



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

---

**Ολοκληρωμένη Μεθοδολογία Υποστήριξης Αποφάσεων  
Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού με Χρήση Εργαλείων  
Ανοιχτού Κώδικα**

---

Διδακτορική Διατριβή

ΤΟΥ

**Αδαμάντιου Κ. Κουτσανδρέα**

Επιβλέπων καθηγητής:

Ιωάννης Ψαρράς

Αθήνα, Ιούλιος 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

# **Ολοκληρωμένη Μεθοδολογία Υποστήριξης Αποφάσεων Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού με Χρήση Εργαλείων Ανοιχτού Κώδικα**

Διδακτορική Διατριβή

ΤΟΥ

**Αδαμάντιου Κ. Κουτσανδρέα**

**Επιβλέπων καθηγητής:**

Ιωάννης Ψαρράς

Αθήνα, Ιούλιος 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

# Ολοκληρωμένη Μεθοδολογία Υποστήριξης Αποφάσεων Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού με Χρήση Εργαλείων Ανοιχτού Κώδικα

Διδακτορική Διατριβή

ΤΟΥ

**Αδαμάντιου Κ. Κουτσανδρέα**

Συμβουλευτική Επιτροπή: Ι. Ψαρράς, Καθηγητής Ε.Μ.Π (Επιβλέπων)  
Γ. Μέντζας, Καθηγητής Ε.Μ.Π  
Χ. Δούκας, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την 21<sup>η</sup> Ιουλίου 2022.

.....  
Ιωάννης Ψαρράς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

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

.....  
Χρυσόστομος (Χάρης) Δούκας  
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

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

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

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

.....  
Φώτιος Πετρόπουλος  
Καθηγητής Πανεπιστήμιο  
του Bath

Αθήνα, Ιούλιος 2022

---

## **Αδαμάντιος Κ. Κουτσανδρέας**

Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Copyright © **Αδαμάντιος Κ. Κουτσανδρέας**, 2022

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.

«Όταν ξημερώσει, αναρωτιόμαστε που θα μπορέσουμε να βρούμε  
φως σ' αυτή την ατέρμονη σκιά,...

Κι όμως, η αυγή είναι δική μας προτού το καταλάβουμε,

Με κάποιο τρόπο τα καταφέρνουμε,.....

Η νέα αυγή χαράζει καθώς την απελευθερώνουμε,

Γιατί το φως υπάρχει πάντα,

Αρκεί να είμαστε αρκετά γενναίοι για να το αντικρίσουμε, αρκεί να  
είμαστε αρκετά γενναίοι φως να γίνουμε.»

«Ο λόφος που ανεβαίνουμε», Αμάντα Γκόρμαν

«**Αν** μπορείς να εμπιστεύεσαι τον εαυτό σου, όταν όλοι για σένα  
αμφιβάλλουν, μα κι αν μπορείς να τους συγχωρείς αυτή τη  
δυσπιστία,....

**Αν** μπορείς να ονειρεύεσαι, χωρίς να γίνεσαι δούλος των  
ονείρων σου,....

**Αν** μπορείς να στοχάζεσαι, δίχως να γίνει ο στοχασμός σκοπός  
σου,....

δική σου θα' ναι τότε η γη μ' όσα απάνω της κι αν έχει,

και κάτι ακόμα πιο πολύ:

Άντρας αληθινός θα 'σαι παιδί μου».

«Αν», Ράντγιαρντ Κίπλινγκ



## Πρόλογος

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή εκπονήθηκε στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών (ΣΗΜΜΥ) του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ), στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης (ΕΣΑΔ), κατά το διάστημα Μάρτιος 2017 — Ιούνιος 2022. Το παρόν τεύχος, αποτελεί το επιστέγασμα της κοπιώδους ερευνητικής μου δραστηριότητας κατά το προαναφερθέν διάστημα, πάνω στα αντικείμενα της μοντελοποίησης ηλεκτροπαραγωγικών συστημάτων και των οικονομικών της ενέργειας.

Κατ' αρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Επιβλέποντα της Διδακτορικής Διατριβής μου, Καθηγητή κ. Ιωάννη Ψαρρά, για την ευκαιρία που μου έδωσε να πραγματοποιήσω Διδακτορικό στο ΕΣΑΔ, υπό την επιστημονική καθοδήγησή του. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το έτερο μέλος της συμβουλευτικής επιτροπής, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Χάρη Δούκα, για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε αυτά τα χρόνια και για τη συνεισφορά του στο ερευνητικό αποτέλεσμα της Διατριβής και εν γένει στην ερευνητική μου πορεία. Θα ήταν παράληψή μου, να μην ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Γρηγόρη Μέντζα, για την τιμή που μου έκανε να πλαισιώσει τη συμβουλευτική επιτροπή του Διδακτορικού μου.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Δημήτρη Ασκούνη και τον καθηγητή κ. Αλέξανδρο Φλάμο, για την τιμή που μου έκαναν να παρευρεθούν στην επιτροπή εξέτασης του Διδακτορικού μου, αλλά και για την εξαιρετική συνεργασία μας αυτά τα χρόνια. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα δύο τελευταία μέλη της επταμελούς επιτροπής εξέτασης, τον Καθηγητή κ. Φώτιο Πετρόπουλο, για την άριστη ερευνητική μας συνεργασία, καθώς και τον Καθηγητή κ. Βασίλη Ασημακόπουλο, για την υποστήριξη που μου παρείχε.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του ΕΣΑΔ με τα οποία συνεργάστηκα κατά τη διάρκεια της παρουσίας μου σε αυτό, για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε αλλά και για τις γνώσεις που απέκομισα από αυτούς. Το ίδιο θα ήθελα να κάνω και με τα μέλη της Μονάδας Προβλέψεων και Στρατηγικής, στην οποία άνηκα χωροταξικά αυτά τα χρόνια, και δη τον Διδάκτορα Βαγγέλη Σπηλιώτη, για την αμέριστη και πολύτιμη ερευνητική καθοδήγηση που μου παρείχε.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω και να αφιερώσω στους κοντινούς μου ανθρώπους την περαίωση του διδακτορικού μου, οι οποίοι με βοήθησαν και ενέπνευσαν να ξεπεράσω τις «τρικυμίες» που συνάντησα στο δρόμο μου αυτά τα χρόνια. Ολοκληρώνοντας το Διδακτορικό μου, κλείνει ένας κύκλος ο οποίος ήταν πλήρης έντονων —όμορφων και άσχημων— στιγμών, αποτελώντας ένα αυτοτελές κεφάλαιο της ζωής μου. Το καινούριο κεφάλαιο που ξεκινάει, με βρίσκει ανυπόμονο για τις νέες εμπειρίες και προκλήσεις που αναμένεται να βρεθούν στο δρόμο μου.

«Κι αν πτωχική την βρεις, η Ιθάκη δεν σε γέλασε. Έτσι σοφός που έγινες, με τόση πείρα, ήδη θα το κατάλαβες οι Ιθάκες τι σημαίνουν».

Αδαμάντιος Κουτσανδρέας,

Αθήνα, Ιούλιος 2022





## Περίληψη

**Αντικείμενο** της παρούσας διδακτορικής διατριβής αποτελεί η ανάπτυξη μίας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού. Ο **στόχος** της διατριβής εδράζεται στην υποστήριξη των διαμορφωτών ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, αφενός, στη λήψη εμπειριστατωμένων αποφάσεων, και αφετέρου, στη διαχείριση της εγγενούς αβεβαιότητας και αντισταθμιστικότητας αυτού του είδους της άσκησης. Ο έτερος **στόχος** της διατριβής, συνίσταται στην εισαγωγή νέων —ποιοτικότερων και ολιστικότερων— εννοιών στην κατάστρωση ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, όπως αυτή του χρονισμού («*πότε*») και της ταχύτητας («*πόσο γρήγορα*»).

Η **συμβολή** της παρούσας διδακτορικής διατριβής, αφορά το ευρύτερο επιστημονικό πεδίο της επιχειρησιακής έρευνας και συγκεκριμένα αυτό της υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού. Η διεξοδική αναγνώριση όλων των διαστάσεων του αξιολογούμενου προβλήματος και των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων, ενέπνευσε την επιλογή των κατάλληλων εργαλείων «ανοιχτού κώδικα», όπως και την ανάπτυξη μίας σειράς διαδικασιών αναφορικά με τη ρύθμιση και διασύνδεσή τους. Πιο συγκεκριμένα, οι κύριοι άξονες **συνεισφοράς** της διατριβής είναι οι ακόλουθοι:

- Αναπτύχθηκε το **OSeMOSYS-Ελλάδας**, ένα «ανοιχτού κώδικα» δυναμικό μοντέλο βελτιστοποίησης του (μεσο-) μακρο-πρόθεσμου προγραμματισμού της ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας. Το εν λόγω μοντέλο, επιτρέπει την προσομοίωση των ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων ενδιαφέροντος και —συνεπακόλουθα— τον υπολογισμό των προεκτάσεών τους, επί του συνολικού εύρους των διαστάσεων που άπτονται της ηλεκτροπαραγωγής.
- Αναπτύχθηκε το **GTAP-Ελλάδας**, ένα «ανοιχτού κώδικα» παγκόσμιο μακροοικονομικό μοντέλο «γενικής ισορροπίας», με εστίαση στην ελληνική οικονομία. Το εν λόγω μοντέλο, διασυνδέθηκε αποδοτικά με το OSeMOSYS-Ελλάδας, επιτρέποντας —κατ' αυτό τον τρόπο— την αξιολόγηση του μακροοικονομικού και κοινωνικού αποτυπώματος των εξεταζόμενων ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων πολιτικής, και συνεπαγόμενα την απάντηση ερωτήσεων που αφορούν σε ολόκληρη την οικονομία.
- Αναπτύχθηκε το **ReReVITO** (“**Regret Regret VIKOR TOPSIS**”), ένα πολυκριτηριακό μεθοδολογικό πλαίσιο υποστήριξης αποφάσεων, το οποίο επιτρέπει τον εντοπισμό του ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής που ικανοποιεί καλύτερα τους σκοπούς των αποφασιζόντων, υπό το πρίσμα αβεβαιότητας. Η αβεβαιότητα διαχειρίζεται μέσω της ποσοτικοποίησης των «βαθμών-δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων, με βάση τα μέτρα «συνολικής χρησιμότητας» και «μέγιστης δυσαρέσκειας». Η αξιολόγηση των ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων επί των κριτηρίων επίδοσης, πραγματοποιείται μέσω της εφαρμογής των πολυκριτηρίων μεθόδων VIKOR και TOPSIS, επιτρέποντας —κατ' αυτόν τον τρόπο— την κατηγοριοποίηση των αποτελεσμάτων με βάση το προφίλ του αποφασίζοντα έναντι του κινδύνου.
- Αναπτύχθηκε μία ολοκληρωμένη, ευσταθής, διαφανής και ευέλικτη **μεθοδολογία** αναφορικά με την παραμετροποίηση, διαχείριση, διασύνδεση, και αξιοποίηση των παραπάνω εργαλείων, με γνώμονα τη διαμόρφωση και αξιολόγηση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, υπό συνθήκες αβεβαιότητας.
- Η μεθοδολογία και τα εργαλεία που αναπτύχθηκαν **εφαρμόστηκαν** σε δύο μελέτες περίπτωσης για το ελληνικό ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα, με γνώμονα την εξαγωγή καίριας γνώσης και διδαγμάτων για τους σχεδιαστές ενεργειακής πολιτικής. Οι υλοποιηθείσες εφαρμογές

συνίστανται, αφενός, στην αξιολόγηση του μακροοικονομικού και κοινωνικού αποτυπώματος μίας ταχείας «απολιγνιτοποίησης», και, αφετέρου, στον εντοπισμό της κατάλληλης ταχύτητας διάχυσης του πράσινου υδρογόνου. Με βάση τα προκύπτοντα αποτελέσματα, επιχειρήθηκε μία αποκρυστάλλωση των πραγματικών διλημάτων πολιτικής και των διακυβευμάτων των εναλλακτικών αποφάσεων, για την ελληνική κυβέρνηση.

**Λέξεις Κλειδιά:** Ελλάδα, Ηλεκτροπαραγωγικός σχεδιασμός, Μοντελοποίηση ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, Ηλεκτροπαραγωγικός προγραμματισμός, Μακροοικονομικές επιδράσεις, Πολυκριτηριακά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, Αβεβαιότητα, Χαράσσοντες πολιτική, Αποφασίζοντες, Εργαλεία ανοιχτού κώδικα, Υδρογόνο, OSeMOSYS, GTAP, VIKOR, TOPSIS

## Abstract

This PhD dissertation **delves into** the development of an integrated methodology for power generation planning decision support. Its **aim** is to support power generation planning makers, on the one hand, in taking comprehensive decisions, and on the other hand, in dealing with the inherent uncertainty and countervailing nature, of this kind of exercise. Moreover, it **intends** to introduce new—more qualitative and holistic— aspects in electricity planning formulation, such as the ones of timing (“*when*”) and speed (“*how fast*”).

