοντα (2018 – 2020) της εφαρμογής.

12.5 Αποτελέσματα

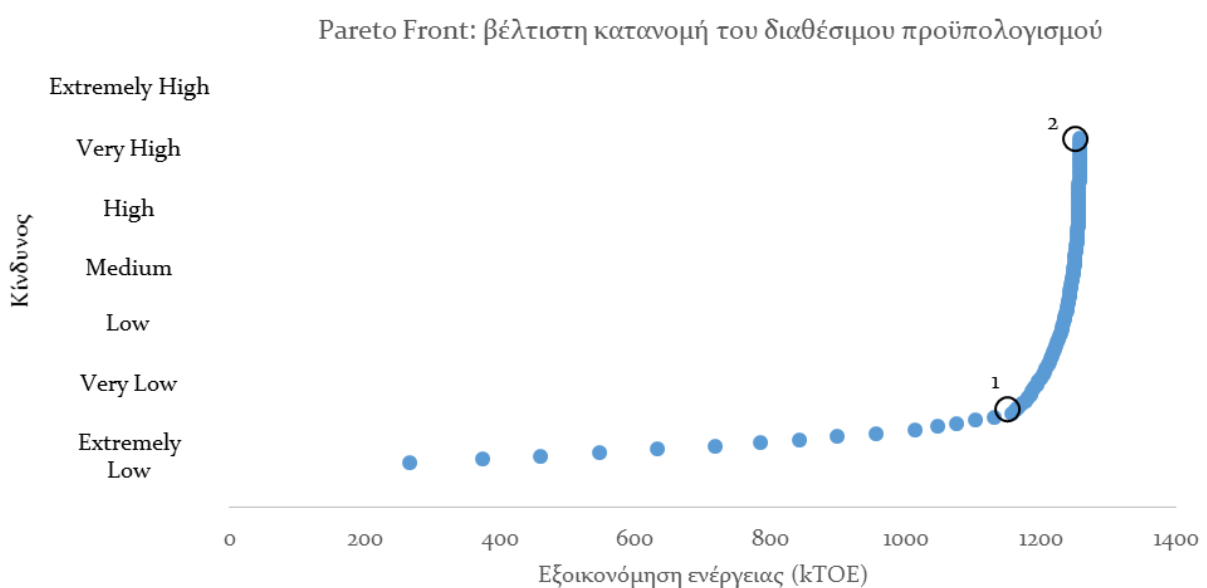
12.5.1 Βέλτιστη κατανομή πόρων με δεδομένο διαθέσιμο προϋπολογισμό

Το ντετερμινιστικό πρόβλημα διστοχικού προγραμματισμού επιλύεται δίνοντας ένα PF βέλτιστων χαρτοφυλακίων. Για τη δημιουργία του PF, η μέθοδος AUGMECON-2 κωδικοποιείται και εκτελείται στο GAMS (Bruce, 2013).

Οι αριθμητικές τιμές των κινδύνων των χαρτοφυλακίων κανονικοποιούνται και εκφράζονται σε γλωσσική μορφή, προκειμένου να είναι εύκολα αντιληπτές και να επικοινωνούνται στους φορείς χάραξης πολιτικής, κάνοντας χρήση της ακόλουθης κλίμακας:

- 0 – none
- 0.5 – extremely low
- 1 – very low
- 1.5 – low
- 2 – medium
- 2.5 – high
- 3 – very high
- 3.5 – extremely high
- 4 – catastrophic

Το σύνολο των βέλτιστων χαρτοφυλακίων (PF) που επιτυγχάνει τη βέλτιστη κατανομή πόρων στα προκαθορισμένα μέτρα παρουσιάζεται στην [Εικόνα 12.2](#). Κάθε σημείο στο διάγραμμα αναπαριστά ένα βέλτιστο χαρτοφυλάκιο πολιτικών, σε όρους ελαχιστοποίησης του κινδύνου και μεγιστοποίησης των ενεργειακών εξοικονομήσεων.



Εικόνα 12.2 Βέλτιστα χαρτοφυλάκια πολιτικών ενεργειακής αποδοτικότητας, για δεδομένο προϋπολογισμό του Υπουργείου.

Είναι εμφανές ότι η πλειοψηφία των βέλτιστων χαρτοφυλακίων επιτυγχάνουν ενεργειακές εξοικονομήσεις μεταξύ 1,200 και 1,260 kTOE, στην περιοχή όπου το PF είναι πυκνότερο. Ωστόσο, σε αυτήν την περιοχή, ο κίνδυνος των υποβέλτιστων λύσεων ποικίλει ιδιαίτερα, μεταξύ “very low” και “very high”.

Στο γράφημα (Εικόνα 12.2) σημειώνονται δύο σημεία με υψηλό ενδιαφέρον. Το πρώτο σημείο (‘1’) παρουσιάζει πολύ χαμηλό κίνδυνο υλοποίησης και ταυτόχρονα επιτυγχάνει ένα ικανοποιητικό βαθμό ενεργειακών εξοικονομήσεων, σε σύγκριση με το σημείο των μέγιστων εξοικονομήσεων (‘2’). Περαιτέρω ανάλυση δείχνει ότι το χαρτοφυλάκιο ‘1’ περιλαμβάνει μόλις τρία μέτρα: το πρόγραμμα ‘Εξοικονόμηση κατ’ οίκον’ (M₁), τα μέτρα επίδειξης και ενεργειακής εξοικονομησης σε ΜΜΕ (M₃), και την πρόσληψη ενεργειακών υπευθύνων και εφαρμογή των ΣΔΕΑ σε δημόσια κτίρια (M₉). Συγκεκριμένα, το μέτρο που αφορά στην ανάθεση ενεργειακών υπευθύνων στον ευρύτερο δημόσιο τομέα είναι πλήρως χρηματοδοτημένο καθ’ όλη τη διάρκεια της περιόδου 2018 – 2020· ενώ τα άλλα δύο μέτρα είναι πλήρως χρηματοδοτημένα το 2018 και μερικώς χρηματοδοτημένα το 2019. Το δεύτερο χαρτοφυλάκιο (‘2’) επιτυγχάνει τις μέγιστες δυνατές εξοικονομήσεις, λαμβάνοντας υπόψιν τους οικονομικούς και τεχνικούς περιορισμούς του μοντέλου.

Ο Πίνακας 12.8 αποσυνθέτει το χαρτοφυλάκιο ‘2’ και αποκαλύπτει ότι αυτά τα τρία μέτρα πολιτικής κυριαρχούν και σε αυτήν τη λύση, τα οποία επίσης εμφανίζονται ως τα πλέον οικονομικώς αποδοτικά μέτρα.

Πίνακας 12.8 Συμμετοχή (εξοικονόμηση και κόστος) των μέτρων πολιτικής στο βέλτιστο χαρτοφυλάκιο ‘2’.

Χαρτοφυλάκιο ‘2’ Μέγιστη εξοικονόμηση: 1,256.0 kTOE	2018 (% συμμετοχή)		2019 (% συμμετοχή)		2020 (% συμμετοχή)	
	Εξοικονόμηση	Κόστη	Εξοικονόμηση	Κόστη	Εξοικονόμηση	Κόστη
M ₁	7.84	12.04	5.23	12.04	-	-
M ₂	-	-	-	-	-	-
M ₃	10.75	17.20	1.77	4.25	-	-
M ₄	0.34	0.19	0.23	0.19	0.11	0.19
M ₅	0.41	0.20	0.27	0.20	0.14	0.20
M ₆	1.50	24.81	1.00	24.81	-	-
M ₇	-	-	-	-	-	-
M ₈	0.02	0	0.02	0	0.01	0
M ₉	32.95	1.02	21.97	1.02	10.98	1.02
M ₁₀	-	-	-	-	-	-
M ₁₁	0.32	0.59	-	-	-	-
M ₁₂	-	-	-	-	-	-
M ₁₃	0.93	0	0.62	0	0.31	0
M ₁₄	0.61	0	0.41	0	0.20	0
M ₁₅	0.42	0	0.42	0	0.21	0

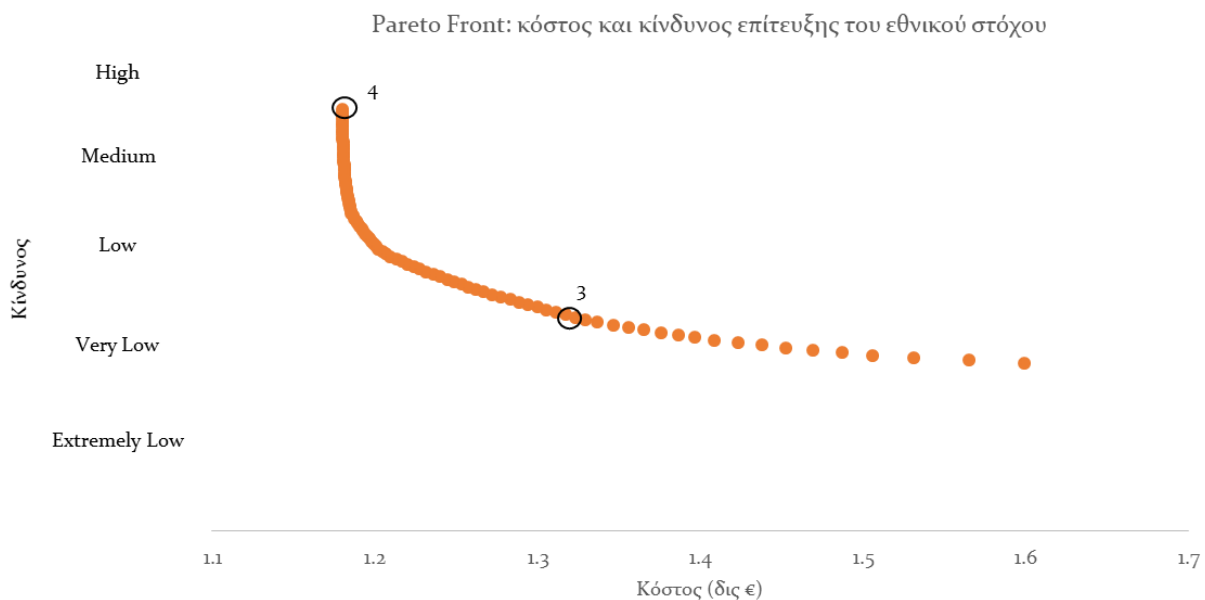
Αξίζει να σημειωθεί ότι, ακόμη και στην περίπτωση που ο κίνδυνος υλοποίησης του χαρτοφυλακίου δεν θεωρείται (Χαρτοφυλάκιο ‘2’), οι ενεργειακές εξοικονομήσεις δεν ξεπερνούν τα 1,256 kTOE, το οποίο μεταφράζεται σε απόκλιση της τάξεως του 31% από τον εθνικό στόχο των 1,819 kTOE, για την

περίοδο 2018 – 2020. Επομένως, γίνεται εμφανές ότι, δεδομένου του περιορισμένου διαθέσιμου προϋπολογισμού, ο εθνικός στόχος ενεργειακής αποδοτικότητας για το 2020 δεν μπορεί να επιτευχθεί. Αυτά τα ευρήματα είναι ευθυγραμμισμένα με μία μελέτη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σχετικά με την αξιολόγηση των ΕΣΔΕΑ των ΚΜ (Economidou et al., 2016), η οποία τονίζει ότι, παρότι ορισμένα ΚΜ όπως η Αυστρία και η Κύπρος αναμένουν την επίτευξη εξοικονομήσεων που ξεπερνούν τον στόχο για το 2020, οι εξοικονομήσεις που αναμένονται σε άλλες χώρες όπως στην Ελλάδα και την Γερμανία είναι ανεπαρκείς. Η μελέτη επίσης αναγνωρίζει τα κύρια μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που παρουσιάζονται στα ΕΣΔΕΑ: μέτρα εξοικονόμησης στον οικιακό τομέα, όπως το Μ1 (‘Εξοικονόμηση κατ’ οίκον’), θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικά για όλα τα ΚΜ, όπως επίσης και μέτρα χρηματοοικονομικής φύσης για τον ιδιωτικό τομέα, όπως το Μ3 (μέτρα επίδειξης και ενεργειακής αποδοτικότητας σε ΜΜΕ). Επίσης, βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων της κεντρικής διοίκησης, μέσω για παράδειγμα της πρόσληψης/ανάθεσης ενεργειακών υπευθύνων (Μ9), όπως συμβαίνει και για την Πορτογαλία και την Κύπρο, αποτελούν μέτρα-κλειδιά για την εφαρμογή της Κοινοτικής Οδηγίας για την Ενεργειακή Αποδοτικότητα.

12.5.2 Το κόστος επίτευξης του εθνικού στόχου για το 2020

Σε αυτήν την ενότητα, το διστοχικό μοντέλο ανακατασκευάζεται και διαφορετικά κριτήρια αξιολόγησης επιλέγονται προς βελτιστοποίηση. Το νέο πρόβλημα θεωρεί δεδομένο τον στόχο των ενεργειακών εξοικονομήσεων, ίσο με τον εθνικό στόχο των 1,819 kTOE, και βασίζεται στα κριτήρια (α) ελαχιστοποίησης του κόστους, και (β) ελαχιστοποίησης του κινδύνου.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην [Εικόνα 12.3](#).



Εικόνα 12.3 Βέλτιστα χαρτοφυλάκια πολιτικών ενεργειακής αποδοτικότητας, για δεδομένο στόχο ενεργειακής αποδοτικότητας.

Και πάλι, δύο χαρτοφυλάκια (‘3’ και ‘4’) έχουν απομονωθεί στην [Εικόνα 12.3](#), για περαιτέρω ανάλυση. Το χαρτοφυλάκιο ‘4’ υποδεικνύει το ελάχιστο ποσό που θα μπορούσε να επενδυθεί για την επίτευξη του στόχου ενεργειακών εξοικονομήσεων, παρουσιάζοντας ωστόσο τον υψηλότερο κίνδυνο. Μία καλή εναλλακτική στην κατεύθυνση της επίτευξης του στόχου με περαιτέρω επενδύσεις μπορεί να βρεθεί

στο χαρτοφυλάκιο '3'. Το μέρος του γραφήματος που βρίσκεται δεξιά του χαρτοφυλακίου '3' απαιτεί σημαντικές επιπλέον επενδύσεις, χωρίς να προσφέρει εξίσου σημαντικές μειώσεις του κινδύνου. Μία λεπτομερής περιγραφή των χαρτοφυλακίων '4' και '3', προτείνοντας τα πλέον ενεργειακά αποδοτικά μέτρα, βρίσκεται στον Πίνακα 12.9.

Πίνακας 12.9 Ανάλυση των χαρτοφυλακίων πολιτικών ενεργειακής αποδοτικότητας '4' και '3'.

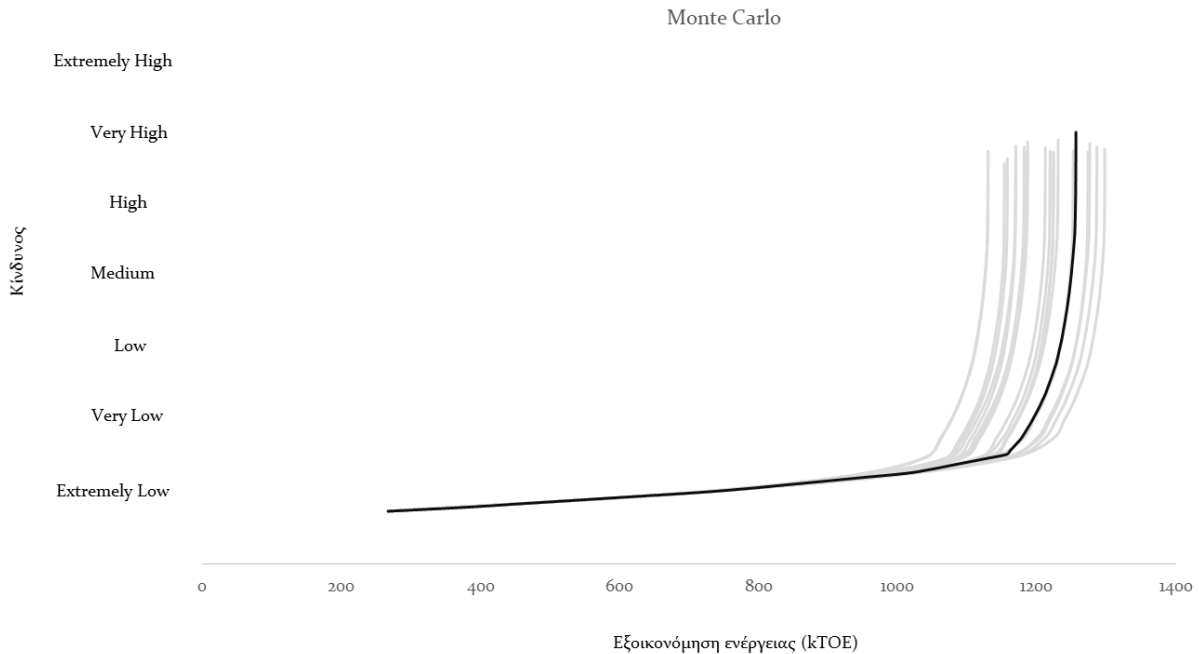
Μέτρο ενεργειακής πολιτικής	Χαρτοφυλάκιο '4': % συμμετοχή στις εξοικονομήσεις			Χαρτοφυλάκιο '3': % συμμετοχή στις εξοικονομήσεις		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020
M1	7.60	5.06	-	7.59	5.06	1.76
M2	-	-	-	-	-	-
M3	10.40	6.93	-	10.39	6.93	-
M4	0.33	0.22	0.11	-	-	-
M5	0.39	0.26	0.13	-	-	-
M6	-	-	-	-	-	-
M7	-	-	-	-	-	-
M8	0.02	0.02	0.01	-	-	-
M9	31.90	21.27	10.63	31.86	21.24	10.62
M10	-	-	-	-	-	-
M11	0.31	-	-	-	-	-
M12	1.68	-	-	2.49	-	-
M13	0.64	0.43	0.21	0.64	0.43	-
M14	0.42	0.28	-	0.42	-	-
M15	0.29	0.29	0.14	0.29	0.29	-

12.5.3 Ανάλυση ευρωστίας

Η ανάλυση ευρωστίας, η οποία διενεργήθηκε μετά την ντετερμινιστική εκτέλεση του μοντέλου, εστιάζει στην αβεβαιότητα που αφορά στις αναμενόμενες ενεργειακές εξοικονομήσεις των μέτρων πολιτικής. Επί της ουσίας, υποτίθεται ότι τα δεδομένα εισόδου από το μοντέλο TIMES και την προηγούμενη υλοποίηση συγκεκριμένων πολιτικών στην Ελλάδα χαρακτηρίζονται από αβεβαιότητα, η οποία τώρα αντιμετωπίζεται στοχαστικά. Εδώ, υποτίθεται μία ομοιόμορφη κατανομή στο διάστημα [0.8, 1.1]. Αυτή η αβεβαιότητα εμπεριέχει έναν αριθμό παραγόντων και δύναται να αναπαριστά, μεταξύ άλλων, πιθανές καθυστερήσεις στον χρονισμό υλοποίησης των μέτρων πολιτικής μέσα στην περίοδο 2018 – 2020, αναποτελεσματική υλοποίηση των μέτρων, αισιόδοξες ή απαισιόδοξες προβλέψεις, και διαφορετικά επίπεδα συμπεριφορικής αλλαγής που είναι απαραίτητη για την πλειοψηφία των παρεμβάσεων.

Η υλοποίηση του αλγορίθμου Monte Carlo, ως μέρος της ανάλυσης ευρωστίας, δείχνει διαφορετικές βέλτιστες καμπύλες εξοικονομήσεων – κινδύνου, το οποίο μεταφράζεται σε 420 διαφορετικά βέλτιστα χαρτοφυλάκια πολιτικών. Η Εικόνα 12.4 απεικονίζει τις διαφορετικές καμπύλες και τις διαφοροποιήσεις τους αναφορικά με τις εξοικονομήσεις ενέργειας και τον κίνδυνο. Το PF αναφοράς, το οποίο λήφθηκε με την εφαρμογή ντετερμινιστικών τιμών στις παραμέτρους του μοντέλου, είναι με μαύρο χρώμα. Αυτό το γράφημα αποσκοπεί στην υποστήριξη των φορέων χάραξης πολιτικής,

παρέχοντάς τους μία οπτικοποίηση της διακύμανσης των PF της Monte Carlo ως προς το PF αναφοράς. Οι φορείς χάραξης πολιτικής μπορούν επομένως εύκολα να απομονώσουν τις περιοχές του PF που είναι πιο εύρωστες από άλλες και να αναλύσουν βέλτιστα χαρτοφυλάκια μέσα σε αυτές τις περιοχές. Εν τέλει, τα υποβέλτιστα χαρτοφυλάκια που επιτυγχάνουν ενεργειακές εξοικονομήσεις υψηλότερες των 1,000 kTOE περίπου είναι σημαντικά πιο επιρρεπή σε διακυμάνσεις λόγω αβεβαιότητας, συγκριτικά με εκείνα που επιτυγχάνουν λιγότερες εξοικονομήσεις ενέργειας.



Εικόνα 12.4 Αξιολόγηση της βέλτιστης λύσης υπό αβεβαιότητα, με χρήση του αλγορίθμου Monte Carlo.

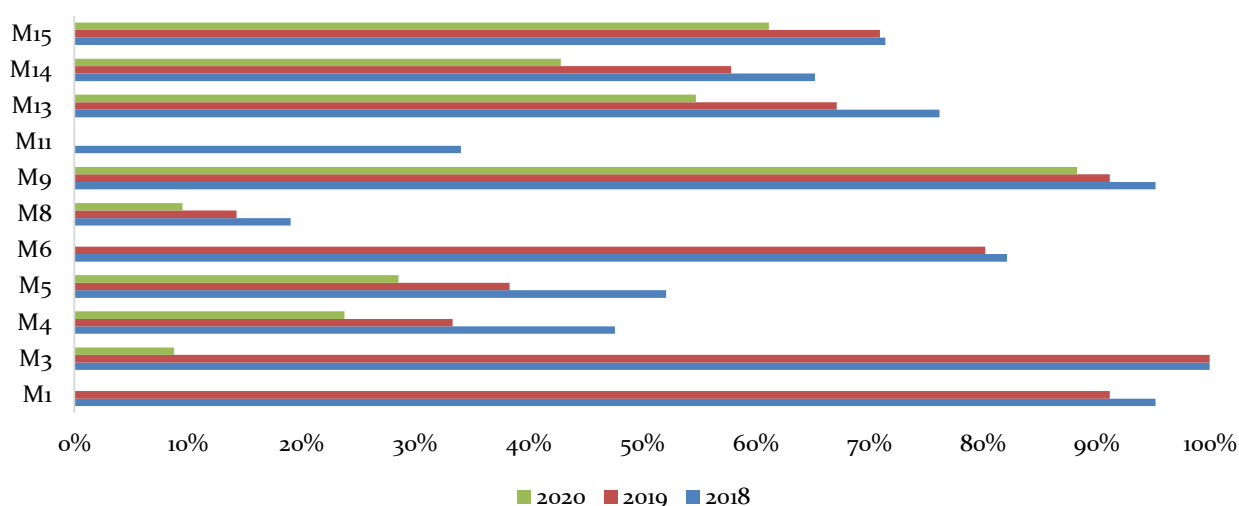
Προκειμένου να αναλυθεί η ευρωστία των επιμέρους μέτρων πολιτικής, υπολογίζεται η συχνότητα εμφάνισής τους στο σύνολο των 420 διαφορετικών χαρτοφυλακίων πολιτικής. Ο Πίνακας 12.10 και η Εικόνα 12.5 παρουσιάζουν την απόλυτη και σχετική συχνότητα εμφάνισής τους, αντίστοιχα.

Πίνακας 12.10 Απόλυτη συχνότητα εμφάνισης των μέτρων πολιτικής στα 420 διαφορετικά χαρτοφυλάκια.

Μέτρο ενεργειακής πολιτικής	2018	2019	2020
	Αριθμός εμφανίσεων		
M1	400	383	0
M2	0	0	0
M3	420	420	37
M4	200	140	100
M5	219	161	120
M6	345	337	0
M7	0	0	0
M8	80	60	40

Μέτρο ενεργειακής πολιτικής	2018	2019	2020
	Αριθμός εμφανίσεων		
M9	400	383	371
M10	0	0	0
M11	143	0	0
M12	0	0	0
M13	320	282	230
M14	274	243	180
M15	300	298	257

Συμμετοχή των μέτρων πολιτικής στα χαρτοφυλάκια(%)



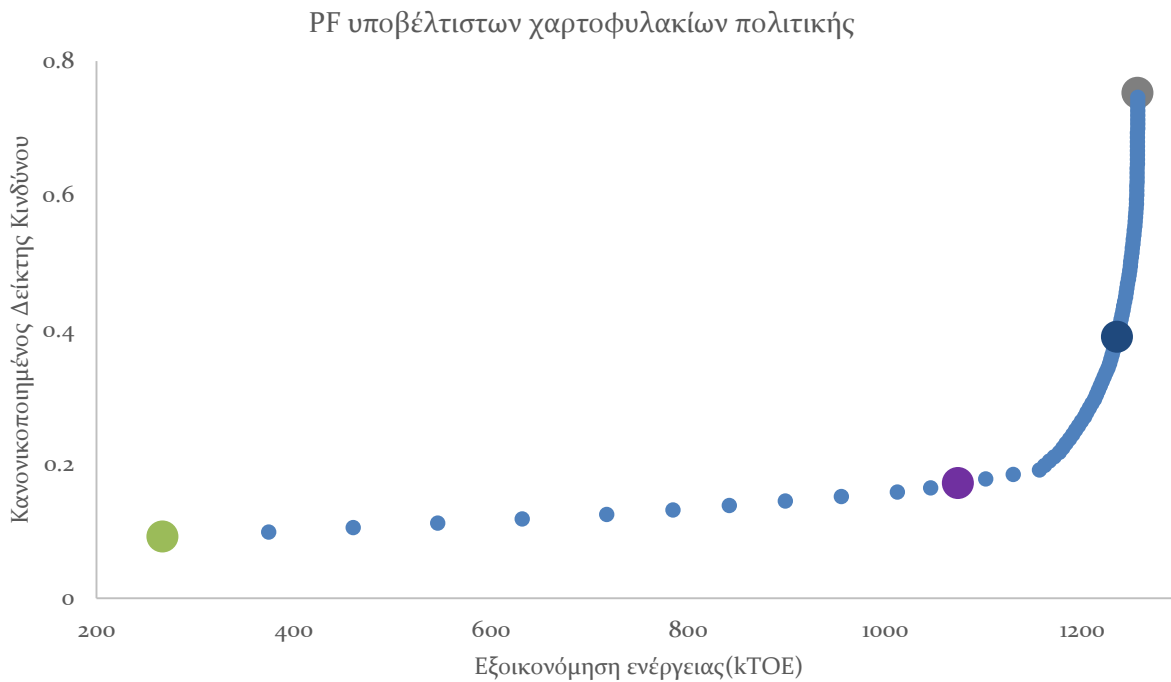
Εικόνα 12.5 Σχετική συχνότητα εμφάνισης των μέτρων πολιτικής στα 420 διαφορετικά χαρτοφυλάκια.