The **added value** of this doctoral thesis is related to the broad field of operational research and, in particular, the one of power generation planning decision support. The thorough identification of the inspected problem’s aspects and their interrelations, inspired the selection of the appropriate open-source tools, and the development of a series of procedures regarding their parametrization and linkage. More particularly, the key **contribution** axes of this PhD dissertation are as follows:

- **OSeMOSYS-Greece**, an open-source dynamic model for (medium-)long-term Greece’s power generation planning optimization, was developed. This model enables the simulation of power generation scenarios of interest, and—subsequently— the estimation of their implications on the whole range of dimensions that pertain to power generation.
- **GTAP-Greece**, an open-source global macroeconomic general equilibrium model, with a focus on Greek economy, was developed. This model was efficiently linked to OSeMOSYS-Greece, thereby enabling the evaluation of the macroeconomic and social footprint of the inspected power generation policy scenarios, and—subsequently— the address of economy wide questions.
- **ReReVITO** (“**Regret Regret VIKOR TOPSIS**”), a multicriteria decision support methodological framework, that enables the identification of the power generation policy scenario that best serves the preferences of policymakers, in the light of uncertainty, was developed. The uncertainty is handled through the quantification of decision makers’ regrets, based on the “group utility” and “maximum regret” measures. The evaluation of the inspected power generation scenarios against the performance criteria, is conducted by applying both the VIKOR and TOPSIS multicriteria methods, thereby enabling results’ classification with respect to decision maker’s profile against uncertainty.
- An integrated, robust, transparent and rigorous **methodology** for the parametrization, handling, linkage and exploitation of the above tools was developed, with a view to formulating and evaluating power generation planning, under uncertainty conditions.
- The methodology and tools developed were **applied** to two case studies for the Greek power sector, with a view to extracting crucial knowledge and lessons for energy policy makers. The conducted applications comprise, on the one hand, the evaluation of the macroeconomic and social footprint of a fast delignitization, and on the other hand, the identification of the appropriate speed of green hydrogen’s diffusion. Based on the results arisen, a crystallization of the real policy dilemmas and stakes of alternative decisions, for the Greek government, was attempted.

**Key Words:** Greece, Power generation planning, Electricity system modelling, Power generation programming, Macroeconomic impacts, Multi-criteria decision aid systems, Uncertainty, Policy makers, Decision makers, Open-source tools, Hydrogen, OSeMOSYS, GTAP, VIKOR, TOPSIS

## Extended abstract

The already in place decarbonization of power sector and electrification of economy, entail that power generation planning makers should take a plethora of decisions with extensive social implications. Such decisions display also considerable trade-offs between conflicting objectives, as well as an inherent uncertainty that stems from the wide time horizon of power generation policies and the complex interactions that take place within and between power sector and wider economy. The stochastic nature of power generation planning intensifies even more from today's global environment of high uncertainty and tectonic changes.

Against this background, this PhD dissertation **delves into** the development of an integrated methodology for power generation planning decision support. The **aim** of dissertation is to support power generation planning makers, on the one hand, in taking comprehensive decisions and on the other hand, in dealing with the inherent uncertainty and countervailing nature, of this kind of exercise. Moreover, it **intends** to introduce new —more qualitative and holistic— aspects in electricity planning formulation, such as the ones of timing ("*when*") and speed ("*how fast*"). The **added value** of this doctoral thesis is related to the broad field of operational research and, in particular, the one of power generation planning decision support.

The review of related methodologies to the scopes of this PhD dissertation that took place, revealed first, that the combination of a "top-down" approach —that focuses on the total effect of power generation policies on the wider economy— with a "bottom-up" one —that examines the technological details of power sector— is a prerequisite towards applying a comprehensive evaluation of power generation planning. The first approach is implemented via the exploitation of a macroeconomic model, that simulates the function of economy, while the latter is applied via an energy model, that illustrates power sector.

From the available categories of energy models, the optimization models were identified as the appropriate ones for digging into the technological aspects of power generation planning, while the Computable General Equilibrium (CGE) models were found as the appropriate ones, between the available categories of macroeconomic models, for illustrating the interactions between the agents of the economy, especially in the medium- and long-term. From energy optimization models, the Open Source energy MOdelling SYStem (OSeMOSYS) was identified as the one that served the implemented criteria of presenting an open-source nature and an extensive range of applications in power generation planning. On the other hand, from CGE macroeconomic models, GTAP was recognized as the one that satisfied the two above-mentioned conditions.

Regarding the available methods for linking macroeconomic with energy models, "soft-linking" with "one-way" information flow —from energy to macroeconomic model— was found as the one that can enable an effective communication between the utilized models, in a straightforward and less

resources-intensive way. Based on this approach, each model runs independently, and the results of energy model act as exogenous parameters to the macroeconomic model.

Moreover, from the available multicriteria decision making methods, VIKOR was identified as an effective tool towards dealing with the inherent uncertainty of power generation planning, since it enables the measurement of trade-offs between different decision makers points of view. Moreover, its combination with the TOPSIS multicriteria method, can enable the representation of different decision makers profiles against uncertainty. More particularly, TOPSIS is also a distance-based multicriteria method, however compared to VIKOR, it also takes into account the distance from a negative ideal solution, thus being more appropriate for the illustration of more conservative decision makers.

Based on the findings and identified rules of thumb from the review of the scientific field that this PhD dissertation lies in, an integrated methodology for power generation planning decision support was developed. The basic attributes of this methodology are that it combines a series of divergent open-source tools, it applies an uncertainty analysis for the input data set in these tools, it considers a series of conflicting objectives and it illustrates a range of different decision makers profiles against uncertainty. In particular, it comprises two interlinked components, as follows:

- (i) A “**bottom-up**” approach that delves into the technological details, trends and advancements of power generation planning, based on the energy model OSeMOSYS;
- (ii) A “**top-down**” approach that evaluates the aggregate impact of power generation planning on the wider economy, based on the macroeconomic model GTAP.

At the *first* stage of the “bottom-up” approach, the idiosyncrasy of the examined electricity system is incorporated into OSeMOSYS. In this effort, the data about the basic parameters of the examined power sector are collected and inserted in the model for the whole time horizon of the analysis. At the *second* stage, a bunch of scenarios is constructed to illustrate the potential evolution of these parameters in the future, given their stochastic nature and the dependence of the results of OSeMOSYS on them. This action is implemented for the case of full uncertainty, i.e, the probability distributions that describe the variability of input parameters are not available.

More particularly, for the parameters that are deemed as of highest uncertainty, three equiprobable scenarios are formulated: a scenario at which values are set based on a literature value; a scenario at which values are considered up by 30% compared to the values derived from the literature review; a scenario at which values are anticipated down by 30% relative to the values extracted from the literature review. Moreover, each scenario foresees the simultaneous variability of these parameters (i.e., it handles more than one varying factor), while all their possible

combinations are considered. This approach results in  $3^v$  discrete scenarios in total, where  $v$  is the number of uncertainty parameters that are taken into consideration.

At the *third* step of the “bottom-up” approach, the power generation policies of interest are simulated across the formulated scenarios, leading to  $3^v * p$  simulations in total, where  $p$  is the number of examined power generation policies and  $3^v$  is the number of formulated scenarios. It should be noted that between the examined scenarios, the reference or baseline scenario —that describes the evolution of power sector with regards to the already in place policy measures and pledges— is also included. This policy scenario acts as a benchmark, that enables the identification of the requirements and implications of examined policy measures (e.g., in terms of capital requirements on top of the baseline).

At the *fourth* phase of this methodological cycle, based on the results arisen from OSeMOSYS, the examined power generation policies are evaluated from a multicriteria point of view, by applying the multicriteria decision support methodological framework **ReReVITO** (“**Regret Regret VIKOR TOPSIS**”). As regards the performance criteria of the analysis, they are consisted of three family criteria, with each including individual sub-criteri(on/a) on the basis of which they are evaluated, as follows:

- “**Environmental**” family criterion (sub-criterion: *CO2 emissions*);
- “**Economic**” family criterion (sub-criteria: *capital investments, variable and fixed operating costs*);
- “**Technical**” family criterion (sub-criteria: *import dependency, total system capacity*).

The above-mentioned criteria were selected with a view to incorporating into the analysis all the vital aspects of power generation planning, that can be measured quantitatively based on the results of OSeMOSYS. At this methodological stage, the preferences of decision makers are incorporated into the analysis, in the form of importance weights to selected family criteria. The assigned weight to each family criterion is split symmetrically between the sub-criteria that is consisted of. At each sub-criterion of the analysis, the robustness of evaluated power generation policies against uncertainty is assessed, through the quantification of decision makers’ regrets across formulated scenarios. In this effort, the “*group utility*” ( $S$ ) and “*maximum regret*” ( $R$ ) measures are utilized, which are included in the formula of the classical VIKOR multicriteria method.

“*Group utility*” metric considers the aggregated regret across scenarios (i.e., sum of regrets), while “*maximum regret*” metric takes into consideration only the worst regret (i.e., maximum regret) for not achieving the ideal state. This approach yields two classical multicriteria problems, where at each of these both the VIKOR and TOPSIS multicriteria methods are applied. Based on this approach, four types of results are produced and matched to three decision makers profiles against uncertainty. The

classification of decision-makers attitude towards risk with respect to the regret measure and multicriteria method utilized, is presented below:

- **“Risk-takers”** decision makers prioritize the aspect of performance, even if its full attainment is uncertain and high discrepancies may emerge in practice (metric for treatment of scenarios: “group utility”, multicriteria method for evaluation: VIKOR).
- **“Risk-averse”** decision makers focus on the aspect of loss, avoiding high inconsistencies between predicted and actual performance, regardless of the performance sacrifice (metric for treatment of scenarios: “maximum regret”, multicriteria method for evaluation: TOPSIS).
- **“Risk-neutral”** decision makers lie in the middle of the scale, without showing any preference towards undertaking or avoiding risk (metric for treatment of scenarios: “maximum regret”, multicriteria method for evaluation: VIKOR or metric for treatment of scenarios: “group utility”, multicriteria method for evaluation: TOPSIS).

The classification of results with respect to decision makers profile against uncertainty presented above, is based on the following two conditions:

- Treating uncertainty with the “*maximum regret*” metric fits better to conservative decisions makers, since uncertainty is dealt only by avoiding the worst performance (i.e., loss) across scenarios. In contrast, “*group utility*” metric applies better to more optimistic decision makers against uncertainty, since the holistic performance (i.e., profit) across scenarios is considered.
- Finding the compromise solution of a multicriteria problem with the TOPSIS multicriteria method, applies better to more conservative decision makers, since apart from considering the distance from a positive ideal solution, as in the case of the VIKOR multicriteria method is done so, the distance from a negative ideal solution is also taken into account.

At the end of the proposed methodology’s “*bottom-up*” component, each decision makers profile is informed about the power generation policy —from the ones that are compared between each other on the basis of a particular aspect (e.g., “*speed of action*”)— that better serves its preferences in the light of uncertainty. Moreover, for that power generation policy, they are notified about its implications on the whole range of aspects that pertain to power generation planning (i.e., capital investments, fixed and variable cost of operation, installed capacity etc.).

At this point, the “*top-down*” component of the proposed methodology begins. Within the context of this methodological element, the optimal power generation policies per investor profile, as identified by the “*bottom-up*” methodological component, are evaluated from a macroeconomic and societal point of view. At the *first* phase of this methodological cycle, the macroeconomic model GTAP is calibrated so as to represent the economy of interest. For this reason, the data of the Social



Accounting Matrix (SAM) that depicts the circular monetary flows of the economy of interest for a specific year, are utilized. SAM is extracted from the GTAP database version 11, with a reference year of 2017. In continue, the reference year of SAM is renewed to the current time of analysis, using additional data from national accounts, while also SAM is adjusted to represent the examined economy apart from the global economy and the power sector as a distinct economic sector. These actions are applied with a view to enabling the communication of OSeMOSYS with GTAP at a later stage of the analysis. The SAM arisen by applying these actions, is supplied to GTAP, that calculates its elasticity parameters in order to replicate the SAM provided to it, thereby incorporating the idiosyncrasy and the particularities of the examined economy into it (e.g., the behavioral particularities of its agents).

At the *second* stage of the “*top-down*” approach, the representativeness of the data provided to GTAP is inspected, by applying a series of “*backcasting*” exercises. More particularly, GTAP, as calibrated at the previous stage, is used to postulate the economy at a past year. Afterwards, the results of the model are compared to the real historical data of the economy in question. The exogenous variables —that will extrapolate the economy to the past— and the endogenous ones —on the basis of which the evaluation of accuracy of the model will be conducted—, are selected in accordance with the structure of simulations that GTAP is going to be used, at a later methodological stage, for evaluating the macroeconomic footprint of examined power generation policies. The same stands for the time horizon of the exercise. This methodological stage keeps being reapplied, by adjusting the elasticity parameters of GTAP, until the results of the model come in agreement with the historical past data within the predefined error range of 2%.