Ο Πίνακας 12.10 δείχνει ότι οι επιδοτήσεις για εξοικονόμηση στον οικιακό τομέα, τα έργα επίδειξης και ενεργειακής αποδοτικότητας σε ΜΜΕ και οι ενεργειακοί υπεύθυνοι σε κτίρια του δημόσιου τομέα προτείνονται ανεπιφύλακτα στους φορείς χάραξης πολιτικής, καθώς υπάρχουν σε σχεδόν όλα τα βέλτιστα χαρτοφυλάκια και φαίνεται να έχουν τις υψηλότερες συνεισφορές στις συσσωρευτικές ενεργειακές εξοικονομήσεις των χαρτοφυλακίων. Δεδομένης της σημασίας της αβεβαιότητας που σχετίζεται με την επίδοση των χαρτοφυλακίων πολιτικών, μία ακόμη σύσταση θα ήταν η επιπρόσθετη επιλογή πολιτικών που στοχεύουν στον οδοφωτισμό και τα αντλιοστάσια, καθώς και σε συμπεριφορικές αλλαγές στον οικιακό τομέα μέσω της προώθησης των ΠΕΑ. Αυτά τα μέτρα δεν αναμένονται να συνεισφέρουν σημαντικά στις ενεργειακές εξοικονομήσεις, ωστόσο αποτελούν μία ιδιαίτερα εύρωστη επένδυση με σχετικά βέβαιες αποδόσεις εξοικονομησης. Από την άλλη πλευρά, παρατηρείται ότι η ενεργειακή αναβάθμιση των δημοσίων κτιρίων, οι δράσεις ΕΠΠΕΡΑΑ, η επένδυση σε τηλεθέρμανση και οι επιδοτήσεις για την αντικατάσταση παλαιών ιδιωτικών επιβατικών οχημάτων απουσιάζουν από το σύνολο των βέλτιστων χαρτοφυλακίων, δηλαδή αναπαριστούν τα λιγότερο αποδοτικά μέτρα. Ο Πίνακας 12.10 και η Εικόνα 12.5 παρέχουν επίσης πληροφορίες σχετικές με τον προτεινόμενο χρονισμό για την υλοποίηση των προτεινόμενων μέτρων, κατά την περίοδο 2018-2020.

λαμβάνοντας υπόψιν αυτό το φαινόμενο των συσσωρευτικών εξοικονομήσεων ενέργειας, το μοντέλο αναμενόμενα συμπεραίνει ότι οι δράσεις κινητοποιούνται το συντομότερο δυνατό.

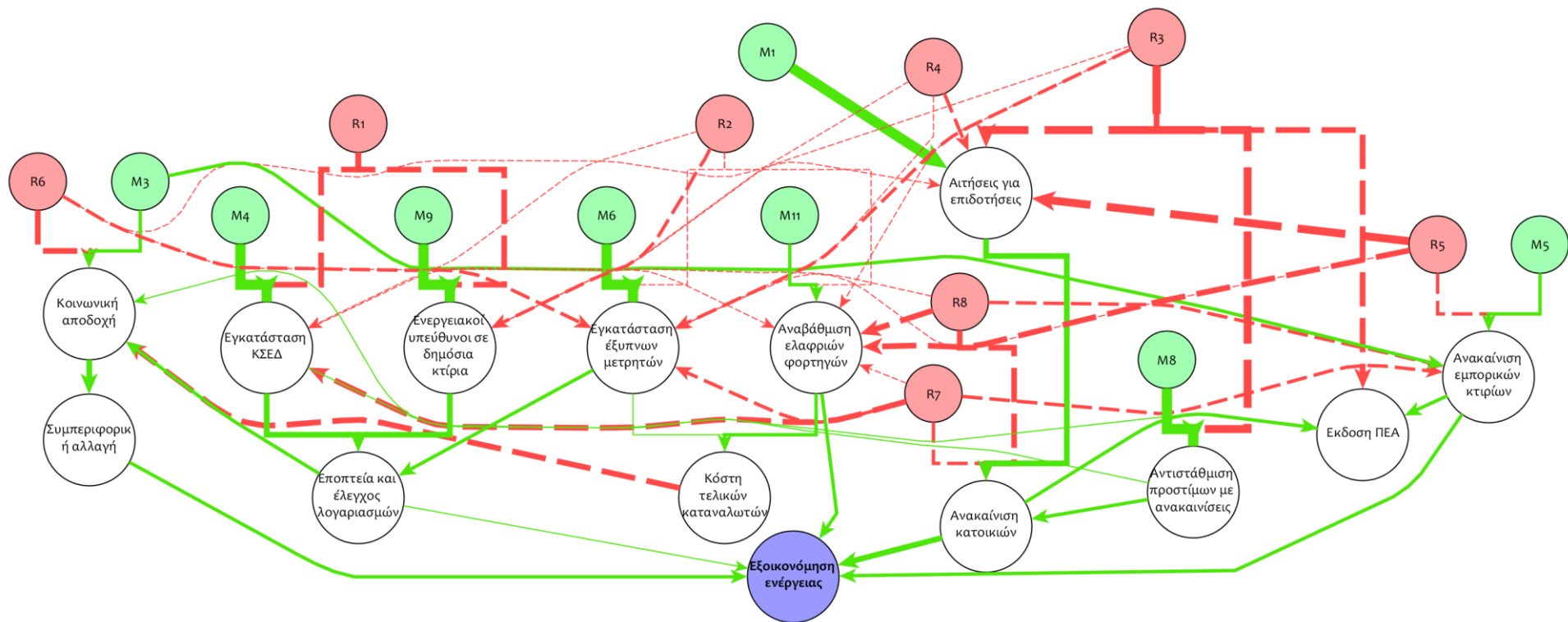
12.5.4 Επιλογή ενός χαρτοφυλακίου από τους εμπειρογνώμονες

Επιστρέφοντας στο βασικό πρόβλημα εύρεσης της βέλτιστης κατανομής πόρων, με δεδομένο τον μέγιστο διαθέσιμο προϋπολογισμό από πλευράς του Υπουργείου, για την επίτευξη των υψηλότερων εξοικονομήσεων ενέργειας, απομονώνονται τέσσερα αντιπροσωπευτικά σημεία του PF (Εικόνα 12.6).



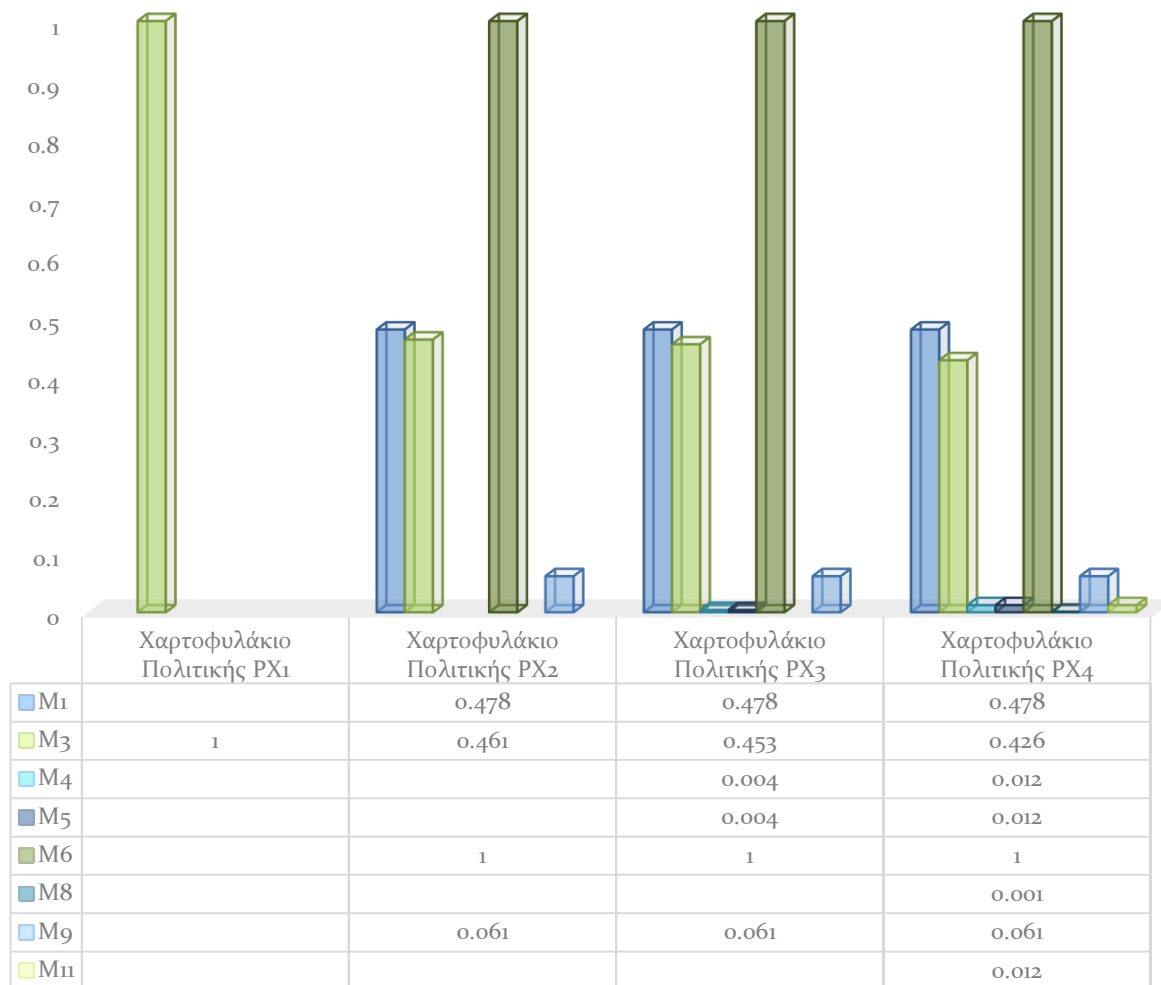
Εικόνα 12.6 Απομόνωση τεσσάρων αντιπροσωπευτικών υποβέλτιστων χαρτοφυλακίων μεγιστοποίησης εξοικονόμησης ενέργειας. Τα τέσσερα σημεία που τονίζονται αντιστοιχούν στα επιλεχθέντα χαρτοφυλάκια με διαφορετικό χρώμα (πράσινο, μωβ, μπλε και γκρι για τα μίγματα πολιτικής PX1, PX2, PX3 και PX4).

Προσαρμόζοντας τον χάρτη που κατασκευάστηκε κατά την εκπόνηση της μελέτης περίπτωσης για την ενεργειακή αποδοτικότητα στην Ελλάδα (από την [Ενότητα 6.4](#)) στο πλαίσιο των υπό εξέταση βραχυπρόθεσμων μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας που εμπεριέχονται στα τέσσερα αντιπροσωπευτικά υποβέλτιστα χαρτοφυλάκια ([Εικόνα 12.8](#)), προκύπτει ο νέος ΑΓΧ για την παρούσα μελέτη ([Εικόνα 12.7](#)).



Εικόνα 12.7 Ο ΑΓΧ για την προώθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας στην Ελλάδα, την περίοδο 2018 – 2020, για τα μέτρα πολιτικής που περιλαμβάνονται στα αντιπροσωπευτικά χαρτοφυλάκια που επιλέχθηκαν καθώς και τους οκτώ κινδύνους υλοποίησης. Η πυκνότητα και το χρώμα των ακμών υποδεικνύουν το βάρος και το πρόσημο των σχέσεων που αναπαριστούν (κόκκινο = αρνητικό, πράσινο = θετικό). Οι πράσινοι κόμβοι αναπαριστούν τις πολιτικές, οι κόκκινοι κόμβοι τους κινδύνους υλοποίησης, οι λευκοί κόμβοι τους υπόλοιπους κόμβους του συστήματος, και ο μπλε κόμβος τον τελικό στόχο, δηλαδή την επίτευξη ενεργειακών εξοικονομήσεων.

Ο ΑΓΧ που προέκυψε προσομοιώθηκε για τα τέσσερα διαφορετικά χαρτοφυλάκια πολιτικών που επιλέχθηκαν από την καμπύλη του PF, αποτελούμενα από τα πλέον εύρωστα μέτρα πολιτικής, έναντι διαφορετικών σεναρίων σχεδιασμένων για διαφορετικό βαθμό ενεργοποίησης των οκτώ κινδύνων υλοποίησης. Τα μέτρα πολιτικής των χαρτοφυλακίων ΡΧ1 - ΡΧ4, σημειωμένων με διαφορετικά χρώματα στο PF (Εικόνα 12.6), ποσοτικοποιήθηκαν με βάση την οικονομική συνεισφορά του καθενός σε κάθε χαρτοφυλάκιο, όπως αναλύεται στην Εικόνα 12.8. Αντίστοιχα, οι κίνδυνοι υλοποίησης ποσοτικοποιήθηκαν για καθένα από τα πέντε σενάρια της Ενότητας 6.4 (Εικόνα 6.10).