At the *third* stage of this methodological cycle, the baseline or trend-based scenario that reflects how the examined and global economy would evolve over the period of interest based on the key macroeconomic and demographic projections, are constructed. To do so, first, the endowments (capital, labor, natural resources, and land), GDP and population growth projections are provided to GTAP as shocks (exogenous parameters), while land and natural resources are assumed in fixed supply between the period of interest. Moreover, since GTAP is a global macroeconomic model, these projections are supplied for all the regions considered by the model apart from the region of interest. By applying these baseline shocks, an economy-wide productivity factor is calculated for achieving the projected GDP growth. Then, a second simulation is performed to construct the final BAU scenario, by changing model’s closure through swapping GDP with output productivity (i.e., making GDP an endogenous variable and total productivity factor an exogenous one). The latter simulation serves also as a homogeneity test that evaluates whether the model behaves appropriately or not, in a sense that

the projected GDP growth should be precisely simulated by the model after applying the above-mentioned shocks.

At the *fourth* phase of this methodological circle, the counterfactual scenarios that reflect how the examined economy would evolve if the policy measures foreseen under the examined power generation policies were applied, are constructed. These simulations involve both the projections made for the examined economy and the shock rates sparked by the policy measures envisaged by each power generation policy. To find these shock rates per examined power generation policy, the results of OSeMOSYS about their cost of implementation (annualized capital investments, fixed and variable cost of operation) compared to the baseline, are utilized and inform GTAP. Moreover, at this stage, various scenarios are examined regarding who agent of the economy (e.g., government, households etc.) would cover their cost of implementation. Finally, the results of the examined power generation policies are compared to the results of the reference scenario, to identify their macroeconomic impacts. At the end of the proposed methodology's "top-down" component, decision makers are informed about the potential macroeconomic and societal footprint of the optimal power generation policy for their profile, with respect to the key macroeconomic (e.g., GDP, sectoral production, imports) and social indicators (e.g., GDP per capita, income, cost of living).

The proposed methodology for power generation decision support was **applied** to two case studies for the Greek power sector, with a view to extracting crucial knowledge and lessons for energy policy makers, as well as to check their robustness and practicality for them. More particularly, the conducted applications comprise, on the one hand, the evaluation of the macroeconomic and social footprint of a fast delignitization of power sector. At this application, only the "top-down" component of the proposed methodology was applied. The two examined scenarios in this study correspond to the draft ("*mild delignitization scenario*") and final ("*fast delignitization speed*") versions of the NECP of Greece that spans over the 2020–2030 period. For the scopes of this application, **GTAP-Greece**, an open-source global macroeconomic general equilibrium model with a focus on Greek economy, was developed. GTAP-Greece was developed based on the standard version of the global macroeconomic model GTAP and was calibrated to the GTAP database pre-release version 11. Moreover, the technological aspects of the analysis were taken into consideration through the exploitation of the results of the "*bottom-up*" energy models used under the preparation of the NECP of Greece, i.e., Times-Greece and Primes.

The results of this application indicated that the implementation of the "*rapid delignitization scenario*" would boost the Greek economy and improve the living standard of Greek citizens in the medium-term; with GDP and household income being higher in the order of 1% and 7%, respectively, in 2030, compared to the "*mild delignitization scenario*". This outcome can be ascribed to the

additional investments required for implementing the revised, more stringent measures of the “*rapid delignitization scenario*” that would bring about an expansionary effect for the Greek economy, as well as to the increased demand for production factors to substitute for the decreased energy in production, that would lead to the increase of household’s income. However, the faster delignitization of power sector was found that it could bring about some repercussions in the medium term, commonly observed in a demand-based expansion of the economy, such as an increased inflation (Consumer Price Index: +4.42% in 2030), a greater dependency on imports (imports: +3.75% in 2030), and a decline of the international competitiveness of the Greek economy (exports: –10% in 2030).

The second application of the proposed methodology is related to the examination of the appropriate speed of green hydrogen’s diffusion in power sector. This study attempted to shed some light on the optimal intensity of moving to a green hydrogen electricity sector in Greece, while at this application the proposed methodology was applied from end to end, exploiting both its “*bottom-up*” and “*top-down*” components. As regards the examined strategies for green hydrogen, four of them were formulated on top of the baseline scenario, that was developed solely on the basis of the least-cost pathway. The rate of green hydrogen’s diffusion in these strategies ranged from 3.39 TWh to 13.55 TWh of electricity produced from green hydrogen in 2050 —all these strategies envisaged the same rate of green hydrogen’s diffusion (0.6 TWh of electricity produced from green hydrogen) by 2030, considering the technical limitations that would apply to the earlier adoption of green hydrogen. Moreover, these strategies were developed along with a provision for storage capacity expansion to ensure the availability of the required amount of clean electricity to both produce green hydrogen and cover final electricity demand. In this respect, the formulated strategies for green hydrogen entailed an increased rate of battery storage capacity, while raising the rate of green hydrogen diffusion: from 0.86 to 3.86 GW additional battery storage capacity in 2050, compared to the baseline.

For the scopes of this application, **OSeMOSYS-Greece**, an open-source dynamic model for (medium-to) long-term Greece’s power generation planning optimization, implemented with the Open-Source energy MOdeling SYStem (OSeMOSYS) framework, was developed. The time horizon of OSeMOSYS-Greece ranged from 2019 to 2050 and its power generation mix included both the existing power technologies in the system and the potential ones that can—or are planned to—be introduced in the future: geothermal, wind offshore, CSP, fuel cells, and battery storage. In view of modelling green hydrogen’s production, two modes of operation were set for the clean technologies of the system: one at which they channeled their output directly to the grid, and another one at which they transferred their output as input to hydrogen production, which in turn was transformed into electricity via fuel cells, before flowing toward final electricity demand. Also, in OSeMOSYS-Greece, the electricity trade links of Greece with Albania, Bulgaria, North Macedonia, Turkey, and Italy, were

included. With this implementation of OSeMOSYS, the formulated power generation policy scenarios were simulated.

The macroeconomic evaluation of the optimal strategies per investor profile was implemented via the exploitation of **GTAP-Greece** (as it was developed in the context of the first case study of this PhD dissertation) and based on the results derived from OSeMOSYS-Greece regarding their cost of implementation—i.e., a soft-linkage between OSeMOSYS-Greece and GTAP-Greece was established. Moreover, four scenarios were considered regarding who agent of the economy would cover their cost of implementation, as follows:

- i. **HOUS**: the increased power generation cost is transferred to households;
- ii. **GOV**: the raised power generation cost is covered by government;
- iii. **50-50**: the increased power generation cost is covered evenly by government and households;
- iv. **GRANT**: from the cost transferred to households, the 6 billion € are financed from the “Recovery and Resilience Facility” (RRF) fund.

The appropriate speed of green hydrogen diffusion was found to range:

- for risk-takers or risk-neutral decision makers, in such a level, from which approximately the 15% of final electricity demand in 2050 could be produced. This strategy would require additional 6.56 GW of clean energy and 2.88 GW of battery storage in 2050, as well as 12.55 billion € for its financing, over the 2030-2050 period. Such an endeavor could lead to almost 15.71 Mton CO<sub>2</sub> of emissions reductions over the 2030-2050 period. The macroeconomic footprint of such a strategy was found to be the following one per financing scenario considered:
  - in terms of impact on GDP: (i) HOUS: -0.55% in 2050 compared to the baseline, or -0.03% per year during the 2030-2050 period on average, (ii) 50-50: -0.72% in 2050 compared to the baseline, or -0.04% per year during the 2030-2050 period on average, (iii) GOV: -0.88% in 2050 compared to the baseline, or -0.04% per year during the 2030-2050 period on average, (iv) GRANT: +2.78% in 2050 compared to the baseline, or +0.14% per year during the 2030-2050 period on average.
  - in terms of impact on income: (i) HOUS: -1.27% in 2050, compared to the baseline, or -0.06 per year during the 2030-2050 period on average, (ii) 50-50: -1.24% in 2050, compared to the baseline, or -0.06 per year during the 2030-2050 period on average, (iii) GOV: -1.22% in 2050, compared to the baseline, or -0.06 per year during the 2030-2050 period on average, (iv) GRANT: +3.42% in 2050 compared to the baseline, or +0.17% per year during the 2030-2050 period on average.

- For risk-averse decision-makers, in such a degree, from which around the 20% of final electricity demand in 2050 could be delivered. This strategy would require additional 7.34 GW of clean energy and 3.66 GW of battery storage in 2050, as well as 17 billion € for its financing, over the 2030-2050 period. Such a strategy could lead to almost 20.54 Mton CO<sub>2</sub> of emissions cuts over the 2030-2050 period. The macroeconomic footprint of such a strategy, was identified as the following one per examined financing scenario:
  - in terms of impact GDP: (i) HOUS: -0.74% in 2050 compared to the baseline, or -0.04% per year during the 2030-2050 period on average, (ii) 50-50: -0.97% in 2050 compared to the baseline, or -0.05% per year during the 2030-2050 period on average, (iii) GOV: -1.21% in 2050 compared to the baseline, or -0.06% per year during the 2030-2050 period on average, (iv) GRANT: +2.87% in 2050 compared to the baseline, or +0.14% per year during the 2030-2050 period on average,
  - in terms of impact on income: (i) HOUS: -1.73% in 2050, compared to the baseline, or -0.09 per year during the 2030-2050 period on average, (ii) 50-50: -1.70% in 2050, compared to the baseline, or -0.09 per year during the 2030-2050 period on average, (iii) GOV: -1.67% in 2050, compared to the baseline, or -0.08 per year during the 2030-2050 period on average, (iv) GRANT: +3.32% in 2050 compared to the baseline, or +0.17% per year during the 2030-2050 period on average.

It should be noted that the results arisen from the above-described case studies, were based on the input data and assumptions adopted within their context, selected according to the prevailing conditions of that time. Therefore, the incorporation of the updated developments (e.g., fossil fuels prices spikes) into these case studies, could lead to somehow different results and —subsequently— policy implications. Moreover, according to the current scene of electricity markets, additional aspects may be considered when it comes to evaluating the appropriate speed of power sector's delignitization, such as the one of energy security.

## Πίνακας Περιεχομένων

Πρόλογος .....	vii
Περίληψη .....	ix
Abstract .....	xi
Extended abstract .....	xiii
Περιεχόμενα Εικόνων.....	xxv
Περιεχόμενα Πινάκων .....	xxix
Περιεχόμενα Σχημάτων .....	xxx
Γλωσσάριο Αντιστοίχισης Τεχνικών Όρων .....	xxxi
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή .....	1
1.1 Υπόβαθρο .....	3
1.1.1 Κλιματική Αλλαγή και Προκλήσεις προς την Ανάπτυξη της Καθαρής Ηλεκτροπαραγωγής.....	3
1.1.2 Η Σημασία των Μοντέλων Υποστήριξης Αποφάσεων Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού.....	6
1.1.3 Αλληλεπίδραση Οικονομίας και Κλίματος.....	9
1.1.4 Η Σημασία της Ενεργειακής Αποδοτικότητας.....	12
1.2 Αντικείμενο και Στόχοι Διατριβής.....	15
1.3 Συμβολή Διατριβής.....	20
1.4 Δομή Διατριβής.....	27
Κεφάλαιο 2: Επισκόπηση Σχετιζόμενων Μεθοδολογιών .....	30
2.1 Μοντέλα Αξιολόγησης Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού .....	32
2.1.1 Κατηγορίες Μοντέλων .....	32
2.1.2 Διασύνδεση Μοντέλων .....	50
2.1.3 Βιβλιογραφική Επισκόπηση Μοντέλων Αξιολόγησης Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού.....	52
2.1.4 Μοντελοποίηση Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού υπό Συνθήκες Αβεβαιότητας	62
2.2 Μέθοδοι Πολυκριτήριας Ανάλυσης Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού .....	67
2.2.1 Βασικοί Ορισμοί.....	67
2.2.2 Κατηγορίες Μεθόδων .....	70
2.2.3 Ορισμός και Αξιολόγηση Κριτηρίων Επίδοσης .....	72
2.2.4 Κύριες Μέθοδοι Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων .....	74
2.2.5 Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων και Διαχείριση Αβεβαιότητας.....	79

2.2.6 Βιβλιογραφική Επισκόπηση Εφαρμογών Πολυκριτήριας Αξιολόγησης Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού .....	80
Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογικό Πλαίσιο .....	95
3.1 Επισκόπηση Μεθοδολογίας .....	97
3.2 Μοντέλο Βελτιστοποίησης Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού .....	108
3.2.1 Χαρακτηριστικά.....	108
3.2.2 Αποτύπωση Ηλεκτροπαραγωγικού Συστήματος .....	112
3.2.3 Παράμετροι και Δεδομένα .....	115
3.3 Διαχείριση Αβεβαιότητας Δεδομένων Εισόδου για το Μοντέλο Βελτιστοποίησης Ηλεκτροπαραγωγικού Προγραμματισμού.....	118
3.4 Πολυκριτήρια Αξιολόγηση Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού.....	121
3.5 Διασύνδεση Μοντέλων.....	127
3.6 Μακροοικονομικό Μοντέλο «Γενικής Ισορροπίας».....	132
3.6.1 Βάση Δεδομένων.....	132
3.6.2 Προσομοίωση «Διαταραχών» Ηλεκτροπαραγωγικών Πολιτικών σε Ολόκληρη την Οικονομία .....	135
3.7 Διαχείριση Παραμετρικής Αβεβαιότητας για το Μακροοικονομικό Μοντέλο «Γενικής Ισορροπίας».....	145
3.8 Υλοποίηση (Λογισμικό).....	147
Κεφάλαιο 4: Εφαρμογές Προτεινόμενου Μεθοδολογικού Πλαισίου.....	151
4.1 Η Περίπτωση της Ελλάδας .....	153
4.1.1 Ενεργειακοί Στόχοι και Ιδιαιτερότητες.....	153
4.1.2 Σενάρια Μετάβασης στην Κλιματική Ουδετερότητα.....	162
4.1.3 Υπάρχουσες Μελέτες και Αποτελέσματα.....	172
4.1.4 Ανάλυση Ερευνητικού Χάσματος και Αναγνώριση Διλημάτων Πολιτικής.....	176
4.2 Μακροοικονομικές Επιπτώσεις μίας Ταχείας «Απολιγνιτοποίησης» της Ηλεκτροπαραγωγής .....	179
4.2.1 Σενάρια .....	179
4.2.2 Μοντέλα .....	182
4.2.3 Αποτελέσματα .....	187
4.3 Επιλέγοντας την Κατάλληλη Ταχύτητα Διείσδυσης του Πράσινου Υδρογόνου .....	197
4.3.1 Υπόβαθρο.....	197
4.3.2 Πολιτικές για το Πράσινο Υδρογόνο .....	199
4.3.3 Μοντέλο Βελτιστοποίησης του Προγραμματισμού της Ηλεκτροπαραγωγής για την Ελλάδα 202	
4.3.4 Διαχείριση Αβεβαιότητας .....	215

4.3.5	Πολυκριτήρια Αξιολόγηση Πολιτικών Πράσινου Υδρογόνου.....	216
4.3.6	Εξέταση του Μακροοικονομικού Αποτυπώματος των Πολιτικών Πράσινου Υδρογόνου.....	217
4.3.7	Αποτελέσματα .....	221
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και Προοπτικές .....		247
5.1	Συμπεράσματα .....	249
5.2	Προοπτικές .....	255
Βιβλιογραφία.....		257
Παραρτήματα .....		282
Παράρτημα Α .....		284
	Λίστα Δημοσιεύσεων.....	284
Παράρτημα Β .....		286
	Διαδικασίες για την Ενσωμάτωση της Δημοκρατίας της Σερβίας στη Βάση Δεδομένων GTAP	286



## Περιεχόμενα Εικόνων

<b>Εικόνα 1:</b> Εξέλιξη των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής συναρτήσει του χρόνου, ανά σενάριο.....	3
<b>Εικόνα 2:</b> Διατομεακό πλέγμα αλληλεπιδράσεων των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, σε αστικές περιοχές. .....	10
<b>Εικόνα 3:</b> Μηχανισμός μετάδοσης των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής στην οικονομία και στο χρηματοοικονομικό σύστημα.....	11
<b>Εικόνα 4:</b> Απεικόνιση των χρησιμοποιούμενων προσεγγίσεων για την αξιολόγηση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού.....	33
<b>Εικόνα 5:</b> Τρόπος απεικόνισης των κυκλικών ροών εισοδήματος και εξόδων σε μία εθνική οικονομία, από τα μακροοικονομικά μοντέλα «γενικής ισορροπίας».....	37
<b>Εικόνα 6:</b> Απεικόνιση των διαθέσιμων τρόπων διασύνδεσης μακροοικονομικών με ενεργειακά μοντέλα. ....	52
<b>Εικόνα 7:</b> Κατηγοριοποίηση των διαθέσιμων μεθόδων ΠΑΑ, με βάση τα αποτελέσματα που παράγουν. ....	71
<b>Εικόνα 8:</b> Διάγραμμα ροής της προτεινόμενης από την παρούσα διδακτορική διατριβή μεθοδολογίας για την —«από τη βάση προς την κορυφή»— εξέταση των τεχνολογικών λεπτομερειών, αλληλεπιδράσεων και εξελίξεων του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού. ....	105
<b>Εικόνα 9:</b> Διάγραμμα ροής της προτεινόμενης από την παρούσα διδακτορική διατριβή μεθοδολογίας για την —«από την κορυφή προς τη βάση»— εξέταση του μακροοικονομικού και κοινωνικού αποτυπώματος του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού. ....	106
<b>Εικόνα 10:</b> Παράδειγμα Ενεργειακού Συστήματος Αναφοράς. ....	114
<b>Εικόνα 11:</b> Παράδειγμα διάκρισης σεναρίων ( $\Sigma_i$ ) για την περίπτωση δύο αθέβαιων παραμέτρων ( $ΑΠ_1$ και $ΑΠ_2$ ). .....	120
<b>Εικόνα 12:</b> Δομή και χαρακτηριστικά των κριτηρίων επίδοσης της ανάλυσης.....	122
<b>Εικόνα 13:</b> Διαδικασία κατασκευής πίνακα απόφασης, με βάση το μέτρο που χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση των «βαθμών δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων, κατά μήκος των διαμορφούμενων σεναρίων. ....	124
<b>Εικόνα 14:</b> Σχηματική απεικόνιση των διασυνδέσεων μεταξύ του μακροοικονομικού μοντέλου «γενικής ισορροπίας» GTAP και του μοντέλου βελτιστοποίησης του προγραμματισμού της ηλεκτροπαραγωγής OSeMOSYS. ....	131
<b>Εικόνα 15:</b> Διαδικασία κατασκευής της βάσης δεδομένων GTAP. ....	134
<b>Εικόνα 16:</b> Προσομοίωση των κυκλικών ροών μίας τοπικής οικονομίας από το μακροοικονομικό μοντέλο «γενικής ισορροπίας» GTAP. ....	138
<b>Εικόνα 17:</b> Σύγκριση του τρόπου που κυμάνθηκε η ελληνική οικονομία και η οικονομία έτερων χωρών, κατά τη διάρκεια της οικονομικής κρίσης που διήλθαν, σε χρονικό ορίζοντα 11ετίας. Ο δείκτης 100 αντιστοιχεί στο προ-κρίσης επίπεδο του ΑΕΠ σε σταθερές τιμές. ....	154
<b>Εικόνα 18:</b> Εξέλιξη του χρέους, του ελλείματος και του πρωτογενούς ελλείματος, ως ποσοστό του ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας, κατά την περίοδο 2008-2023. ....	155
<b>Εικόνα 19:</b> Συμμετοχή στην ηλεκτροπαραγωγή ανά τύπο καυσίμου για την Ελλάδα, κατά την περίοδο 1990-2019.....	157
<b>Εικόνα 20:</b> Στόχοι διείσδυσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην ηλεκτροπαραγωγή για την ελληνική κυβέρνηση, κατά την περίοδο 2004-2030.....	160
<b>Εικόνα 21:</b> Εξέλιξη των εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου (Ατθ) για το ελληνικό ενεργειακό σύστημα, κατά την περίοδο 1995-2030. ....	160
<b>Εικόνα 22:</b> Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο καυσίμου στον οικιακό τομέα της Ελλάδας το 2015, 2030 και 2050, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψη στη Μακροχρόνια Στρατηγική της ελληνικής κυβέρνησης.....	166

<b>Εικόνα 23:</b> Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο καυσίμου στον τομέα υπηρεσιών της Ελλάδας το 2015, 2030 και 2050, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψη στη Μακροχρόνια Στρατηγική της ελληνικής κυβέρνησης.....	166
<b>Εικόνα 24:</b> Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο καυσίμου στο βιομηχανικό τομέα της Ελλάδας το 2015, 2030 και 2050, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψη στη Μακροχρόνια Στρατηγική της ελληνικής κυβέρνησης.....	167
<b>Εικόνα 25:</b> Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο καυσίμου στον τομέα μεταφορών της Ελλάδας το 2015, 2030 και 2050, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψη στη Μακροχρόνια Στρατηγική της ελληνικής κυβέρνησης.....	167
<b>Εικόνα 26:</b> Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο καυσίμου στον τομέα της γεωργίας της Ελλάδας το 2015, 2030 και 2050, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψη στη Μακροχρόνια Στρατηγική της ελληνικής κυβέρνησης.....	168
<b>Εικόνα 27:</b> Μεριδίο καυσίμων στη συνολική τελική κατανάλωσης ενέργειας το 2015, 2030 και 2050, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψη στη Μακροχρόνια Στρατηγική της ελληνικής κυβέρνησης. ...	168
<b>Εικόνα 28:</b> Εγκαταστημένη ισχύς ανά τύπο ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας το 2015 και 2050, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψη στη Μακροχρόνια Στρατηγική της Ελληνικής κυβέρνησης. ....	169
<b>Εικόνα 29:</b> Ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρισμού ανά τύπο καυσίμου το 2015, 2030 και 2050, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψη στη Μακροχρόνια Στρατηγική της Ελληνικής κυβέρνησης. ....	169
<b>Εικόνα 30:</b> Μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής του ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας, κατά την περίοδο 2000-2050.....	170
<b>Εικόνα 31:</b> Μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής του ελληνικού πληθυσμού, κατά την περίοδο 2000-2050.....	171
<b>Εικόνα 32:</b> Γραφική απεικόνιση της εξέλιξης του ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας κατά τις περιόδους 2020–2025 και 2026–2030, για τις περιπτώσεις του βασικού σεναρίου αναφοράς και των σεναρίων «ήπιας απολιγνιτοποίησης» και «απότομης απολιγνιτοποίησης». Η μαρκαρισμένη περιοχή (γκρι χρώμα) υποδεικνύει το 95% διάστημα εμπιστοσύνης των αποτελεσμάτων του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης», επί της μεταβλητότητας (+/- 20%) των παραμέτρων ελαστικότητας του μοντέλου.....	189
<b>Εικόνα 33:</b> Γραφική απεικόνιση της εξέλιξης της ζήτησης των νοικοκυριών (γράφημα Α) και του εισοδήματός τους (γράφημα Β), κατά τις περιόδους 2020–2025 και 2026–2030, για τις περιπτώσεις των σεναρίων «ήπιας απολιγνιτοποίησης» και «απότομης απολιγνιτοποίησης».....	191
<b>Εικόνα 34:</b> Γραφική απεικόνιση της εξέλιξης του Δείκτη Τιμών Καταναλωτή (γράφημα Α), του Δείκτη Τιμών Παραγωγού (γράφημα Β), του Δείκτη Τιμών Εισαγωγών (γράφημα Γ) και του Δείκτη Τιμών Εξαγωγών (γράφημα Δ), κατά τις περιόδους 2020–2025 και 2026–2030, για τις περιπτώσεις των σεναρίων «ήπιας απολιγνιτοποίησης» και «απότομης απολιγνιτοποίησης».....	194
<b>Εικόνα 35:</b> Ύψος τελικής ζήτησης ηλεκτρισμού προερχόμενου από πράσινο υδρογόνο (Α) και ισχύς μπαταρίας αποθήκευσης (Β), ανά εξεταζόμενο σενάριο πολιτικής την περίοδο 2030-2050. ....	201
<b>Εικόνα 36:</b> Ηλεκτροπαραγωγικό Σύστημα Αναφοράς που ρυθμίστηκε στο OSeMOSYS-Ελλάδας. ....	204
<b>Εικόνα 37:</b> Προφίλ ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκειας μίας ημέρας και ανά μήνα, κατά τον τρόπο που ορίστηκε στο OSeMOSYS-Ελλάδας.....	205
<b>Εικόνα 38:</b> Αναμενόμενη εξέλιξη των απαιτούμενων επενδύσεων κεφαλαίου ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος, για κάθε τύπο καθαρής ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας την περίοδο 2019-2050.....	207
<b>Εικόνα 39:</b> Αναμενόμενη εξέλιξη των απαιτούμενων επενδύσεων κεφαλαίου ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος, για κάθε τύπο ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας ορυκτών καυσίμων την περίοδο 2019-2050.....	207
<b>Εικόνα 40:</b> Αναμενόμενος ρυθμός εκμάθησης ανά τύπο καθαρής ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας, σε χρονικό ορίζοντα δεκαετίας, την περίοδο 2020-2050.....	208
<b>Εικόνα 41:</b> Αναμενόμενη εξέλιξη του μεταβλητού κόστους παραγωγής ηλεκτρισμού, ανά τύπο ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας την περίοδο 2019-2050.....	209
<b>Εικόνα 42:</b> Αναμενόμενη εξέλιξη του σταθερού κόστους λειτουργίας ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος, ανά τύπο καθαρής ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας την περίοδο 2019-2050.....	209