Εικόνα 12.8 Σύνοψη των τεσσάρων επιλεγμένων υποβέλτιστων χαρτοφυλακίων πολιτικών.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έδειξαν ότι, από την οπτική πλευρά των εμπειρογνομώνων, το πλέον εύρωστο (κατά μήκος των πέντε κοινωνικοοικονομικών σεναρίων) χαρτοφυλάκιο πολιτικής ήταν το μίγμα ΡΧ2 (Πίνακας 12.11), δηλαδή το μίγμα που αντιστοιχεί στο δεύτερο χαρτοφυλάκιο. Αυτό περιλαμβάνει υψηλές επενδύσεις στην ανάπτυξη και διάχυση έξυπνων συστημάτων μέτρησης ενέργειας στα ελληνικά νοικοκυριά (M6), σχετικά υψηλές επενδύσεις σε επιδοτήσεις τόσο στον οικιακό (M1) όσο και τον εμπορικό τομέα (M3), καθώς και ένα μικρό ποσό προς διάθεση στην ανάθεση καθηκόντων ενεργειακών υπευθύνων στον ευρύτερο δημόσιο τομέα. Τα αποτελέσματα, ωστόσο, έδειξαν ότι η αντίληψη του κινδύνου έχει σημαντικές επιπτώσεις στην κατάταξη των μιγμάτων πολιτικής: η επιτυχία της διαφοροποίησης των χαρτοφυλακίων είναι αντιστρόφως ανάλογη του βαθμού κινδύνου. Με άλλα λόγια, όσο πιο επικίνδυνο θεωρείται το σύστημα, σε όρους κοινωνικοοικονομικών προκλήσεων, τόσο χειρότερη είναι η επίδοση των υψηλά διαφοροποιημένων χαρτοφυλακίων. Επίσης, τα αποτελέσματα

έδειξαν ότι οι εμπειρογνώμονες του Υπουργείου αποστρέφονται τον κίνδυνο, αλλά και προτιμούν εύρωστα, ελαφρώς διαφοροποιημένα χαρτοφυλάκια πολιτικής που αποτελούνται από έναν μικρό αριθμό μέτρων, συγκριτικά για παράδειγμα με την εξ ολοκλήρου επένδυση σε ένα μέτρο πολιτικής (M3). Από την άλλη, τα πλέον διαφοροποιημένα χαρτοφυλάκια θεωρούνται βέλτιστα αποκλειστικά σε κοινωνικοοικονομικά αισιόδοξα σενάρια. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στον μεγάλο αριθμό κινδύνων υλοποίησης, στους οποίους αυτά τα χαρτοφυλάκια είναι ευπαθή αλλά η επίδραση των οποίων είναι σχετικά αμελητέα σε σενάρια χαμηλών δυσκολιών.

Πίνακας 12.11 Κατάταξη των επιλεγμένων μιγμάτων πολιτικής για καθένα εκ των κοινωνικοοικονομικών σεναρίων, με βάση τις προσομοιώσεις του ΑΓΧ.

Σενάρια ΑΓΧ	Κατάταξη
Κανένας κίνδυνος	$PX_4 > PX_2 > PX_3 > PX_1$
Σενάριο 1: Βιωσιμότητα	$PX_4 > PX_3 > PX_2 > PX_1$
Σενάριο 2: Μετριοπάθεια	$PX_2 > PX_3 > PX_4 > PX_1$
Σενάριο 3: Περιφερειακή αντιπαλότητα	$PX_2 > PX_3 > PX_4 > PX_1$
Σενάριο 4: Ανισότητα	$PX_2 > PX_3 > PX_4 > PX_1$
Σενάριο 5: Μαύρη ανάπτυξη	$PX_2 > PX_3 > PX_4 > PX_1$

12.6 Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη προτείνει μία συνδυαστική προσέγγιση για την υποστήριξη της χάραξης μεσοπρόθεσμης εθνικής πολιτικής για την ενεργειακή πολιτική στην Ελλάδα. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται σε ένα μοντέλο ενεργειακών συστημάτων, ένα μοντέλο ΠΣΥΑ πολλαπλών αποφασιζόντων, ένα μοντέλο πολυστοχικής ΑΧ, και ένα μοντέλο ΑΓΧ. Ο σκοπός της μελέτης είναι η υποστήριξη αποφάσεων που αφορούν στον επανασχεδιασμό του ΕΣΔΕΑ της Ελλάδας, για την επίτευξη των εθνικών στόχων ενεργειακής εξοικονόμησης έως το 2020. Δεδομένων των ανησυχιών του Υπουργείου για τους κινδύνους που εμποδίζουν την επιτυχή υλοποίηση προηγούμενων δράσεων, η υιοθετηθείσα προσέγγιση περιστρέφεται τόσο στις οραματισθείσες ενεργειακές εξοικονομήσεις, όπως αυτές λαμβάνονται από το μοντέλο TIMES και την πραγματική υλοποίηση προηγούμενων παρεμβάσεων στη χώρα, όσο και στους κινδύνους που σύμφωνα με τους εμπειρογνώμονες δύνανται να εμποδίσουν την επιτυχή υλοποίηση του νέου πλαισίου πολιτικής. Η αβεβαιότητα που καθιστά πολύπλοκη την διαδικασία απόφασης αντιμετωπίζεται με τρεις τρόπους: ο πρώτος αφορά στον προσδιορισμό οκτώ συγκεκριμένων κινδύνων που δύνανται να αναγνωριστούν ως απορρέοντες από αυτήν την αβεβαιότητα, και περιλαμβάνει τη σύνθεση της μίας αντικειμενικής συνάρτησης του πολυστοχικού μοντέλου μαθηματικού προγραμματισμού με βάση αυτούς τους κινδύνους· ο δεύτερος τρόπος αφορά στη θεώρηση της υπολειπόμενης αβεβαιότητας ως μία έλλειψη γνώσης που δεν δύναται να συγκεκριμενοποιηθεί με τη μορφή συγκεκριμένων κινδύνων, και περιλαμβάνει την μετάφραση αυτής ως στοχαστικής αβεβαιότητας του μοντέλου της ΑΧ, έναντι της οποίας το μοντέλο δοκιμάζεται μέσω προσομοιώσεων Monte Carlo· και ο τρίτος τρόπος αφορά στην αναθεώρηση των οκτώ κινδύνων ως μέσο διευκόλυνσης της επιλογής ανάμεσα στα πολλαπλά υποβέλτιστα χαρτοφυλάκια, και περιλαμβάνει τη σύνθεση κοινωνικοοικονομικών σεναρίων έναντι των οποίων τα μίγματα πολιτικής δοκιμάζονται μέσω προσομοιώσεων του μοντέλου ΑΓΧ.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι, δεδομένου του διαθέσιμου προϋπολογισμού και των τεχνικών περιορισμών που σχετίζονται με τις υπό εξέταση δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας, ο εθνικός στόχος ενεργειακής αποδοτικότητας για την περίοδο 2018 – 2020 δεν δύναται να επιτευχθεί. Επομένως, είτε πρέπει να θεωρηθεί ένα ευρύτερο σύνολο πλέον οικονομικά/ενεργειακά αποδοτικών και εύρωστων μέτρων προς υλοποίηση, είτε πρέπει να αναζητηθούν και διασφαλιστούν επιπλέον πόροι από και συνεργασίες με τον ιδιωτικό τομέα. Για το δεδομένο σύνολο των μέτρων που εξετάστηκαν, τα χαρτοφυλάκια πολιτικών που αποδίδουν περισσότερα από 1 ΜΤΟΕ εξοικονόμησης είναι πιο ευπαθή σε διακυμάνσεις των παραμέτρων του μοντέλου και, επομένως, χαρακτηρίζονται από σημαντικά επίπεδα αβεβαιότητας σχετικά με τις εξοικονομήσεις ενέργειας που δύναται να επιτύχουν.

Ανάμεσα στα διαθέσιμα μέτρα πολιτικής, η πλέον αποτελεσματική και εύρωστη επιλογή περιλαμβάνει ένα μέτρο ανά τομέα ενδιαφέροντος: ένα χρηματοδοτικό πρόγραμμα για ενεργειακές αναβαθμίσεις σε κτίρια στον οικιακό τομέα· μία δράση που προσανατολίζεται σε μέτρα επίδειξης και ενεργειακής αποδοτικότητας σε μικρομεσαίες επιχειρήσεις· και μία πολιτική που εστιάζει στα κτίρια του ευρύτερου δημόσιου τομέα και αφορά στην πρόσληψη ενεργειακών υπευθύνων και την εφαρμογή σχεδίων δράσης. Λαμβάνοντας υπόψιν τόσο τις αναμενόμενες εξοικονομήσεις όσο και τα επίπεδα κινδύνου υλοποίησης που σχετίζονται με αυτά, αυτά είναι τα μέτρα που εμφανίζονται ως πλέον εύρωστα, ακολουθούμενα από επενδύσεις στον οδοφωτισμό και τα αντλιοστάσια καθώς και δράσεις σχετικές με την προώθηση των πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης.

Ένα ακόμη σπουδαίο εύρημα είναι ότι η θεώρηση της ευπάθειας κάθε μέτρου σε κινδύνους που δύναται να εμποδίσουν την επιτυχή υλοποίησή του μεταβάλλει σημαντικά τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης. Αξίζει να σημειωθεί για παράδειγμα ότι, παρά τις αναμενόμενες υψηλές συνεισφορές τους στην ενεργειακή αποδοτικότητα, μόνο ένα εκ των πολύ ριψοκίνδυνων μέτρων πολιτικής (η ανάθεση καθηκόντων ενεργειακών υπευθύνων και εφαρμογή ΣΔΕΑ σε δημόσια κτίρια) εν τέλει περιλαμβάνεται στα υποβέλτιστα χαρτοφυλάκια.

Η πολυστοχική φύση της διαδικασίας μοντελοποίησης παρέχει ευελιξία επιλογής ανάμεσα σε πολλαπλά υποβέλτιστα σενάρια, εν τέλει επιτρέποντας την επιλογή της κατεύθυνσης που είναι ευθυγραμμισμένη με τα επίπεδα αποστροφής κινδύνου των αποφασιζόντων καθώς και με άλλους πολιτικούς περιορισμούς και προτιμήσεις. Ωστόσο, με την χρήση των ΑΓΧ, στο τελευταίο στάδιο, επιτρέπεται η αποτύπωση της σκέψης και γνώσης των εμπειρογνομόνων με τρόπο που διευκολύνει την επιλογή του ενός βέλτιστου χαρτοφυλακίου εκ των πολλών που περιλαμβάνονται στην καμπύλη Pareto.

Άλλα ζητήματα προς περαιτέρω διερεύνηση προοπτικά αφορούν στην θεμελίωση ευρύτερων οπτικών στην αξιολόγηση και διαχείριση κινδύνου. Μία ευρύτερη ανάλυση του κινδύνου οφείλει να επεκτείνει το δείγμα των εμπλεκόμενων εμπειρογνομόνων και των ενδιαφερόμενων φορέων που αυτοί εκπροσωπούν, το οποίο εν προκειμένω περιορίζεται στους βασικότερους, πλην όχι αποκλειστικούς: τους φορείς χάραξης πολιτικής. Οι εξελίξεις στις επιστημονικές διεργασίες προς υποστήριξη της διαμόρφωσης ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής, όπως αποτυπώνονται στο προτεινόμενο επιστημονικό υπόδειγμα της διδακτορικής διατριβής, υποδεικνύουν ότι ποικίλο πλήθος ενδιαφερόμενων φορέων θεωρούνται σχετικοί με τέτοιες διεργασίες, συμπεριλαμβανομένων των εκπροσώπων του ιδιωτικού και δημόσιου τομέα, ερευνητών, ΜΚΟ, θεσμών που δραστηριοποιούνται ενεργά στην τεχνολογική καινοτομία, καθώς και εκπροσώπων κοινωνικών ομάδων και κοινοτήτων (Doukas et al., 2018). Επίσης, και το μοντελικό κομμάτι μπορεί να επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνει

επιπρόσθετους περιορισμούς και κριτήρια αξιολόγησης, όπως κοινωνικές επιπτώσεις, προεκτάσεις για την ανεργία και άλλα κοινωνικά οφέλη.

12.7 Βιβλιογραφία

- Allan, G., Eromenko, I., McGregor, P., Swales, K. (2011). The Regional Electricity Generation Mix in Scotland: A Portfolio Selection Approach Incorporating Marine Technologies. *Energy Policy*, 39, 6–22. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.08.028>.
- Anagnostopoulos, K. P., & Mamanis, G. (2010). A portfolio optimization model with three objectives and discrete variables. *Computers & Operations Research*, 37(7), 1285–1297. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2009.09.009>
- Angelopoulos, D., Doukas, H., Psarras, J., & Stamtsis, G. (2017). Risk-based analysis and policy implications for renewable energy investments in Greece. *Energy Policy*, 105, 512–523. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.02.048>
- Antunes, C. H., & Henriques, C. O. (2016). Multi-Objective Optimization and Multi-Criteria Analysis Models and Methods for Problems in the Energy Sector. In *Multiple Criteria Decision Analysis* (pp. 1067–1165). Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4_25
- Arnesano, M., Carlucci, A.P., Laforgia, D. (2012). Extension of portfolio theory application to energy planning problem – The Italian case. *Energy, Sustainable Energy and Environmental Protection* 2010, 39, 112–124.
- Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.053>
- Awerbuch, S., & Berger, M. (2003). Applying portfolio theory to EU electricity planning and policy making (IEA/EET working paper; report number EET/2003/03).
- Babaei, S., Sepehri, M. M., & Babaei, E. (2015). Multi-objective portfolio optimization considering the dependence structure of asset returns. *European Journal of Operational Research*, 244(2), 525–539. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.01.025>
- Banerjee, A., Solomon, B.D. (2003). Eco-labeling for energy efficiency and sustainability: a meta-evaluation of US programs. *Energy Policy* 31, 109–123. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00012-5](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00012-5)
- Baños, R., Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Gil, C., Alcayde, A., & Gómez, J. (2011). Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 1753–1766. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.12.008>
- Bazilian, M., & Roques, F. (2008). Analytic methods for energy diversity and security. *Applications of Mean Variance Portfolio Theory. A tribute to Shimon Awerbuch*
- Bertoldi, P., Rezessy, S., Lees, E., Baudry, P., Jeandel, A., & Labanca, N. (2010). Energy supplier obligations and white certificate schemes: Comparative analysis of experiences in the European Union. *Energy Policy*, 38(3), 1455–1469.
- Bhattacharya, A., & Kojima, S. (2012). Power sector investment risk and renewable energy: A Japanese case study using portfolio risk optimization method. *Energy Policy*, 40, 69–80.
- Bistline, J. E. (2016). Energy technology R&D portfolio management: Modeling uncertain returns and market diffusion. *Applied Energy*, 183, 1181–1196. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.062>
- Brand, B., & Missaoui, R. (2014). Multi-criteria analysis of electricity generation mix scenarios in Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 251–261. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.069>
- Branke, J., Scheckenbach, B., Stein, M., Deb, K., & Schmeck, H. (2009). Portfolio optimization with an envelope-based multi-objective evolutionary algorithm. *European Journal of Operational Research*, 199(3), 684–693. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.01.054>

- Bruce, A. M. (2013). *McCarl Expanded GAMS User Guide*, GAMS Release 24.2. 1. Washington, DC: GAMS Development Corporation.
- Bukarica, V., & Tomšić, Ž. (2017). Energy efficiency policy evaluation by moving from techno-economic towards whole society perspective on energy efficiency market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 968–975. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.002>
- Buoro, D., Casisi, M., De Nardi, A., Pinamonti, P., & Reini, M. (2013). Multicriteria optimization of a distributed energy supply system for an industrial area. *Energy*, 58, 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.12.003>
- Bürer, M. J., & Wüstenhagen, R. (2008). Cleantech venture investors and energy policy risk: An exploratory analysis of regulatory risk management strategies. In *Sustainable Innovation and Entrepreneurship* (pp. 290–309). <https://doi.org/10.4337/9781848441552.00022>
- Büyükožkan, G., & Gülerüz, S. (2017). Evaluation of Renewable Energy Resources in Turkey using an integrated MCDM approach with linguistic interval fuzzy preference relations. *Energy (Oxford)*, 123, 149–163.
- Bye, B., Fæhn, T., & Rosnes, O. (2018). Residential energy efficiency policies: Costs, emissions and rebound effects. *Energy*, 143, 191–201. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.103>
- Chankong, V., & Haimes, Y. Y. (2008). *Multiobjective decision making: theory and methodology*. Courier Dover Publications.
- Chen, C.-T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00377-1](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1)
- DeLlano-Paz, F., Antelo, S. I., Silvosa, A. C., & Soares, I. (2014). The technological and environmental efficiency of the EU-27 power mix: An evaluation based on MPT. *Energy*, 69, 67–81.
- Deluque, I., Shittu, E., Deason, J. (2018). Evaluating the reliability of efficient energy technology portfolios. *EURO J. Decis. Process.* 6, 115–138. <https://doi.org/10.1007/s40070-018-0077-4>
- Dóci, G., & Gotchev, B. (2016). When energy policy meets community: Rethinking risk perceptions of renewable energy in Germany and the Netherlands. *Energy Research & Social Science*, 22, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.019>
- Doerner, K., Gutjahr, W. J., Hartl, R. F., Strauss, C., & Stummer, C. (2004). Pareto ant colony optimization: A metaheuristic approach to multiobjective portfolio selection. *Annals of Operations Research*, 131(1–4), 79–99. <https://doi.org/10.1023/B:ANOR.0000039513.99038.c6>
- Doukas, H., & Nikas, A. (2019). *Decision Support Models in Climate Policy*. *European Journal of Operational Research*.
- Doukas, H., Karakosta, C., Flamos, A. and Psarras, J. (2014). Foresight for energy policy: techniques and methods employed in Greece. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 9(2), pp.109–119.
- Doukas, H., Nikas, A., González-Eguino, M., Arto, I., & Anger-Kraavi, A. (2018). From Integrated to Integrative: Delivering on the Paris Agreement. *Sustainability*, 10(7), 2299.
- Economidou, M., Labanca, N., Castellazzi, L., Serrenho, T., Bertoldi, P., Zancanella, P., Paci, D., Panev, S., & Gabrielaitiene, I. (2016). Assessment of the first National Energy Efficiency Action plans under the Energy Efficiency Directive. JRC Science for Policy Report. Joint Research Center. Available at: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC102284/jrc102284_jrc%20synthesis%20report_online%20template.pdf
- Enevoldsen, P. (2016). Onshore wind energy in Northern European forests: Reviewing the risks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1251–1262. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.027>
- Escribano Francés, G., Marín-Quemada, J. M., & San Martín González, E. (2013). RES and risk: Renewable energy's contribution to energy security. A portfolio-based approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 549–559. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.015>
- European Commission. (2008). *Europeans' Attitudes towards Climate Change*, Special Eurobarometer 300/Wave 69.2. Brussels, Belgium.
- European Commission. (2013). *Climate Change*, Special Eurobarometer 409/Wave EB80.2. Brussels, Belgium.

- European Commission. (2017). Report from the Commission to the European Parliament and the Council, 2016 assessment of the progress made by Member States in 2014 towards the national energy efficiency targets for 2020 and towards the implementation of the Energy Efficiency Directive 2012/27/EU as required by Article 24 (3) of the Energy Efficiency Directive 2012/27/EU. Available at <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017DC0056&from=EN>
- Gaglia, A.G., Tsikaloudaki, A.G., Laskos, C.M., Dialynas, E.N. and Argiriou, A.A. (2017). The impact of the energy performance regulations' updated on the construction technology, economics and energy aspects of new residential buildings: The case of Greece. *Energy and Buildings*, 155, pp.225-237.
- García, E. R. S., & Morales-Acevedo, A. (2014). Optimizing the energy portfolio of the Mexican electricity sector by 2050 considering CO₂eq emissions and life cycle assessment. *Energy Procedia*, 57, 850-859.
- Gatzert, N., & Kosub, T. (2016). Risks and risk management of renewable energy projects: The case of onshore and offshore wind parks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 982-998. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.103>
- Gatzert, N., & Vogl, N. (2016). Evaluating investments in renewable energy under policy risks. *Energy Policy*, 95, 238-252. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.04.027>
- Hamacher, H. W., Pedersen, C. R., & Ruzika, S. (2007). Finding representative systems for discrete bicriterion optimization problems. *Operations Research Letters*, 35(3), 336-344. <https://doi.org/10.1016/j.orl.2006.03.019>
- Holma, A., Leskinen, P., Myllyviita, T., Manninen, K., Sokka, L., Sinkko, T., & Pasanen, K. (2018). Environmental impacts and risks of the national renewable energy targets – A review and a qualitative case study from Finland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1433-1441. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.146>
- Huang, Y. H., & Wu, J. H. (2008). A portfolio risk analysis on electricity supply planning. *Energy policy*, 36(2), 627-641.
- Hwang, C.L. and Yoon, K. (1981) *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, New York. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>
- International Energy Agency, 2017. *Energy Policies of IEA Countries: Greece, 2017 Review*. Available at <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyPoliciesofIEACountriesGreeceReview2017.pdf>
- Ioannou, A., Angus, A., & Brennan, F. (2017). Risk-based methods for sustainable energy system planning: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74(Supplement C), 602-615. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.082>
- Jackson, J. (2010). Promoting energy efficiency investments with risk management decision tools. *Energy Policy*, 38, 3865-3873. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.006>
- Jun, K.-S., Chung, E.-S., Kim, Y.-G., & Kim, Y. (2013). A Fuzzy Multi-criteria Approach to Flood Risk Vulnerability in South Korea by Considering Climate Change Impacts. *Expert Syst. Appl.*, 40(4), 1003-1013. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.013>
- Kaplanoglou, G. and Rapanos, V.T. (2018). Evolutions in consumption inequality and poverty in Greece: The impact of the crisis and austerity policies. *Review of Income and Wealth*, 64(1), pp.105-126.
- Kaya, T., & Kahraman, C. (2011). Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 6577-6585. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.11.081>
- Kitzing, L. (2014). Risk implications of renewable support instruments: Comparative analysis of feed-in tariffs and premiums using a mean-variance approach. *Energy*, 64, 495-505. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.10.008>
- Kremmel, T., Kubalík, J., & Biffel, S. (2011). Software project portfolio optimization with advanced multiobjective evolutionary algorithms. *Applied Soft Computing*, 11(1), 1416-1426. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2010.04.013>

- Krink, T., & Paterlini, S. (2011). Multiobjective optimization using differential evolution for real-world portfolio optimization. *Computational Management Science*, 8(1–2), 157–179. <https://doi.org/10.1007/s10287-009-0107-6>
- Krohling, R. A., & Campanharo, V. C. (2011). Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 4190–4197. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.09.081>
- Losekann, L., Marrero, G.A., Ramos-Real, F.J., de Almeida, E.L.F. (2013). Efficient power generating portfolio in Brazil: Conciliating cost, emissions and risk. *Energy Policy*, 62, 301–314. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.049>
- Loulou, R., Remme, U., Kanudia, A., Lehtila, A., & Goldstein, G. (2005). Documentation for the TIMES Model Part II. Energy technology systems analysis programme (ETSAP).
- Lwin, K., Qu, R., & Kendall, G. (2014). A learning-guided multi-objective evolutionary algorithm for constrained portfolio optimization. *Applied Soft Computing*, 24, 757–772. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.08.026>
- Macedo, L. L., Godinho, P., & Alves, M. J. (2017). Mean-semivariance portfolio optimization with multiobjective evolutionary algorithms and technical analysis rules. *Expert Systems with Applications*, 79, 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.02.033>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The journal of finance*, 7(1), 77–91. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1952.tb01525.x>.
- Marrero, G. A., Puch, L. A., & Ramos-Real, F. J. (2015). Mean-variance portfolio methods for energy policy risk management. *International Review of Economics & Finance*, 40, 246–264. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2015.02.013>
- Mavrotas, G, & Pechak, O. (2013). The trichotomic approach for dealing with uncertainty in project portfolio selection: Combining MCDA, mathematical programming and Monte Carlo simulation. *Int. J. of Multicriteria Decision Making*, 3, 79–96. <https://doi.org/10.1504/IJMCDM.2013.052474>
- Mavrotas, G. (2009). Effective implementation of the ϵ -constraint method in multi-objective mathematical programming problems. *Applied mathematics and computation*, 213(2), 455–465.
- Mavrotas, G., & Florios, K. (2013). An improved version of the augmented ϵ -constraint method (AUGMECON₂) for finding the exact pareto set in multi-objective integer programming problems. *Applied Mathematics and Computation*, 219(18), 9652–9669.
- Mavrotas, G., Figueira, J.R., Siskos, E. (2015a). Robustness analysis methodology for multi-objective combinatorial optimization problems and application to project selection. *Omega*, 52, 142–155. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.005>
- Mavrotas, G., Pechak, O., Siskos, E., Doukas, H., Psarras, J. (2015b). Robustness analysis in Multi-Objective Mathematical Programming using Monte Carlo simulation. *European Journal of Operational Research*, 240(1), 193–201. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.06.039>
- Metaxiotis, K., & Liagkouras, K. (2012). Multiobjective Evolutionary Algorithms for Portfolio Management: A comprehensive literature review. *Expert Systems with Applications*, 39(14), 11685–11698. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.04.053>
- Ministry of Environment and Energy. (2014). 3rd National Energy Efficiency Action Plan, Pursuant to Article 24(2) of Directive 2012/27/EU. Available at <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20142207.pdf>.
- Ministry of Environment and Energy. (2016). Annual Report on the Achievement of National Energy Efficiency Targets, pursuant to Article 24(1) of Directive 2012/27/EU. Available at https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/el_2016_energy_efficiency_annual_report_en.pdf
- Ministry of Environment and Energy. (2017). 4th National Energy Efficiency Action Plan, Pursuant to Article 24(2) of Directive 2012/27/EU. Available at https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/el_neeap_2017_el.pdf.

- Montanari, R. (2004). Environmental efficiency analysis for enel thermo-power plants. *Journal of Cleaner Production*, 4(12), 403–414. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(03\)00015-5](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(03)00015-5)
- Mourhir, A., Rachidi, T., Papageorgiou, E. I., Karim, M., & Alaoui, F. S. (2016). A Cognitive Map Framework to Support Integrated Environmental Assessment. *Environ. Model. Softw.*, 77(C), 81–94. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.11.018>
- Muñoz, J.I., Sánchez de la Nieta, A.A., Contreras, J., Bernal-Agustín, J.L. (2009). Optimal investment portfolio in renewable energy: The Spanish case. *Energy Policy*, 37, 5273–5284. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.07.050>
- Nikas, A., Doukas, H., & López, L. M. (2018). A group decision making tool for assessing climate policy risks against multiple criteria. *Heliyon*, 4(3), e00588.
- Nikas, A., Doukas, H., & Papandreou, A. (2019a). A detailed overview and consistent classification of climate-economy models. In *Understanding Risks and Uncertainties in Energy and Climate Policy* (pp. 1–54). Springer, Cham.
- Nikas, A., Doukas, H., Lieu, J., Alvarez Tinoco, R., Charisopoulos, V., & van der Gaast, W. (2017). Managing stakeholder knowledge for the evaluation of innovation systems in the face of climate change. *Journal of Knowledge Management*, 21(5), 1013–1034.
- Nikas, A., Ntanos, E., & Doukas, H. (2019b). A semi-quantitative modelling application for assessing energy efficiency strategies. *Applied Soft Computing*, 76, 140–155.
- O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D.P., Birkmann, J., Kok, K., & Levy, M. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169–180.
- Onu, P. U., Quan, X., Xu, L., Orji, J., & Onu, E. (2017). Evaluation of sustainable acid rain control options utilizing a fuzzy TOPSIS multi-criteria decision analysis model frame work. *Journal of Cleaner Production*, 141, 612–625. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.065>
- Pai, G. A. V., & Michel, T. (2014). Metaheuristic multi-objective optimization of constrained futures portfolios for effective risk management. *Swarm and Evolutionary Computation*, 19, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2014.08.002>
- Papoulis, D., Kaika, D., Bampatsou, C. and Zervas, E. (2015). Public Perception of Climate Change in a Period of Economic Crisis. *Climate*, 3(3), pp.715–726.
- Pérez Odeh, R., Watts, D., & Flores, Y. (2017). Planning in a changing environment: Applications of portfolio optimisation to deal with risk in the electricity sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.089>
- Pérez Odeh, R., Watts, D., & Negrete-Pincetic, M. (2018). Portfolio applications in electricity markets review: Private investor and manager perspective trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(Part 1), 192–204. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.031>
- Pohekar, S. D., & Ramachandran, M. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8(4), 365–381. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2003.12.007>
- Ponsich, A., Jaimes, A. L., & Coello, C. A. C. (2013). A Survey on Multiobjective Evolutionary Algorithms for the Solution of the Portfolio Optimization Problem and Other Finance and Economics Applications. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 17(3), 321–344. <https://doi.org/10.1109/TEVC.2012.2196800>
- Ribeiro, D. (2018). Developments in Local Energy Efficiency Policy: a Review of Recent Progress and Research. *Curr. Sustain. Energy Rep.*, 5, 109–115. <https://doi.org/10.1007/s40518-018-0105-9>
- Saheb, Y., & Ossenbrink, H. (2015). Securing energy efficiency to secure the energy union. European Union, Luxembourg. DOI, 10, 03260.