<b>Εικόνα 43:</b> Αναμενόμενη εξέλιξη του σταθερού κόστους λειτουργίας ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος, ανά τύπο ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας ορυκτών καυσίμων την περίοδο 2019-2050. ....	210
<b>Εικόνα 44:</b> Αναμενόμενη εξέλιξη των τιμών ορυκτών καυσίμων μέχρι το 2050 (EC, 2021a). ....	210
<b>Εικόνα 45:</b> Αναμενόμενη εξέλιξη των τιμών δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, μέχρι το 2050 (EC, 2021a). ....	211
<b>Εικόνα 46:</b> Αναμενόμενη εξέλιξη της τελικής ζήτησης ηλεκτρισμού μέχρι το 2050 ανά τομέα, κατά τον τρόπο που ορίστηκε στο OSeMOSYS-Ελλάδας. ....	211
<b>Εικόνα 47:</b> Λειτουργικός χρόνος ζωής και απαιτούμενος χρόνος κατασκευής εγκαταστάσεων, ανά ηλεκτροπαραγωγική τεχνολογία (ΗΜΕΕ, 2019b; IEA, 2021b). ....	212
<b>Εικόνα 48:</b> Αναμενόμενη εξέλιξη των ροών ηλεκτρικής ενέργειας στα σημεία διασύνδεσης με άλλες χώρες, κατά την περίοδο 2019-2050 (EC, 2021a). ....	213
<b>Εικόνα 49:</b> Εγκατεστημένη ισχύς ανά τεχνολογία του ελληνικού ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, για τα έτη 2018, 2019, 2020 και 2021. ....	214
<b>Εικόνα 50:</b> Συντελεστές εντάσεως εκπομπών ανά ορυκτό καύσιμο, κατά τον τρόπο που ορίστηκαν στο OSeMOSYS-Ελλάδας (ΕΙΑ, 2022; ΕΡΑ, 2018). ....	214
<b>Εικόνα 51:</b> Θεωρούμενα επίπεδα για τις αβέβαιες παραμέτρους της ανάλυσης (τιμολόγηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και κόστος συστήματος), ανά εξεταζόμενο σενάριο ( $\Sigma_{i=1, \dots, 9}$ ). ....	216
<b>Εικόνα 52:</b> Εξέλιξη του ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας και του ελληνικού πληθυσμού κατά την περίοδο 2030-2050. ....	218
<b>Εικόνα 53:</b> Εξέλιξη του ΑΕΠ και του πληθυσμού για το «Υπόλοιπο του Κόσμου» κατά την περίοδο 2030-2050. ....	218
<b>Εικόνα 54:</b> Εξέλιξη του εργατικού δυναμικού για την Ελλάδα και το «Υπόλοιπο του Κόσμου» κατά την περίοδο 2030-2050. ....	219
<b>Εικόνα 55:</b> Εξέλιξη της συσσώρευσης κεφαλαίου για την ελληνική οικονομία και το «Υπόλοιπο του Κόσμου» κατά την περίοδο 2030-2050. ....	219
<b>Εικόνα 56:</b> Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος ανά ηλεκτροπαραγωγική τεχνολογία του συστήματος, κατά την περίοδο 2022-2030, για το σενάριο αναφοράς. ....	222
<b>Εικόνα 57:</b> Εξέλιξη της παραγόμενης ενέργειας ανά ηλεκτροπαραγωγική τεχνολογία του συστήματος, κατά την περίοδο 2022-2030, για το σενάριο αναφοράς. ....	223
<b>Εικόνα 58:</b> Εξέλιξη του ποσοστού παραγόμενης ενέργειας ανά ηλεκτροπαραγωγική τεχνολογία του συστήματος, κατά την περίοδο 2022-2030, για το σενάριο αναφοράς. ....	223
<b>Εικόνα 59:</b> Εξέλιξη του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας ανά μεγαβατώρα τελικής ζήτησης, κατά την περίοδο 2022-2030, για το σενάριο αναφοράς. ....	224
<b>Εικόνα 60.</b> «Βαθμοί δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων κατά μήκος των εξεταζόμενων σεναρίων και ανά διάσταση της ανάλυσης, για κάθε πολιτική πράσινου υδρογόνου που εξετάζεται, με βάση τα μέτρα «συνολικής χρησιμότητας» (Α) και «μέγιστης δυσαρέσκειας» (Β). ....	228
<b>Εικόνα 61:</b> Τιμές Q της πολυκριτήριας μεθόδου VIKOR ανά εξεταζόμενη πολιτική για το πράσινο υδρογόνο, για τις περιπτώσεις που η αβεβαιότητα διαχειρίζεται με τα μέτρα «συνολικής χρησιμότητας» και «μέγιστης δυσαρέσκειας». ....	230
<b>Εικόνα 62:</b> Σειρά κατάταξης των πολιτικών πράσινου υδρογόνου με βάση τις τιμές Q της πολυκριτήριας μεθόδου VIKOR, για τις περιπτώσεις που η αβεβαιότητα διαχειρίζεται με τα μέτρα «συνολικής χρησιμότητας» και «μέγιστης δυσαρέσκειας». ....	230
<b>Εικόνα 63:</b> Τιμές εγγύτητας (D) των πολιτικών πράσινου υδρογόνου στην ιδεατή λύση με βάση την πολυκριτήρια μέθοδο TOPSIS, για τις περιπτώσεις που η αβεβαιότητα διαχειρίζεται με τα μέτρα «συνολικής χρησιμότητας» και «μέγιστης δυσαρέσκειας». ....	232
<b>Εικόνα 64:</b> Σειρά κατάταξης των πολιτικών πράσινου υδρογόνου με βάση τις τιμές εγγύτητας D της μεθόδου TOPSIS, για τις περιπτώσεις που η αβεβαιότητα διαχειρίζεται με τα μέτρα «συνολικής χρησιμότητας» και «μέγιστης δυσαρέσκειας». ....	233

<b>Εικόνα 65:</b> Επίδραση των εξεταζόμενων πολιτικών για το πράσινο υδρογόνο στο ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας σε σχέση με το σενάριο αναφοράς κατά την περίοδο 2030-2050, ανά εξεταζόμενο σενάριο χρηματοδότησης (χωρίς επιδότηση). .....	242
<b>Εικόνα 66:</b> Επίδραση των εξεταζόμενων πολιτικών για το πράσινο υδρογόνο στο ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας σε σχέση με το σενάριο αναφοράς κατά την περίοδο 2030-2050, ανά εξεταζόμενο σενάριο χρηματοδότησης (με επιδότηση). .....	243
<b>Εικόνα 67:</b> Επίδραση των εξεταζόμενων πολιτικών για το πράσινο υδρογόνο στο επίπεδο του εισοδήματος της ελληνικής οικονομίας το 2050, σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.....	246

## Περιεχόμενα Πινάκων

<b>Πίνακας 1:</b> Παράδειγμα «Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής» (ΠΚΛ).....	36
<b>Πίνακας 2:</b> «Διαταραχές» στο ενεργειακό σύστημα των κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) κατά την περίοδο 2020-2030, ως συνέπεια της εφαρμογής των σεναρίων-στόχων που περιγράφονται στα Εθνικά Σχέδιά τους για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), και οι κύριες μακροοικονομικές επιπτώσεις ως απόρροια αυτών των «διαταραχών».....	58
<b>Πίνακας 3:</b> Ταξινομία κριτηρίων επίδοσης σε μελέτες ΠΑΑ στον τομέα του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού.....	87
<b>Πίνακας 4:</b> Βιβλιογραφική επισκόπηση μελετών που έχουν εφαρμόσει μία μέθοδο πολυκριτήριας ανάλυσης στον τομέα του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού.....	88
<b>Πίνακας 5:</b> Κύριοι τεθέντες ενεργειακοί στόχοι από την ελληνική κυβέρνηση για το 2030, με βάση την αρχική και τελική έκδοση του ΕΣΕΚ, και σύγκριση με τους αντίστοιχους βασικούς ευρωπαϊκούς στόχους.....	159
<b>Πίνακας 6:</b> Βασικοί στόχοι του νέου κλιματικού νόμου της ελληνικής κυβέρνησης (Καθημερινή, 2022).....	161
<b>Πίνακας 7:</b> Σενάρια μετάβασης του ελληνικού ενεργειακού συστήματος στην κλιματική ουδετερότητα, από τη χρονική σκοπιά του 2050.....	165
<b>Πίνακας 8:</b> Κύρια αποτελέσματα των ενεργειακών μοντέλων TIMES-Ελλάδας και Primes για το ελληνικό ενεργειακό σύστημα την περίοδο 2020-2030, και οι κύριες μακροοικονομικές και δημογραφικές προβλέψεις που λήφθηκαν υπόψιν.....	181
<b>Πίνακας 9:</b> «Διαταραχές» στην οικονομία που εφαρμόστηκαν στο μοντέλο GTAP-Ελλάδας, για την κατασκευή του βασικού σεναρίου αναφοράς, για την Ελλάδα και το «Υπόλοιπο του Κόσμου», κατά τις περιόδους 2020–2025 και 2020–2030.....	185
<b>Πίνακας 10:</b> «Διαταραχές» που εφαρμόζονται στην ελληνική οικονομία κατά τις περιόδους 2020–2025 και 2020–2030, με σκοπό την προσομοίωση των σεναρίων «απότομης απολιγνιτοποίησης» και «ήπιας απολιγνιτοποίησης».....	187
<b>Πίνακας 11:</b> Δομή και χαρακτηριστικά των κριτηρίων επίδοσης της ανάλυσης.....	217
<b>Πίνακας 12:</b> «Διαταραχές» στην οικονομία που εφαρμόστηκαν στο μοντέλο GTAP-Ελλάδας, για την κατασκευή του βασικού σεναρίου αναφοράς για την Ελλάδα και το «Υπόλοιπο του Κόσμου», κατά τις περιόδους 2030–2035, 2030–2040, 2030–2045 και 2030–2050.....	220
<b>Πίνακας 13:</b> Σωρευτικά αποτελέσματα (από το OSeMOSYS-Ελλάδας) για τις εξεταζόμενες πολιτικές πράσινου υδρογόνου και το σενάριο αναφοράς κατά μήκος των κριτηρίων και σεναρίων της ανάλυσης, την περίοδο 2030-2050.....	225
<b>Πίνακας 14:</b> Υποθέσεις χρηματοδότησης (σε εκατομμύρια δολάρια) για τις δύο προκριθείσες —σε όρους ελκυστικότητας για τους αποφασίζοντες— πολιτικές για το πράσινο υδρογόνο (ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ3 και ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ4), κατά τη διάρκεια της περιόδου 2030-2050, ανά εξεταζόμενο σενάριο.....	238
<b>Πίνακας 15:</b> «Διαταραχές» στην ελληνική οικονομία κατά τη διάρκεια της περιόδου 2030-2050, ως απόρροια της υλοποίησης των δύο προκριθείσων —σε όρους ελκυστικότητας για τους αποφασίζοντες— πολιτικών για το πράσινο υδρογόνο (ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ3 και ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ4).....	240

## Περιεχόμενα Σχημάτων

<b>Σχήμα 1:</b> Ακολουθούμενα βήματα για τη μακροοικονομική αξιολόγηση μίας ηλεκτροπαραγωγικής πολιτικής με ένα μοντέλο "Γενικής Ισορροπίας".....	43
<b>Σχήμα 2:</b> Συμπληρωματικά χαρακτηριστικά μεταξύ των μακροοικονομικών και ενεργειακών μοντέλων αξιολόγησης ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού. ....	49
<b>Σχήμα 3:</b> Βήματα επίλυσης ενός προβλήματος Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων (ΠΑΑ).....	68
<b>Σχήμα 4:</b> Κατηγορίες αποτελεσμάτων που παράγονται από το μακροοικονομικό μοντέλο GTAP. ....	139

## Γλωσσάριο Αντιστοίχισης Τεχνικών Όρων

IPCC: “Intergovernmental Panel on Climate Change” («Διακυβερνητική Επιτροπή του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή»)

ΟΗΕ: Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (“United Nations” — UN)

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (“Renewable Energy Sources” — RES)

ΕΕ: Ευρωπαϊκή Ένωση (“European Union” — EU)

ΕΣΕΚ: Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (“National Energy and Climate Plan” — NECP)

ΥτΚ: Υπόλοιπο του Κόσμου (“Rest of World” — RoW)

ΑΕΠ: Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (“Gross Domestic Product” — GDP)

ΠΚΛ: Πίνακας Κοινωνικής Λογιστικής (“Social Accounting Matrix” — SAM)

OSeMOSYS: “Open Source energy MOdelling SYStem” («Ανοιχτού Κώδικα Σύστημα Ενεργειακής Μοντελοποίησης»)

GTAP: “Global Trade Analysis Project” («Έργο Ανάλυσης Παγκοσμίου Εμπορίου»)

ΠΑΑ: Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων (“Multicriteria Decision Analysis” — MDA)

AHP: “Analytical Hierarchy Process” («Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος»)