- Sakthivel, G., Ilangkumaran, M., & Gaikwad, A. (2015). A hybrid multi-criteria decision modeling approach for the best biodiesel blend selection based on ANP-TOPSIS analysis. *Ain Shams Engineering Journal*, 6(1), 239–256. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2014.08.003>
- Simoglou, C.K., Bakirtzis, E.A., Biskas, P.N. and Bakirtzis, A.G. (2018). Probabilistic evaluation of the long-term power system resource adequacy: The Greek case. *Energy Policy*, 117, pp.295-306.
- Spyridaki, N.A., Ioannou, A., Flamos, A. and Oikonomou, V. (2016). An ex-post assessment of the regulation on the energy performance of buildings in Greece and the Netherlands—a cross-country comparison. *Energy Efficiency*, 9(2), pp.261-279.
- Stavrakakis, Y. and Katsambekis, G. (2018). The populism/anti-populism frontier and its mediation in crisis-ridden Greece: from discursive divide to emerging cleavage?. *European Political Science*, pp.1-16.
- Steuer, R. (1989). *Multiple criteria optimization: Theory, computation and application*. Malabar, Fla.: Krieger, 1989.
- Stummer, C., & Heidenberger, K. (2001). Interactive R&D portfolio selection considering multiple objectives, project interdependencies, and time: A three-phase approach (pp. 423–428). Presented at the PICMET.
- Suganthi, L., Iniyan, S., & Samuel, A. A. (2015). Applications of fuzzy logic in renewable energy systems—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 585-607. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.037>
- Szumilo, N., & Fuerst, F. (2017). Income risk in energy efficient office buildings. *Sustainable Cities and Society*, 34, 309–320. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.06.024>
- Tang, T., & Hill, H. (2018). Implementation and Impacts of Intergovernmental Grant Programs on Energy Efficiency in the USA. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 5(1), 59-66.
- Thollander, P., Danestig, M., Rohdin, P. (2007). Energy policies for increased industrial energy efficiency: Evaluation of a local energy programme for manufacturing SMEs. *Energy Policy*, 35, 5774–5783. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.06.013>
- Thoyre, A. (2015). Energy efficiency as a resource in state portfolio standards: Lessons for more expansive policies. *Energy Policy*, 86, 625–634. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.015>
- Togebly, M., Dyhr-Mikkelsen, K., Larsen, A.E., Bach, P. (2012). A Danish case: portfolio evaluation and its impact on energy efficiency policy. *Energy Effic.*, 5, 37–49. <https://doi.org/10.1007/s12053-011-9117-7>
- Vine, E., Rhee, C.H., Lee, K.D. (2006). Measurement and evaluation of energy efficiency programs: California and South Korea. *Energy, Electricity Market Reform and Deregulation*, 31, 1100–1113. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.03.003>
- Vithayasrichareon, P., & MacGill, I. F. (2012b). A Monte Carlo based decision-support tool for assessing generation portfolios in future carbon constrained electricity industries. *Energy policy*, 41, 374–392. 374–392. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.10.060>
- Vithayasrichareon, P., MacGill, I.F. (2012a). Portfolio assessments for future generation investment in newly industrializing countries – A case study of Thailand. *Energy*, 44, 1044–1058. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.04.042>
- Wei-guo, F., & Hong, Z. (2007). A multi-attribute group decision-making method approaching to group ideal solution. In 2007 IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services (pp. 815–819). <https://doi.org/10.1109/GSIS.2007.4443387>
- Wu, Y., Xu, C., Ke, Y., Chen, K., & Sun, X. (2018). An intuitionistic fuzzy multi-criteria framework for large-scale rooftop PV project portfolio selection: Case study in Zhejiang, China. *Energy*, 143, 295-309. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.105>
- Yushchenko, A., & Patel, M. K. (2016). Contributing to a green energy economy? A macroeconomic analysis of an energy efficiency program operated by a Swiss utility. *Applied energy*, 179, 1304-1320.
- Zerva, A., Tsantopoulos, G., Grigoroudis, E. and Arabatzis, G. (2018). Perceived citizens' satisfaction with climate change stakeholders using a multicriteria decision analysis approach. *Environmental Science & Policy*, 82, pp.60-70.

- Zhang, Y.-J., & Chen, M.-Y. (2017). Evaluating the dynamic performance of energy portfolios: Empirical evidence from the DEA directional distance function. *European Journal of Operational Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.08.008>
- Zhu, L., & Fan, Y. (2010). Optimization of China's generating portfolio and policy implications based on portfolio theory. *Energy*, 35(3), 1391–1402. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.11.024>

13ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αποσκοπούσε στην ανάπτυξη μίας ολοκληρωμένης προσέγγισης για την αντιμετώπιση προβλημάτων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή και την υποστήριξη της διαμόρφωσης σχεδίων δράσης για την ενέργεια και το κλίμα σε διαφορετικά επίπεδα διακυβέρνησης.

Στο Κεφάλαιο 2, περιγράφηκε αναλυτικά ο χώρος του προβλήματος. Μία ερευνητική καινοτομία της διατριβής βρίσκεται στην προσπάθεια καθορισμού μίας συνεπούς ορολογίας για τις έννοιες του κινδύνου και της αβεβαιότητας στην κλιματική πολιτική. Με βάση αυτήν την ορολογία και με γνώμονα τη λεπτομερή καταγραφή των σύγχρονων προκλήσεων που θέτουν η έως τώρα πρόοδος της κλιματικής δράσης και οι σύγχρονες πολιτικές κατευθύνσεις, προσδιορίστηκαν οι αδυναμίες του υφιστάμενου επιστημονικού υποδείγματος και αναδείχθηκε η ανάγκη διαμόρφωσης ενός νέου. Στα επόμενα δύο κεφάλαια, πραγματοποιήθηκε μία λεπτομερής επισκόπηση και ανασκόπηση των επιστημονικών εργαλείων που, μαζί με τη συμμετοχή των εμπειρογνομόνων, απαρτίζουν το προτεινόμενο επιστημονικό υπόδειγμα: τα μοντέλα κλίματος-οικονομίας και τα επιλεγμένα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων. Έτσι, μία άλλη συνεισφορά της διδακτορικής διατριβής, πέραν της για πρώτη φορά αναλυτικής βιβλιογραφικής ανασκόπησης των συστημάτων αποφάσεων στον διεπιστημονικό κλάδο της κλιματικής αλλαγής και πολιτικής, βρίσκεται στην έως τώρα πληρέστερη οργάνωση και κατηγοριοποίηση των μοντέλων ολοκληρωμένης αποτίμησης.

Τα Κεφάλαια 5 έως 7 παρουσιάζουν αναλυτικά τρεις ακόμη ερευνητικές συνεισφορές της παρούσας εργασίας, δηλαδή τα τρία εργαλεία υποστήριξης κλιματικών και ενεργειακών αποφάσεων που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της διατριβής. Το πρώτο εργαλείο αφορά στην διαχείριση της γνώσης των εμπειρογνομόνων για την αξιολόγηση Συστημάτων Καινοτομίας υπό το πρίσμα της κλιματικής αλλαγής, το δεύτερο στην υποστήριξη της αξιολόγησης εναλλακτικών στρατηγικών κλιματικής και ενεργειακής πολιτικής από την οπτική γωνία των εμπειρογνομόνων, μέσω των ασαφών γνωστικών χαρτών, και το τρίτο στην υποστήριξη της πολυκριτήριας αξιολόγησης κινδύνων που σχετίζονται με μέτρα ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής, έναντι πολλαπλών κριτηρίων και από πολλαπλούς αποφασίζοντες. Παρότι διαφέρουν ως προς τη μεθοδολογία στην οποία βασίζονται και την εφαρμογή της οποίας αναπτύχθηκαν να υποστηρίξουν, και τα τρία εργαλεία που αναπτύχθηκαν (MATISE, ESQAPE και MACE-DSS) πλαισιώθηκαν στο πεδίο της ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής και σχεδιάστηκαν για να υποστηρίξουν τη συμμετοχή των εμπειρογνομόνων και λοιπών ενδιαφερόμενων φορέων στη λήψη αποφάσεων για την κλιματική δράση. Για την μεθοδολογία της ανάλυσης χαρτοφυλακίων δεν αναπτύχθηκε ξεχωριστό εργαλείο αφού στο πλαίσιο της διατριβής αξιοποιήθηκαν διαφορετικές επιστημονικές προσεγγίσεις και ως πλατφόρμα υλοποίησης χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον GAMS.

Τέλος, το προτεινόμενο επιστημονικό υπόδειγμα εφαρμόστηκε σε πέντε μελέτες περίπτωσης. Η πρώτη μελέτη περίπτωσης αφορούσε στη διερεύνηση και εκτίμηση του μεγέθους των πιθανών κινδύνων που

σχετίζονται με την πράσινη μετάβαση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος, η δεύτερη στην διερεύνηση βέλτιστων χαρτοφυλακίων μακροπρόθεσμης κλιματικής πολιτικής και τεχνολογικών επενδύσεων στο ευρωπαϊκό τεχνολογικό μίγμα ηλεκτροπαραγωγής, η τρίτη στην εύρεση κατάλληλων μονοπατιών μετάβασης του πολωνικού ενεργειακού συστήματος, η τέταρτη στην καταγραφή του υφιστάμενου ρυθμιστικού και πολιτικού πλαίσιο του κινεζικού κτιριακού τομέα και στην αξιολόγηση των ορατών κινδύνων που πιθανώς σχετίζονται με τις οραματιζόμενες κλιματικές πολιτικές, και η πέμπτη στην διαμόρφωση του βραχυπρόθεσμου ρυθμιστικού πλαισίου ενεργειακής αποδοτικότητας στην Ελλάδα.

Από εμπειρικής σκοπιάς, είναι εμφανές ότι δεν υπάρχει ένα συγκεκριμένο πρότυπο ενεργειακής μετάβασης για όλα τα μήκη και πλάτη του κόσμου. Οικονομικοί, κοινωνικοί, πολιτικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες μπορεί να ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ διαφορετικών χωρών ή και πόλεων, παρουσιάζοντας ένα μεταβλητό πρότυπο κινδύνων, ευκαιριών και προκλήσεων για τη διάχυση μίας πράσινης τεχνολογίας, σχετικών πολιτικών και συμπεριφορικών αλλαγών. Ωστόσο, σε ευρύτερο πλαίσιο, ορισμένοι κίνδυνοι μπορούν να θεωρηθούν κοινοί ανάμεσα στις διαφορετικές μελέτες περίπτωσης.

Για παράδειγμα, οι εμπειρογνώμονες αναμένουν ότι οι τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα οδηγούν σε περιβαλλοντικά οφέλη, κυρίως μέσω του μετριασμού της κλιματικής αλλαγής και της βελτίωσης της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Ωστόσο, οι τεχνολογίες αυτές μπορεί να έχουν και αρνητικές συνέπειες (π.χ. αλλαγές στη χρήση της γης).

Σε άλλο παράδειγμα, κυβερνητικοί μηχανισμοί για την ελαχιστοποίηση των οικονομικών κινδύνων των επενδύσεων, μέσω της παροχής οικονομικών κινήτρων σε επενδυτές και νοικοκυριά, μπορεί να εκθέσουν τόσο τις κυβερνήσεις όσο και τους τελικούς ενεργειακούς καταναλωτές σε σημαντικά οικονομικά ρίσκα. Παρότι οι κυβερνήσεις μπορούν να εφαρμόσουν μέτρα διαχείρισης αυτού του κινδύνου, δεν έχουν παρά περιορισμένο έλεγχο πολλαπλών παραγόντων, όπως τα κόστη των φωτοβολταϊκών συστημάτων, οι τιμές ηλεκτρισμού, ή οι περιφερειακές (π.χ. Κοινοτικές) ενεργειακές και κλιματικές οδηγίες.

Η καλή διακυβέρνηση είναι απαραίτητη για την επιτυχή υλοποίηση των μονοπατιών μετάβασης. Η διάχυση των απαιτούμενων τεχνολογιών και η εφαρμογή των πολιτικών συχνά απαιτούν σωστό συντονισμό μεταξύ των διαφορετικών θεσμών, σε διαφορετικά επίπεδα διακυβέρνησης. Η συνεργασία αυτών μπορεί ορισμένες φορές να αποβεί δύσκολη, εξαιτίας κακής επικοινωνίας, διαφορετικών προτεραιοτήτων και διαφωνιών μεταξύ διαφορετικών συντελεστών και υπηρεσιών. Η ποιότητα της διακυβέρνησης αφορά και τους μηχανισμούς υποστήριξης: οι διεργασίες εποπτείας και επιβολής του πολιτικού πλαισίου είναι κρίσιμες για την επιτυχία ενός μηχανισμού, αλλά συχνά υποτιμώνται και δεν λαμβάνουν την απαιτούμενη προσοχή ή/και χρηματοδότηση.

Οι κυρίαρχες βιομηχανίες δύνανται να οχυρώνονται μέσα στις κοινωνικοοικονομικές νόρμες μίας κοινωνίας. Οι πολιτικοί συχνά διστάζουν να υποστηρίξουν πράσινες μεταβάσεις, εάν υπάρχουν κίνδυνοι που διαρρηγνύουν το status quo, ειδικά εάν πιστεύουν ότι αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα αρνητικές αντιδράσεις από τους πολίτες. Αν μη τι άλλο, οι πολιτικοί έχουν τη δυνατότητα να κλονίσουν τέτοιους μηχανισμούς και να διευκολύνουν τις απαιτούμενες αλλαγές και μεταβάσεις, ωστόσο αυτό δεν είναι εύκολο σε χώρες με ασταθείς πολιτικές σκηνές.

Η κοινωνική αντίσταση στην πραγματοποίηση των πράσινων μεταβάσεων μπορεί να μετριαστεί μέσω του προσεκτικού σχεδιασμού και της ενσωμάτωσης όλων των κοινωνικών ομάδων στη διαδικασία

χάραξης πολιτικής. Η κοινωνική αποδοχή είναι ευκολότερο να επιτευχθεί εάν οι τεχνολογίες και οι πολιτικές ανταποκρίνονται στο τοπικό πλαίσιο στο οποίο αναπτύσσονται και εφαρμόζονται, και δεν αναμένονται να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στους πολίτες. Τέτοιες επιπτώσεις περιλαμβάνουν από φτωχοποίηση (κλιματική και ενεργειακή φτώχεια), και κοινωνικές ανισότητες, έως ανισοβαρείς οικονομικές επιβαρύνσεις και αύξηση της ανεργίας.

Από μεθοδολογικής σκοπιάς, η εφαρμογή του προτεινόμενου επιστημονικού υποδείγματος επισημαίνει ότι η διαμόρφωση κλιματικής πολιτικής μπορεί να επωφεληθεί σημαντικά από ολοκληρωμένες προσεγγίσεις, στις οποίες διαφορετικές μεθοδολογίες βασισμένες στα συγκεκριμένα εργαλεία δύνανται να συμπληρώσουν η μία την άλλη, προκειμένου να δώσουν εύρωστα αποτελέσματα που χαίρουν ευρείας αποδοχής και εμπιστοσύνης. Η ενίσχυση της διεπαφής μεταξύ έρευνας και πολιτικής και η σχεδίαση επιστημονικών διεργασιών με γνώμονα τους τρεις άξονες του επιστημονικού υποδείγματος της διδακτορικής διατριβής (ΜΟΑ, γνώση εμπειρογνομόνων, πολυδιάστατα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων), μπορεί να οδηγήσει σε συστάσεις πολιτικής που δύνανται να προωθήσουν οικονομικά βιώσιμες, τεχνολογικά εφικτές, κοινωνικά αποδεκτές, εύρωστες και αποτελεσματικές μεταβάσεις σε κοινωνίες χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Με βάση τα αποτελέσματα των μελετών περίπτωσης, φαίνεται πως τα επιλεχθέντα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων μπορούν να αξιοποιηθούν αποτελεσματικά προς αυτήν την κατεύθυνση.

Συγκεκριμένα, δεδομένων των καθοδηγούμενων από εμπειρογνώμονες διεργασιών τους, οι ΑΓΧ αποτελούν κατάλληλο μεθοδολογικό πλαίσιο για τη σύγκριση και αξιολόγηση εναλλακτικών επιλογών σε όρους αποτελεσματικότητας και βιωσιμότητας από την οπτική πλευρά των εμπειρογνομόνων. Προς αυτήν την κατεύθυνση και λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι περισσότερες μελέτες ολοκληρωμένης αποτίμησης μπορούν βάσει συγκεκριμένων υποθέσεων να οδηγήσουν σε γενικευμένα συμπεράσματα για συγκεκριμένα μονοπάτια πολιτικών, οι ΑΓΧ δύνανται να χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά για την αξιολόγηση διαφορετικών στρατηγικών που προάγουν αυτά τα μονοπάτια, όπως συνιστούν και υφιστάμενα παραδείγματα στη βιβλιογραφία. Εναλλακτικά, ως ένα δομημένο και αποτελεσματικό πλαίσιο εξαγωγής ανθρώπινης γνώσης, οι ΑΓΧ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελέτες κλιματικής πολιτικής για την ορθή πληροφόρηση των ΜΟΑ, αποσκοπώντας στην γεφύρωση του χάσματος μεταξύ ερευνητών και ενδιαφερόμενων φορέων.

Τα ΠΣΥΑ, από την άλλη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για την εστίαση σε συγκεκριμένες πτυχές του χώρου προβλήματος της κλιματικής αλλαγής και πολιτικής, οι οποίες απαιτούν τη σύγκριση πολλαπλών εναλλακτικών δράσεων (π.χ. στρατηγικών πολιτικής) με πολλαπλά κριτήρια αξιολόγησης, συχνά βάσει της ποιοτικής πληροφορίας πολλαπλών ενδιαφερόμενων φορέων ή αποφασιζόντων. Τα ΠΣΥΑ μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση και αξιολόγηση σεναρίων που προκύπτουν από ΜΟΑ. Πιο σημαντικά, η λήψη αποφάσεων στην κλιματική δράση μπορεί να επωφεληθεί σημαντικά από προσεγγίσεις πολυκριτήριας αξιολόγησης κινδύνου, και να συμπληρώσουν τα ΜΟΑ, αντιμετωπίζοντας και τις δύο βασικές τους αδυναμίες, δηλαδή την περιορισμένη συμμετοχή ενδιαφερόμενων φορέων και τις ελλείψεις στην αξιολόγηση των σχετικών με την κλιματική πολιτική κινδύνων και αβεβαιοτήτων, μεγιστοποιώντας έτσι τη διακυβέρνηση τόσο της κλιματικής δράσης όσο και του κινδύνου σε αυτήν.

Τέλος, η ΑΧ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μία προσέγγιση περαιτέρω ανάλυσης των αποτελεσμάτων των ΜΟΑ, μέσω του προσδιορισμού των βέλτιστων συνδυασμών περιουσιακών στοιχείων (επενδύσεων, τεχνολογιών, φόρων άνθρακα, επιδοτήσεων και άλλων χρηματοοικονομικά ποσοτικοποιήσιμων μέτρων πολιτικής). Η έμφυτη δυνατότητα της ΑΧ να δίνει έμφαση στην ευρωστία,

μέσω της κατασκευής σεναρίων και της αξιοποίησης στοχαστικών κατανομών για έναν αριθμό παραμέτρων, την καθιστά ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την καταπόνηση των μοντελικών αποτελεσμάτων και την εστίαση σε αβέβαιες πτυχές της κλιματικής αλλαγής και πολιτικής, με σκοπό τη διαμόρφωση χαρτοφυλακίων πολιτικής που είναι λιγότερο ευπαθή στις πλέον πιθανές μελλοντικές εξελίξεις.

Συμπερασματικά, τα μοντέλα κλίματος-οικονομίας αναπαριστούν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποτίμηση κινδύνων που επί της ουσίας διαφέρουν, και ορίζονται και ποσοτικοποιούνται ακριβέστερα, από αυτούς για τους οποίους συζητούν οι εμπειρογνώμονες. Οι τελευταίοι αναφέρονται σε κινδύνους και αβεβαιότητες που οι επιστήμονες αδυνατούν ή αποφεύγουν να προσπαθήσουν να θεωρήσουν στα μοντέλα τους. Συχνά, αυτό οφείλεται απλώς στους περιορισμούς ενός ΜΟΑ, καθώς οι διεργασίες μοντελοποίησης για την υποστήριξη της πολιτικής έχουν νόημα μόνο εάν (α) υπάρχει ένας λογικός τρόπος αναπαράστασης του κινδύνου και (β) δύναται να αναπαρασταθεί μία εναλλακτική ως αποτέλεσμα μίας αλλαγής στην πολιτική.

Ταυτόχρονα, αυτό δεν πρέπει να αποτελεί δικαιολογία για τη μη θεώρηση κινδύνων που δεν δύνανται να ποσοτικοποιηθούν στα υφιστάμενα πλαίσια μοντελοποίησης κλίματος-οικονομίας. Απαιτείται έτσι η βελτίωση και η επέκταση των υφιστάμενων μοντέλων, ή η ανάπτυξη νέων που ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής και δράσης. Εάν αυτό δεν καθίσταται εφικτό, οι πληροφορίες που αφορούν στο πλαίσιο μίας μελέτης περίπτωσης οφείλουν να διατηρούνται, και τα ποσοτικά μοντέλα να ενσωματώνονται σε ολοκληρωμένες επιστημονικές προσεγγίσεις, μαζί με ποιοτικές μεθοδολογίες, γνώσεις εμπειρογνώμωνων και εργαλεία γεφύρωσης των διαφόρων φορέων, πληροφοριών και διεργασιών, όπως στο προτεινόμενο επιστημονικό υπόδειγμα.

Επίσης, οι επιστήμονες που συμμετέχουν στην ανάπτυξη και χρήση των μοντέλων οφείλουν να είναι παρόντες σε συμμετοχικές διαδικασίες, επιτρέποντας στις ενδιαφερόμενες ομάδες να αμφισβητούν και να επαναπροσδιορίζουν τις μοντελικές υποθέσεις αλλά και να ενημερώνονται επαρκώς επί των πραγματικών δυνατοτήτων των μοντέλων καθώς και επί των ερευνητικών και πολιτικών ερωτημάτων που αυτά τα μοντέλα έχουν στο παρελθόν κληθεί να απαντήσουν. Σε τέτοιες, πραγματικά αντιπροσωπευτικές συμμετοχικές διαδικασίες, οι επιστήμονες μπορούν να αποκρίνονται στα ερωτήματα των εμπειρογνώμωνων και να ενσωματώνουν τη γνώση τους στα μοντέλα τους.

Ορισμένοι πραγματικοί οικονομικοί κίνδυνοι μπορούν να μετατοπίζουν τα μονοπάτια μετάβασης σε κατευθύνσεις που τα οικονομικά μοντέλα δεν δύνανται να αναπαραστήσουν. Αυτό δεν αφορά τόσο τους κινδύνους υλοποίησης, αφού αυτοί σπάνια εκπροσωπούνται στα μοντέλα, αλλά πρωτίστως για σεναριακές επιλογές. Όσον αφορά τους κινδύνους συνεπειών, το εν λόγω πρόβλημα δεν είναι τόσο εννοιολογικό όσο πρακτικό: κάθε μοντέλο έχει ένα στενό επιστημολογικό εύρος, και μπορεί μόνο να παρέχει απαντήσεις σε ένα περιορισμένο σύνολο ερευνητικών ερωτημάτων. Για κάθε μία εκ των μελετών περίπτωσης στις οποίες συμμετείχαν, οι εμπειρογνώμονες αναφέρθηκαν σε οικονομικούς κινδύνους που τα χρησιμοποιηθέντα ΜΟΑ δεν δύνανται να ανταποκριθούν. Αυτό δεν αποτελεί απαραίτητα αποτυχία των μοντέλων, αλλά σημαίνει ότι ο ερευνητικός σχεδιασμός για μία συγκεκριμένη μελέτη οφείλει να περιλαμβάνει επιπρόσθετες εναλλακτικές μεθοδολογίες για την αντιμετώπιση τέτοιων κινδύνων. Τα παραπάνω συμπεράσματα εξάγονται, αναγνωρίζοντας ότι τα ΜΟΑ εστιάζουν εξ ορισμού σε οικονομικούς κινδύνους.

Ένα άλλο συμπέρασμα με προεκτάσεις για τα μεθοδολογικά εργαλεία της σύγχρονης επιστήμης προς υποστήριξη της κλιματικής πολιτικής αφορά τα Διαμοιρασμένα Κοινωνικοοικονομικά Μονοπάτια.

Συγκεκριμένα, με γνώμονα τις ανησυχίες των εμπειρογνομόνων, όλα τα ΔΚΜ φέρονται να επηρεάζονται από πολυάριθμους επιπρόσθετους κινδύνους που δεν ανταποκρίνονται στα αφηγήματα που αντιστοιχούν σε αυτά. Αυτό μπορεί να σημαίνει είτε ότι τα αφηγήματα που έχουν διαμορφωθεί δεν ανταποκρίνονται στα σύνολα δεδομένων των ΔΚΜ, άρα ότι τα ΔΚΜ δεν αναπαριστούν ρεαλιστικά πιθανές μελλοντικές κοινωνικοοικονομικές καταστάσεις του κόσμου, είτε ότι τα ΔΚΜ δεν αποτελούν επαρκή κοινωνικοοικονομικά σενάρια αναφοράς για τη μοντελοποίηση του πλήρους φάσματος των προκλήσεων μετριασμού και προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή (ή και τα δύο). Σε οποιαδήποτε περίπτωση, η επιστήμη της κλιματικής πολιτικής οφείλει να αναθεωρήσει τις μεθοδολογικές ευκολίες που αξιοποιεί, αλλιώς θα πρέπει να αποδεχτεί ότι οι ερευνητικές διεργασίες στις οποίες καταφεύγει δεν δύνανται ούτε και πρέπει να θεωρηθούν περισσότερο αξιόπιστες ή ρεαλιστικές από ακαδημαϊκές ασκήσεις και θεωρητικές προσομοιώσεις. Το προτεινόμενο επιστημονικό υπόδειγμα, ωστόσο, αξιοποιεί μεθοδολογίες που επιτρέπουν την επαρκή μοντελοποίηση των κοινωνικοοικονομικών προκλήσεων και κινδύνων σε επίπεδα που δεν περιορίζονται στα σημεία αναφοράς των ΔΚΜ.