ΜΣ: Μακροχρόνια Στρατηγική

ΕΞΕΑ: Εξηλεκτρισμού-Ενεργειακής Αποδοτικότητας

ΝΚ: Νέων Καυσίμων

ΑτΘ: Αέρια του Θερμοκηπίου (“Greenhouse Gases” — GHG)

ΣΕΔΕ: Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (“Emissions trading System” — ETS)

PROMETHEE: “Preference Ranking Optimization METHod for Enrichment Evaluation” («Μέθοδος Βελτιστοποίησης Προτιμήσεων Κατάταξης για Αξιολόγηση της Ενίσχυσης»)

TOPSIS: “Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution” («Τεχνική Κατάταξης των Προτιμήσεων βάσει της Ομοιότητας προς την Ιδανική Λύση»)

VIKOR: “ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje”

ELECTRE: “Elimination Et Choix Traduisant la REalit”

LUC: “Land Use & Cover” («Χρήση Γης και Κάλυψης»)

BAU: “business-as-usual” («Βασικό Σενάριο Εξέλιξης»)

ΙΟ: “Input-Output” («Εισροών-Εκροών»/«Εισαγωγών-Εξαγωγών»)

CGE: “Computable General Equilibrium” («Υπολογίσιμη Γενική Οικονομική Ισορροπία»/«Γενική Ισορροπία»)

IEA: “International Energy Agency” (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας)

TIMES: “Integrated MARKAL-EFOM2 System” («Ολοκληρωμένο Ενεργειακό Σύστημα»)

Primes: “Price-Induced Market Equilibrium System” («Σύστημα Ισορροπίας Υποκινούμενο από τις Τιμές»)

NDC: “Nationally Determined Contributions” («Εθνικά Καθορισμένες Συνεισφορές»)

IMF: “International Monetary Fund” («Διεθνές Νομισματικό ταμείο»)

ΟΟΣΑ: Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (“Organisation for Economic Co-operation and Development” — OECD)

RES: “Reference Energy System” («Ενεργειακό Σύστημα Αναφοράς»)

MoManI: “Model Management Infrastructure” («Μοντέλο Διαχείρισης Υποδομής»)

ΗΠΑ: Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (“United States of America” — USA)

ESOMs: Energy System Optimization Models («Μοντέλα Βελτιστοποίησης Ενεργειακού Προγραμματισμού»)

OAT: “One-Factor-at-a-Time” («Ανάλυση Ευαισθησίας με βάση Έναν Παράγοντα τη Φορά»)

SOWs: “States Of the Worlds” («Καταστάσεις του Κόσμου»)

COPRAS: “COmplex PRoportional ASsessment” («Σύνθετη Αναλογική Αξιολόγηση»)

SAW: “Simple Additive Weighting” («Απλή Προσθετική Στάθμιση»)

CBA: “Comparison By Advantages” («Μέθοδος Σύγκρισης Πλεονεκτημάτων»)

CCUS: “Carbon Capture Use and Storage” («Σύλληψη, Χρήση και Αποθήκευση Άνθρακα»)

WSM: “Weighted Sum Method” («Μέθοδος Σταθμισμένου Μέσου»)

MACBETH: “Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique” («Αξιολογώντας την Έλκυστικότητα μέσω μίας Τεχνικής που Βασίζεται σε Κατηγορικές Μεταβλητές»)

SSP: “Shared Socioeconomic Pathway” («Διαμοιρασμένο Κοινωνικοοικονομικό Μονοπάτι»)

IIASA: “International Institute for Applied Systems Analysis” («Παγκόσμιο Ινστιτούτο για Εφαρμοσμένη Ανάλυση Συστημάτων»)

RRF: “Recovery and Resilience Facility” («Ταμείο Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας»)

EKMH: Επενδύσεις Κεφαλαίου Μίας Ημέρας (“Overnight Capital Cost”)

CSP: “Concentrated Solar Power” («Συγκεντρωτική Ηλιακή Ενέργεια»)





---

## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

---

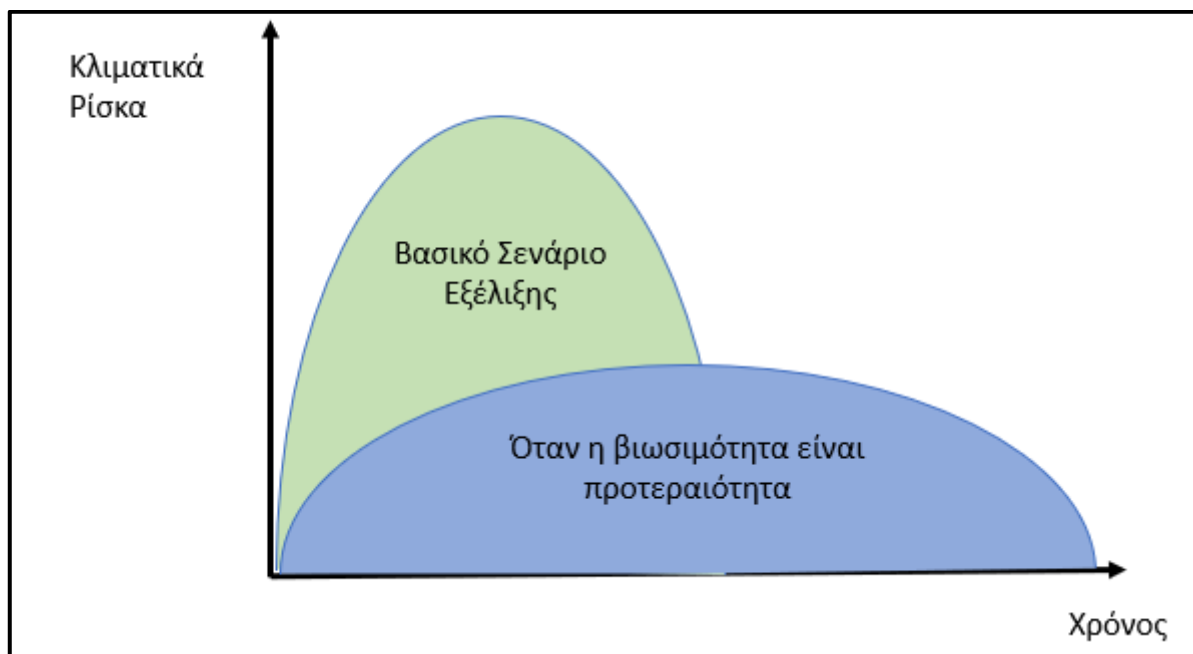


## 1.1 Υπόβαθρο

### 1.1.1 Κλιματική Αλλαγή και Προκλήσεις προς την Ανάπτυξη της Καθαρής Ηλεκτροπαραγωγής

Η πίεση που ασκεί η ανθρωπότητα στον Πλανήτη Γη, έχει διαβεί τα ασφαλή όρια σε πολλά επίπεδα (Steffen et al., 2015), κάτι το οποίο αποτυπώνεται σε πολλαπλές συστημικές και κλιμακούμενες πλανητικές κρίσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν την κλιματική κρίση και αλλαγή, τη βιοποικιλότητα και την κρίση του περιβάλλοντος, την ατμοσφαιρική ρύπανση και την κρίση των αποβλήτων (“waste crisis”). Αυτές οι κρίσεις, είναι αλληλοσυνδεόμενες και συχνά πυροδοτούνται από τους ίδιους παράγοντες, οι οποίοι σχετίζονται κυρίως με τα σημερινά μη βιώσιμα μοντέλα παραγωγής και κατανάλωσης (Zhongming et al., 2021). Η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή, αποτελεί τη ναυαρχίδα όλων αυτών των κρίσεων, και οι συνέπειές της γίνονται αισθητές σε όλα τα μήκη και πλάτη του πλανήτη, πλήττοντας κυρίως τους οικονομικά και κοινωνικά «ασθενέστερους» και τις νεότερες γενιές (Δούκας, 2021a). Η πανδημία “COVID-19” φανέρωσε την ευθραυστότητα της ανθρώπινης ύπαρξης καθώς και τις όψεις διακινδύνευσης της κλιματικής αλλαγής, οι συνέπειες της οποίας θα είναι πολύ μεγαλύτερης κλίμακας, αν δεν ληφθούν άμεσα δραστικά μέτρα για την αντιμετώπισή της (*Εικόνα 1*; ΗΑΕΕ, 2020).

*Εικόνα 1: Εξέλιξη των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής συναρτήσει του χρόνου, ανά σενάριο.*



Υπό αυτή την υπαρξιακή απειλή, η «Νέα Πράσινη Ευρωπαϊκή Συμφωνία» (“European Green Deal”) στοχεύει να μεταμορφώσει την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) σε μία μοντέρνα, βιώσιμη και ανταγωνιστική

οικονομία, εξασφαλίζοντας: (α) μηδενικές εκπομπές μέχρι το 2050, (β) την αποσύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης από την χρήση φυσικών πόρων και (γ) την εξάλειψη των ανισοτήτων μεταξύ πολιτών και κρατών μελών. Ορόσημο σε αυτόν τον αγώνα εναντίον της κλιματικής αλλαγής, έχει αποτελέσει η υιοθέτηση της συμφωνίας των Παρισίων, η οποία έθεσε το πλαίσιο εντός του οποίου κινείται η διεθνής ακαδημαϊκή και πολιτική κοινότητα, έπειτα από τη θέσπιση της εν λόγω συμφωνίας. Στο πλαίσιο αυτής της συμφωνίας, οι κυβερνήσεις ανά τον κόσμο έχουν δεσμευτεί στην εκπλήρωση συγκεκριμένων ενεργειακών και κλιματικών στόχων, με απώτερο σκοπό την κλιματική ουδετερότητα από τη χρονική σκοπιά του 2050 (UNFCCC, 2021). Πιο συγκεκριμένα, τα κράτη μέλη των Ηνωμένων Εθνών (ΗΕ; “United Nations — UN”) συμφώνησαν στον περιορισμό της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας κάτω από τους 1.5°C, σε σχέση με τα προ-βιομηχανικής εποχής επίπεδα μέχρι το 2100 (European Council, 2021).

Αυτός ο στόχος, όμως, φαντάζει ιδιαίτερος δύσκολο να επιτευχθεί με την έως τώρα εξέλιξη των πραγμάτων (ήδη η παγκόσμια θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 1,1 °C κατά την περίοδο 1850-2020; Δούκας, 2018). Αυτό έγινε ακόμη πιο εμφανές, με την 6η Έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) για την Κλιματική Αλλαγή (“Intergovernmental Panel on Climate Change”; IPCC, 2021), η οποία αναφέρει ότι η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης αναμένεται να ξεπεράσει τον στόχο του 1.5°C, γύρω στο 2030, δηλαδή μία ολόκληρη δεκαετία πιο πριν από την προηγούμενη πρόβλεψη του ΟΗΕ. Σύμφωνα με την έκθεση, αυτό αναμένεται να πραγματοποιηθεί, σε όλα τα σενάρια εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, ανεξαρτήτου του επιπέδου φιλοδοξίας του σεναρίου, με βάση την υπάρχουσα ροή των πραγμάτων. Στο πλαίσιο αυτό, οι χαράσσοντες πολιτική, καλούνται να διαμορφώσουν πιο έντονες, καινοτόμες, και με μεγαλύτερη στόχευση ενεργειακές πολιτικές (IEA, 2021a), το αποτύπωμα των οποίων εκτείνεται κατά πολύ πέρα από τον ενεργειακό τομέα, επηρεάζοντας την ευρύτερη οικονομία και τις ζωές των πολιτών.

Φυσικό επακόλουθο των πολιτικών που θα οδηγήσουν στη μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα, είναι ότι τα ορυκτά καύσιμα —τα οποία έχουν ευρέως χρησιμοποιηθεί από την περίοδο της βιομηχανικής επανάστασης και έπειτα, με σκοπό να παράσχουν ενέργεια χαμηλού κόστους, συμβάλλοντας σημαντικά στην οικονομική ανάπτυξη (D’Alessandro et al., 2010) —, θα πρέπει να αντικατασταθούν από τεχνολογίες πιο φιλικές προς το περιβάλλον, οι οποίες θα παρουσιάζουν χαμηλότερη ένταση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Για να επιτευχθεί, όμως, αυτός ο στόχος, θα πρέπει (α) να υπερακοντιστούν διάφορα νομικά εμπόδια (Fermeglia et al., 2020), (β) ένα σημαντικό ύψος επενδύσεων να διοχετευτεί στην ευρύτερη πραγματική οικονομία με σκοπό τη χρηματοδότηση της ενεργειακής μετάβασης (Kotze et al., 2021), (γ) καινοτόμες τεχνολογίες να εισέλθουν στο προσκήνιο, και (δ) να υλοποιηθούν σημαντικές μεταρρυθμίσεις στους θεσμούς και στις διαδικασίες χάραξης πολιτικής (Newell and Mulvaney, 2013).