Όσο εκτεταμένα και να εκπονείται η μοντελοποίηση σεναρίων, αναπόφευκτα κάτι κρίσιμο θα μένει εκτός. Τα συμπεράσματα αυτά αποτελούν μία υπενθύμιση για τους επιστήμονες που συμμετέχουν στην ανάπτυξη και αξιοποίηση των μοντέλων, να μην εμμένουν στα σενάρια που επινοήθηκαν ως σημεία αναφοράς, αλλά να διερευνούν ένα ευρύτερο σύνολο του φάσματος των κοινωνικοοικονομικών προκλήσεων ή κλιματικών καταστάσεων του κόσμου.

Μελλοντικές προοπτικές του ερευνητικού έργου της διδακτορικής διατριβής περιλαμβάνουν, καταρχάς, την εφαρμογή του επιστημονικού υποδείγματος σε διαφορετικές γεωγραφικές κλίμακες (π.χ. την αξιοποίηση των ΑΓΧ και των ΠΣΥΑ σε περιφερειακό ή/και παγκόσμιο επίπεδο), καθώς και την ενοποίηση των εξεταζόμενων μεθοδολογιών υποστήριξης αποφάσεων με μοντέλα διαφορετικής μαθηματικής δομής και οικονομετρικής προσέγγισης από το ευρύτερο σύνολο των ΜΟΑ (π.χ. βέλτιστης ανάπτυξης και μακροοικονομικών μοντέλων).

Όσον αφορά το εργαλείο των ΑΓΧ, μία καινοτομία της διατριβής αφορούσε στην αναδιαμόρφωση του αρχικού μεθοδολογικού πλαισίου ώστε αυτό να ενσωματώνει την έννοια του χρόνου. Παρότι αξιοποιήθηκε σε δύο πιλοτικές εφαρμογές του εργαλείου (σε Ελλάδα και Ολλανδία), αυτή η δυνατότητα έμεινε ανεκμετάλλευτη κατά την εφαρμογή των συνδυαστικών προσεγγίσεων με βάση το ανεπτυγμένο επιστημονικό πλαίσιο. Παράλληλα, αρκετοί εκ των κινδύνων που προσδιορίστηκαν, μελετήθηκαν και ποιοτικά αξιολογήθηκαν με τη χρήση των ΑΓΧ δεν ήταν δυνατό να ενσωματωθούν στα επιλεγμένα ποσοτικά μοντέλα, υποδεικνύοντας έτσι εκ νέου την ανάγκη ανάπτυξης νέων ΜΟΑ ή σημαντικής αναβάθμισης των υφιστάμενων. Αξίζει να σημειωθεί ότι μία άλλη προοπτική αφορά στην αξιοποίηση αλγορίθμων εκμάθησης ή/και βελτιστοποίησης στους ΑΓΧ, όπως έχει υποδειχθεί σε άλλα επιστημονικά πεδία στη βιβλιογραφία.

Τα ΠΣΥΑ, από την άλλη, χρησιμοποιήθηκαν στις εφαρμογές που παρουσιάζονται στη διατριβή αποκλειστικά για την αξιολόγηση κινδύνων ή, στην περίπτωση της ελληνικής βραχυπρόθεσμης μελέτης, και για την περαιτέρω αξιολόγηση των πολιτικών με κριτήριο τους κινδύνους υλοποίησής των. Στο μέλλον, μπορούν να αξιοποιηθούν για την αξιολόγηση και κατάταξη διαφορετικών παραγόντων (π.χ. προτιμήσεις εμπειρογνομόνων σχετικά με πολιτικές, παραμετροποίηση τεχνολογικών δυνατοτήτων, κλπ.), με σκοπό την πληρέστερη ενημέρωση των ασκήσεων μοντελοποίησης ώστε να ανταποκρίνονται περισσότερο στην πραγματικότητα ή τις ανάγκες των φορέων χάραξης πολιτικής, μέσω διαφορετικών συνθέσεων γεφύρωσης επιστήμης και πολιτικής.

Τέλος, η ΑΧ μπορεί να εμπλουτιστεί με διαφορετικές μεθοδολογίες ανάλυσης και βελτιστοποίησης ευρωστίας από αυτές που αξιοποιήθηκαν στο πλαίσιο της διατριβής, να μοντελοποιηθεί για περισσότερες αντικειμενικές συναρτήσεις, καθώς και να εφαρμοστεί σε συνδυαστικές προσεγγίσεις αναφορικά με την θεωρηθείσα φύση της αβεβαιότητας (π.χ. μέσω της καταπόνησης των μοντελικών αποτελεσμάτων έναντι σεναρίων αναφοράς, αλλά και έναντι στοχαστικής αβεβαιότητας για κάθε ένα εκ των σεναρίων αυτών). Επιπρόσθετα, δεδομένης της ποικιλομορφίας των διαφόρων ΜΟΑ, αποτελεί σπουδαία πρόκληση αλλά και σημαντική μελλοντική προοπτική η ενσωμάτωση προσεγγίσεων της ΑΧ με διαφορετικά μοντέλα κλίματος-οικονομίας από αυτά της διατριβής (TIMES, GCAM).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΣΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Η διδακτορική διατριβή υποστηρίζεται συνολικά από δεκατέσσερις (14) δημοσιεύσεις σε έγκριτα διεθνή επιστημονικά περιοδικά, την επιμέλεια ενός (1) επιστημονικού βιβλίου, επτά (7) κεφάλαια σε έγκριτα επιστημονικά βιβλία, καθώς και εννιά (9) ανακοινώσεις σε διεθνή συνέδρια.

Άρθρα σε έγκριτα επιστημονικά περιοδικά

Nikas, A., Stavrakas, V., Arsenopoulos, A., Doukas, H., Antosiewicz, M., Witajewski-Baltvilks, J., & Flamos, A. (2019). Barriers to and consequences of a solar-based energy transition in Greece. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, in press.

Antosiewicz, M., **Nikas, A.**, Szpor, A., Witajewski-Baltvilks, J., & Doukas, H. (2019). Pathways for the transition of the Polish power sector and associated risks. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, in press.

Forouli, A., Gkonis, N., **Nikas, A.**, Siskos, E., Doukas, H., & Tourkolias, C. (2019). Energy efficiency promotion in Greece in light of risk: Evaluating policies as portfolio assets. *Energy*, 170, 818-831.

Forouli, A., Doukas, H., **Nikas, A.**, Sampedro, J., & Van de Ven, D. J. (2019). Identifying optimal technological portfolios for European power generation towards climate change mitigation: A robust portfolio analysis approach. *Utilities Policy*, 57, 33-42.

Doukas, H., & **Nikas, A.** (2019). Decision Support Models in Climate Policy. *European Journal of Operational Research*, in press.

Nikas, A., Ntanos, E., & Doukas, H. (2019). A semi-quantitative modelling application for assessing energy efficiency strategies. *Applied Soft Computing*, 76, 140-155.

Van de Ven, D.-J., Sampedro, J., Johnson, F., Bailis, R., Forouli, A., **Nikas, A.**, Yu, S., Pardo, G., García de Jalón, S., Wise, M., & Doukas, H. (2019, under review). Integrated Policy Assessment and Optimisation over Multiple Sustainable Development Goals in Eastern Africa. *Environmental Research Letters*, under review.

van Vliet, O. P. R., Hanger, S., **Nikas, A.**, Spijker, E., Carlsen, H., & Doukas, H. (2019, in revision). The importance of stakeholders in scoping risk assessments—lessons from low-carbon transitions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, in revision.

Song, L., Lieu, J., **Nikas, A.**, Arsenopoulos, A., & Doukas, H. (2019, under review). Stakeholders' insights into risks in a low-carbon transition of China's built environment. *Energy Research and Social Science*, under review.

Nikas, A., Doukas, H., van der Gaast, W., & Szendrei, K. (2018). Expert views on low-carbon transition strategies for the Dutch solar sector: A delay-based fuzzy cognitive mapping approach. *IFAC-PapersOnLine*, 51(30), 715-720.

Doukas, H., **Nikas, A.**, González-Eguino, M., Arto, I., & Anger-Kraavi, A. (2018). From Integrated to Integrative: Delivering on the Paris Agreement. *Sustainability*, 10(7), 2299.

Nikas, A., Doukas, H., & López, L. M. (2018). A group decision making tool for assessing climate policy risks against multiple criteria. *Heliyon*, 4(3), e00588.

Nikas, A., Doukas, H., Lieu, J., Alvarez Tinoco, R., Charisopoulos, V., Charisopoulos, V., & van der Gaast, W. (2017). Managing stakeholder knowledge for the evaluation of innovation systems in the face of climate change. *Journal of Knowledge Management*, 21(5), 1013-1034

Papapostolou, A., Karakosta, C., **Nikas, A.**, & Psarras, J. (2017). Exploring opportunities and risks for RES-E deployment under Cooperation Mechanisms between EU and Western Balkans: A multi-criteria assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 519-530.

Επιμέλεια επιστημονικών βιβλίων

Hanger-Kopp, S., Lieu, J., & **Nikas, A.** (Eds.). (2019). *Narratives of Low-Carbon Transitions (Open Access): Understanding Risks and Uncertainties*. Routledge, Abingdon. Διαθέσιμο εδώ: <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9780429858772>.

Κεφάλαια σε διεθνή επιστημονικά βιβλία

Nikas, A., Doukas, H., & Papandreou, A. (2019). A Detailed Overview and Consistent Classification of Climate-Economy Models. In *Understanding Risks and Uncertainties in Energy and Climate Policy* (pp. 1-54). Springer, Cham.

Nikas, A., Gkonis, N., Forouli, A., Siskos, E., Arsenopoulos, A., Papapostolou, A., Kanellou, E., Karakosta, C., & Doukas, H. (2019). Greece: From near-term actions to long-term pathways: risks and uncertainties associated with the national energy efficiency framework. In Hanger-Kopp, S., Lieu, J., & Nikas, A. (eds.). *Narratives of low-carbon transitions: Understanding risks and uncertainties*. Routledge, Abingdon.

Hanger-Kopp, S., Lieu, J., & **Nikas, A.** (2019). Introduction. In Hanger-Kopp, S., Lieu, J., & Nikas, A. (eds.). *Narratives of low-carbon transitions: Understanding risks and uncertainties*. Routledge, Abingdon.

Hanger-Kopp, S., **Nikas, A.**, & Lieu, J. (2019). Framing risk and uncertainty associated with low-carbon pathways. In Hanger-Kopp, S. Lieu, J., & Nikas A. (eds.). Narratives of low-carbon transitions: Understanding risks and uncertainties. Routledge, Abingdon.

Hanger-Kopp, S., Lieu, J., & **Nikas, A.** (2019). Afterword. In Hanger-Kopp, S. Lieu, J., & Nikas A. (eds.). Narratives of low-carbon transitions: Understanding risks and uncertainties. Routledge, Abingdon.

Nikas, A., Doukas, H., Siskos, E., & Psarras, J. (2018). International Cooperation for Clean Electricity: A UTASTAR Application in Energy Policy. In Preference Disaggregation in Multiple Criteria Decision Analysis (pp. 163-186). Springer, Cham.

Nikas, A., & Doukas, H. (2016). Developing robust climate policies: a fuzzy cognitive map approach. In Robustness Analysis in Decision Aiding, Optimization, and Analytics (pp. 239-263). Springer, Cham.

Ανακοινώσεις σε επιστημονικά συνέδρια

Nikas, A., Gkonis, N., Forouli, A., & Doukas, H. (2018). Fostering innovative energy policy making through integrated approaches. 6th International Conference on Renewable Energy Sources & Energy Efficiency, November 1-2, 2018, Nicosia, Cyprus.

Nikas, A., Doukas, H., van der Gaast, W., & Szendrei, K. (2018). Expert views on low-carbon transition strategies for the Dutch solar sector: A delay-based fuzzy cognitive mapping approach. 18th IFAC Conference on International Stability, Technology & Culture, IFAC, 13-15 September, 2018, Baku, Azerbaijan.

van Vliet, O. P. R., Hanger-Kopp, S., Wolking, B., **Nikas, A.**, & Doukas, H. (2018). Categorisation of key risks for climate policy from literature and case studies. 7th International Symposium and 29th National Conference on Operational Research, HELORS, 14-16 June, 2018, Chania, Greece.

Nikas, A., Stavrakas, V., Psarras, V., Kanellou, E., Makarouni, I., Doukas, H., & Flamos, A. (2018). Operational Research in Support of Energy and Climate Policy: The case of Greece. 7th International Symposium and 29th National Conference on Operational Research, HELORS, 14-16 June, 2018, Chania, Greece.

Neofytou, H., **Nikas, A.**, Siskos, E., & Doukas, H. (2018). Sustainable Energy Transition Readiness: A multicriteria assessment based on PROMETHEE II. ICDSST – PROMETHEE Days 2018 Proceedings – The EWG-DSS 2018 International Conference on Decision Support System Technology & PROMETHEE Days 2018, 22-25 May, 2018, Heraklion, Greece.

Kanellou E., Doukas, H., & **Nikas, A.** (2018). Behavioural TOPSIS in a real-life climate policy application in Greece. 16th Special Conference of HELORS, 15-17 February, 2018, Piraeus, Greece.

Psarras, V., **Nikas, A.**, Doukas, H. (2017). Group decision making and consensus control in climate policy: a multiple-criteria decision support tool. Operational Research in the digital era - ICT challenges: 6th International Symposium & 28th National Conference on Operational Research, HELORS, 8-10 June, 2017, Thessaloniki, Greece.

Nikas, A., Ntanos, E., & Doukas, H. (2017). ESQAPE: A Fuzzy Cognitive Mapping decision support tool for evaluating climate policy. Energy for Society: 1st International Conference on Energy Research and Social Science, Elsevier, 2-5 April 2017, Sitges, Spain.

Nikas A., Klironomou M., Marinakis V., & Doukas H. (2015). Comparison of alternative pathways for the transition of EU countries to low carbon economies using Fuzzy Cognitive Maps. Book of proceedings - 4th Student Conference of the Hellenic Operational Research Society, 17-18 December 2015, Athens, Greece.