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να τονιστεί, ότι η θέσπιση ολοένα και υψηλότερων —καθώς και περισσότερων— φόρων στη χρήση του άνθρακα (EC, 2019) και το μειούμενο κόστος εγκατάστασης τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ; Roser, 2020), διευκολύνουν την «απανθρακοποίηση» της ηλεκτροπαραγωγής, κάτι το οποίο έχει συντελέσει στη σταδιακή υλοποίησή της την τελευταία δεκαετία, με την παρατηρούμενη απόσυρση των ορυκτών καυσίμων από το ηλεκτροπαραγωγικό μίγμα και την αντικατάστασή τους από τεχνολογίες πιο «φιλικές» προς το περιβάλλον. Παραδόξως όμως, παρά αυτή την καταγεγραμμένη τροχιά των ηλεκτροπαραγωγικών συστημάτων και τα αναμφίλεκτα πλεονεκτήματα που επιφέρει μία «πράσινη» μετάβαση από πολλές οπτικές, μία έντονη διαμάχη επικρατεί ακόμη στον δημόσιο διάλογο σχετικά με την επίδραση του «διπλού μερίσματος» (“*double dividend*”) των «πράσινων» πολιτικών (Chepeliev, 2014; Freire-González, 2018; Parry and Bento, 2000; Wesseh and Lin, 2019). Σε αυτή τη διαμάχη, τα «αντίπαλα» μέρη διαφωνούν επί της βάσης του κατά πόσο οι «πράσινες» πολιτικές είναι σε θέση να προσκομίσουν ταυτόχρονα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη.

Άρα, όπως μπορεί να συναχθεί με τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, η μετάβαση σε ένα ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα το οποίο θα βασίζεται στην παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, είναι ένα ζήτημα «ταχύτητας» (υλοποίησης), παρά «κατεύθυνσης» (του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος). Ως εκ τούτου, καθίσταται επιτακτική ανάγκη, η εστίαση της ακαδημαϊκής κοινότητας και των υπευθύνων χάραξης (ενεργειακής) πολιτικής, να επικεντρωθεί στην κατανόηση της βέλτιστης ταχύτητας με την οποία πρέπει να συντελείται η μετάβαση σε κλιματικά ουδέτερα ηλεκτροπαραγωγικά συστήματα.

Συγκεκριμένα, ο δημόσιος διάλογος θα πρέπει να μετατοπιστεί από το αν πρέπει να αποσυρθούν τα ορυκτά καύσιμα από ηλεκτροπαραγωγή, στην εύρεση των κατάλληλων μέτρων που θα επιτρέψουν την ικανοποίηση τόσο των τεθέντων οικονομικών στόχων, όσο και των αντίστοιχων ηλεκτροπαραγωγικών, κάτι το οποίο συνδέεται άμεσα με το κατάλληλο μίγμα και την πρόσφορη ένταση ανάπτυξης της καθαρής ηλεκτροπαραγωγής. Με άλλα λόγια, οι χαράσσοντες ενεργειακή πολιτική πρέπει να λάβουν υπόψιν τους τις πιθανές συνέπειες όπου μία απότομη μετάβαση θα μπορούσε να έχει στη γενική οικονομία και στην ευημερία των πολιτών. Μία απότομη μετάβαση θα μπορούσε να υλοποιηθεί, παραδείγματος χάριν, με την απότομη απόσυρση ενός καυσίμου (π.χ. λιγνίτης) από την ηλεκτροπαραγωγή ή από τη «βίαση» διείσδυση ενός καινούριου καυσίμου (π.χ. υδρογόνο) στο ηλεκτροπαραγωγικό μίγμα της χώρας.

Επιπλέον, οι κυβερνώντες και αποφασίζοντες πρέπει να εξασφαλίσουν ότι οι όποιες αρνητικές επιπτώσεις οι οποίες δύναται να προκύψουν από μία γρήγορη μετάβαση του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, θα διανεμηθούν δίκαια μεταξύ των ατόμων, ομάδων, και τομέων της εξεταζόμενης οικονομίας (Alexander and Floyd, 2020; Newell and Mulvaney, 2013). Με άλλα λόγια, η εστίασή τους

θα πρέπει να εκτείνεται στο σύνολο της κοινωνίας, κάτι το οποίο θα εξασφαλίσει ότι δεν θα δημιουργηθούν «νικητές» και «ηττημένοι» από τη συντελούμενη μετάβαση του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, αλλά αντίθετα ότι αυτή η μετάβαση θα αποτελέσει ένα «όχημα» που θα περιλαμβάνει το σύνολο των κοινωνικών ομάδων και τομέων της οικονομίας.

Συνοψίζοντας, λοιπόν, ο τρόπος σκιαγράφησης ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών θα πρέπει να αλλάξει ριζικά, προσθέτοντας στη διάσταση της εφικτότητας («τι μπορεί να γίνει») και της κατεύθυνσης του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος («τι είδους καύσιμα και τεχνολογίες»), διαστάσεις διαφορετικής φύσεως, σχετιζόμενες με την ελκυστικότητα των ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών ενδιαφέροντος, όπως αυτή του χρονισμού («πότε»), της ταχύτητας («με τι ένταση»), της γεωγραφίας («πού») και αυτής των εμπλεκόμενων/ενδιαφερομένων στο σχεδιασμό ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών (για/με «ποιους»).

Κατ' αυτό τον τρόπο, θα αυξηθεί σημαντικά η ελκυστικότητα και το επίπεδο συμμετοχής όλων των παραγόντων της οικονομίας στη διαμόρφωση ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών. Άρα, σε αυτή τη περίπτωση, οι πολίτες και οι τοπικές κοινωνίες από υποκείμενα «χειραγώγησης» από την κυβέρνηση, θα μεταμορφωθούν σε «συνδιαμορφωτές» των σχεδιαζόμενων μετασχηματισμών του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, αυξάνοντας το ποσοστό επιτυχούς υλοποίησής τους, ειδικά σε τοπικό επίπεδο (Doukas et al., 2020). Επιπλέον, εκτός από «συνδιαμορφωτές» των σχεδιαζόμενων ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, οι τοπικές κοινωνίες θα καταστούν «συνιδιοκτήτες» των εφαρμοζόμενων έργων (π.χ. αιολικά ή φωτοβολταϊκά πάρκα), υπό την έννοια ότι θα είναι σε θέση να καρπωθούν οικονομικά οφέλη με έναν σαφή και άμεσο τρόπο.

Τέλος, οι χαράσσοντες ενεργειακής πολιτικής, καλούνται να συγκρίνουν τα κόστη υλοποίησης των εξεταζόμενων πολιτικών, με τα οικονομικά κόστη που μπορεί να προκύψουν από τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, στην περίπτωση μη υλοποίησής τους (κόστος «απραξίας»). Οπότε, ανοίγεται ένας καινούριος τομέας, αυτός της αξιολόγησης των όψεων διακινδύνευσης από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Stern, 2008), ο οποίος θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν στο πλαίσιο της συνολικής αξιολόγησης ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών.

### **1.1.2 Η Σημασία των Μοντέλων Υποστήριξης Αποφάσεων Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού**

Οι κυβερνήσεις ανά τον κόσμο καλούνται να διαμορφώσουν πολιτικές οι οποίες θα καταστήσουν εφικτή τη μετάβαση σε μία κλιματικά ουδέτερη οικονομία, η εμβέλεια των οποίων εκτείνεται κατά πολύ εκτός του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα. Απαραίτητη προϋπόθεση για να διαμορφώσουν οι κυβερνήσεις τις πολιτικές που θα οδηγήσουν στη μετάβαση του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, είναι αρχικά η χρησιμοποίηση μοντέλων βελτιστοποίησης του ενεργειακού προγραμματισμού, μέσω των οποίων, αφενός, θα μπορέσει να σκιαγραφηθεί ο τρόπος με τον οποίο θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ο ηλεκτροπαραγωγικός προγραμματισμός, με σκοπό να καταστεί εφικτή η

εκπλήρωση των τεθέντων στόχων και δεσμεύσεων, και αφετέρου να αξιολογηθεί η εφικτότητα των εκάστοτε εξεταζόμενων ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών.

Σε αυτό το πλαίσιο, μέσω της αξιοποίησης μοντέλων βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, μπορεί παραδείγματος χάριν να απαντηθεί το ερώτημα του απαραίτητου ύψους που πρέπει να παρουσιάζει η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος της εξεταζόμενης χώρας, ώστε να είναι σε θέση να καλύψει την υπάρχουσα ζήτηση ηλεκτρισμού, όσο και το έτερο σημαντικό ερώτημα σε αυτού του είδους την ανάλυση, του ύψους των κεφαλαιακών αναγκών που απαιτεί η επιτυχής υλοποίηση των σχεδιαζόμενων πολιτικών, άρα συνεπακόλουθα και το καίριο ερώτημα, του κατά πόσο είναι εφικτό να εξασφαλισθεί η απαιτούμενη χρηματοδότηση.

Επιπρόσθετα, αδιαμφισβήτητος είναι και ο ρόλος της άλλης ευρείας κατηγορίας μοντέλων, συγκεκριμένα των μακροοικονομικών μοντέλων, τα οποία απεικονίζουν και προσομοιώνουν συνολικά την οικονομία και τους παράγοντες που την αποτελούν. Αυτό καθώς οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα και της ευρύτερης οικονομίας, είναι εκτενείς και ισχυρές. Ως συνέπεια, αυτές οι αλληλεπιδράσεις, καθιστούν απαραίτητο το συγκερασμό των δύο αυτών κατηγοριών μοντέλων, με σκοπό την παροχή μίας πιο αντιπροσωπευτικής και ολοκληρωμένης ανάλυσης, επιτρέποντας —κατ' αυτό τον τρόπο— τη λήψη πιο εμπειριστατωμένων αποφάσεων και κατ' επέκταση την κατάστρωση πιο περιεκτικών ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών. Ως απόρροια τούτου, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η ανάλυση ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών απαιτεί ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο αξιολόγησης, το οποίο θα πρέπει να αποτελείται από πολυδιάστατες συμπληρωματικές κατηγορίες μοντέλων, οι οποίες θα είναι σε θέση να απαντήσουν σε ερωτήσεις διαφορετικής και ευρείας φύσεως, οι οποίες αφορούν και ενδιαφέρουν διαφορετικές ομάδες εμπλεκόμενων, ανά περίπτωση.

Όπως μπορεί να συναχθεί από τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, ο ρόλος των μοντέλων αξιολόγησης ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, εκτείνεται πέρα από το να παράσχει απλώς πληροφορία στους αποφασίζοντες για τις ενδεχόμενες επιπτώσεις των υπό εξέταση πολιτικών και την εφικτότητά τους. Συγκεκριμένα, οι χαράσσοντες πολιτική, με βάση τα αποτελέσματα που προκύπτουν για μία σχεδιαζόμενη ηλεκτροπαραγωγική πολιτική από το χρησιμοποιούμενο μοντέλο, είναι πολύ πιθανό να αναδιαμορφώσουν τις εκάστοτε πολιτικές, με γνώμονα την εύρεση των πολιτικών εκείνων που θα οδηγήσουν στην επίτευξη των επιδιωκόμενων αποτελεσμάτων, με βάση τις ανάγκες και προτεραιότητές τους.

Οπότε, καθίσταται προφανές ότι ο ρόλος των μοντέλων αξιολόγησης ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού καθίσταται καίριος στη διαμόρφωση της διόδου που θα οδηγήσει τα κράτη ανά την υφήλιο, σε κλιματικά ουδέτερες οικονομίες και στη ριζική αναδιαμόρφωση, τόσο των ηλεκτροπαραγωγικών τους συστημάτων, όσο και του ρόλου του πολίτη σε αυτά, παραδείγματος



χάριν μέσα από τη μετατροπή του από καταναλωτή, σε παραγωγό και καταναλωτή. Ως εκ τούτου, τα μοντέλα αξιολόγησης ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού καθίστανται —κατά μία έννοια— εργαλεία διαμόρφωσής τους.

Αυτός ο ρόλος τα μοντέλα αξιολόγησης ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, μπορεί να αναγνωριστεί και στον τρόπο με τον οποίο τα κράτη μέλη της ΕΕ εξέδωσαν τα δεκαετή τους Εθνικά Σχέδια για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), για την περίοδο που εκτείνεται από το 2021 μέχρι το 2030, σκιαγραφώντας σε αυτά το μονοπάτι που θα τους οδηγήσει σε μία κλιματικά ουδέτερη οικονομία και τους αντίστοιχους ενεργειακούς και κλιματικούς στόχους που περιλαμβάνει το μονοπάτι αυτό (EC, 2021c). Συγκεκριμένα, οι ηλεκτροπαραγωγικές πολιτικές που προβλέπονται στα ΕΣΕΚ των κρατών μελών, σκιαγραφήθηκαν με τη συνεισφορά μοντέλων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού. Αρχικά, τέθηκαν οι ηλεκτροπαραγωγικοί στόχοι από τη χρονική σκοπιά του 2030, μέσω των οποίων, τα μοντέλα ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού ιχνηλάτησαν την τροχιά των βασικών δεικτών του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος του εκάστοτε κράτους μέλους, για την περίπτωση υλοποίησης του σεναρίου στόχου κατά τη δεκαετία 2020-2030, και κατ' αυτό τον τρόπο έδωσαν «σάρκα και οστά» στις περιγραφόμενες πολιτικές-στόχους. Με άλλα λόγια, «μετέφρασαν» τους τεθέντες ηλεκτροπαραγωγικούς στόχους σε απτά μέτρα πολιτικής.

Στο ίδιο μήκος κύματος και δεδομένης της επίδρασης των δεδομένων και υποθέσεων που περιλαμβάνει ένα μοντέλο αξιολόγησης ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού στα προκύπτοντα αποτελέσματα, πρέπει να τονιστεί η σημαντικότητα της ευρωστίας που πρέπει να παρουσιάζουν τα εκάστοτε χρησιμοποιούμενα μοντέλα αυτού του είδους. Αυτό καθώς, σε αντίθετη περίπτωση, δύναται να οδηγήσουν σε λανθασμένο σχεδιασμό πολιτικών και —συνεπακόλουθα— σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα, τα οποία με τη σειρά τους μπορεί οδηγήσουν σε βίαιη αναπροσαρμογή των πολιτικών για να επιτευχθούν οι τεθέντες στόχοι, κάτι το οποίο μπορεί να επιφέρει ισχυρές αρνητικές κοινωνικές συνέπειες και να πυροδοτήσει την καχυποψία των πολιτών απέναντι σε τέτοιου είδους (ηλεκτροπαραγωγικές) πολιτικές.

Επίσης, κρίνεται ως ιδιαίτερα σημαντικό το να διατηρείται ένα επίπεδο συγκρισιμότητας μεταξύ διαφορετικών μοντέλων αξιολόγησης ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, καθώς και ένα ελάχιστο επίπεδο διαφάνειας, το οποίο θα επιτρέπει την επανεκτέλεση των αξιολογήσεων σε παρόμοιες περιπτώσεις, με απώτερο σκοπό τη δημιουργία ενός κοινού τόπου, όσον αφορά την αξιολόγηση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού και συνεπακόλουθα την ανάπτυξη του ποιοτικού επιπέδου και την προτυποποίηση της εν λόγω άσκησης.

Αυτή η τάση, δηλαδή της υιοθέτησης μίας κοινής βάσης όσον αφορά την αξιολόγηση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, μπορεί να εντοπιστεί και στον τρόπο με τον οποίο αξιολογήθηκαν τα δεκαετή πλάνα των κρατών μελών της ΕΕ. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, χρησιμοποιήθηκε

ένα μακροοικονομικό μοντέλο για το σκοπό αυτό, το οποίο έκανε χρήση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από το χρησιμοποιούμενο μοντέλο προγραμματισμού της ηλεκτροπαραγωγής. Με άλλα λόγια, η εν λόγω αξιολόγηση στηρίχτηκε στη «διασύνδεση» ενός μοντέλου προγραμματισμού τα ηλεκτροπαραγωγής, με ένα μακροοικονομικό μοντέλο που αναφέρεται στην ευρύτερη οικονομία.

Κατ' αυτό τον τρόπο, ενώ η εξέλιξη των ηλεκτροπαραγωγικών συστημάτων των κρατών μελών παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις κατά την εξεταζόμενη δεκαετία (2020-2030) — κάτι το οποίο μπορεί να αποδοθεί στις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει το ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα κάθε κράτους μέλους και άρα στη διαφορετική προσπάθεια που χρειάζεται να καταβάλει κάθε κράτος μέλος για να μεταφερθεί σε μία κλιματικά ουδέτερη ηλεκτροπαραγωγή— τα αποτελέσματα από μακροοικονομική σκοπιά παρουσιάζουν μία σημαντική σύγκλιση. Συγκεκριμένα, ο μακροοικονομικός αντίκτυπος των περιγραφόμενων στα ΕΣΕΚ των κρατών μελών πολιτικών, υπολογίζεται να είναι θετικός σε όρους μεταβολής του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (ΑΕΠ). Αυτή η σύγκλιση, γίνεται ακόμη μεγαλύτερη και πιο σαφής, αν εξετασθεί από τη σκοπιά των κρατών μελών που έχουν παρόμοιες χρηματοδοτικές ανάγκες για την υλοποίηση των σεναρίων-στόχων τους, για τη δεκαετία που εκτείνεται από το 2020 έως το 2030.

### 1.1.3 Αλληλεπίδραση Οικονομίας και Κλίματος

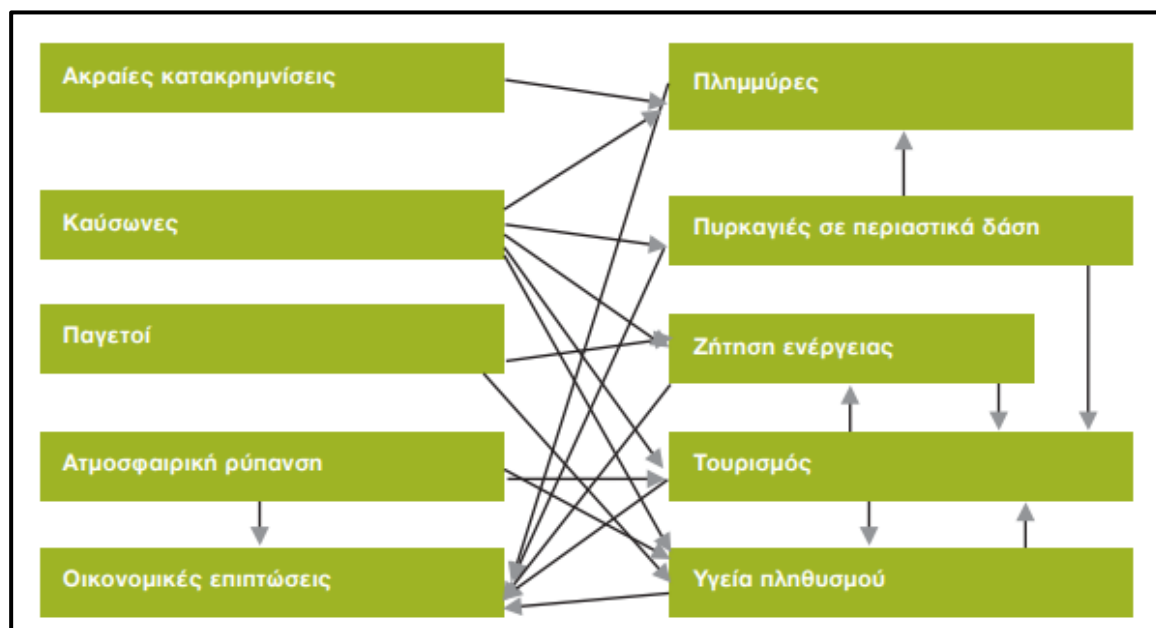
Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής είναι ήδη ιδιαιτέρως εμφανείς ανά τον κόσμο, παραδείγματος χάριν υπό τη μορφή ακραία υψηλών θερμοκρασιών και καταιγίδων, οι οποίες συνεπακόλουθα προκαλούν εκτενείς πυρκαγιές και πλημμύρες, αντίστοιχα. Οπότε, δημιουργείται ένα πλέγμα αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφορετικών μορφών εκδήλωσης των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ένα ντόμινο επιπτώσεων, όπου η μία επίπτωση προκαλεί μία έτερη, και αντίστοιχα προκαλείται από κάποια άλλη (*Εικόνα 2*; διαΝΕΟσις, 2021).

Αυτές οι συνέπειες τη κλιματικής αλλαγής, πέρα από τις φυσικές καταστροφές που προκαλούν, επιφέρουν και σημαντικά οικονομικά κόστη, λόγω του ότι τα υποκείμενα αυτών των συνεπειών, είναι οι κύριοι παράγοντες της οικονομίας (π.χ. νοικοκυριά, επιχειρήσεις). Επίσης, όσο καθυστερεί η αντιμετώπιση των παραγόντων που πυροδοτούν την ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή (π.χ. εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου (ΑτΘ)), αυτές οι συνέπειες αναμένεται να γίνονται ολοένα και πιο ισχυρές και, κατά συνέπεια, προς την ίδια κατεύθυνση αναμένεται να κυμανθούν και οι οικονομικές προεκτάσεις, ως απόρροια αυτών των επιπτώσεων, οι οποίες θα γίνονται περισσότερες αισθητές στους οικονομικά «ασθενέστερους».

Υπό αυτό το πρίσμα, οι κυβερνήσεις και οι χαράσσοντες πολιτική ανά τον κόσμο, πέρα από την αξιολόγηση των μακροοικονομικών και κοινωνικών συνεπειών των υπό διαμόρφωση ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, θα πρέπει επίσης να συνυπολογίζουν και το οικονομικό κόστος της

«απραξίας», όσον αφορά την αντιμετώπιση των αιτιών της κλιματικής αλλαγής. Με άλλα λόγια, καλούνται να πραγματοποιούν μία άτυπη ανάλυση κόστους-οφέλους, όπου σε αυτή την περίπτωση το όφελος θα είναι τα δυνητικά περιβαλλοντικά κόστη που εξοικονομούνται ως συνέπεια της εφαρμογής μέτρων μετριασμού της πίεσης προς το περιβάλλον (“mitigation measures”), και το κόστος της ανάλυσης, θα περιλαμβάνει το κόστος υλοποίησης, δηλαδή τις χρηματοδοτικές ανάγκες, αυτών των πολιτικών. Δηλαδή, θα πρέπει να αξιολογείται το κατά πόσο τα οικονομικά κόστη που δύναται να προκύψουν από τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, υπερβαίνουν τα κόστη υλοποίησης των σχεδιαζόμενων πολιτικών άμβλυνσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οπότε, ανοίγεται ένας καινούριος τομέας στην ανάλυση ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, αυτός της αξιολόγησης των όψεων διακινδύνευσης από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Stern, 2008).

**Εικόνα 2:** Διατομεακό πλέγμα αλληλεπιδράσεων των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, σε αστικές περιοχές.

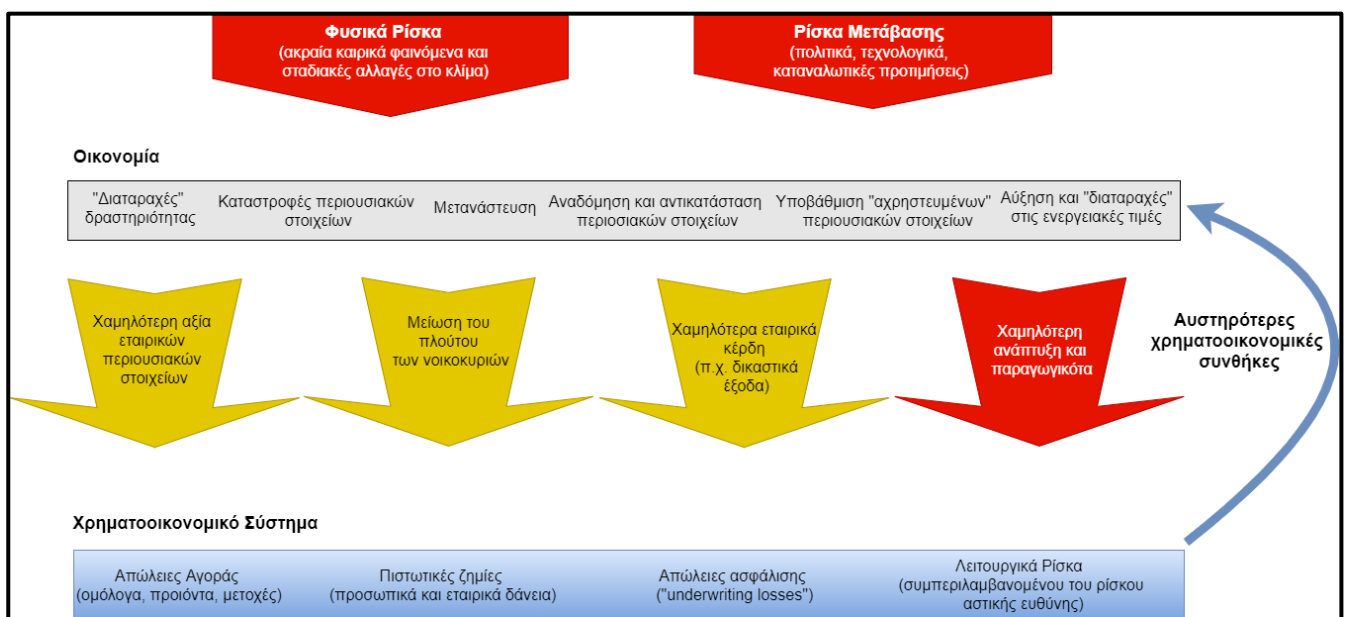


Ωστόσο, η αξιολόγηση σχετικά με τα κόστη από τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, είναι ένα αρκετά παραμελημένο αντικείμενο στη διεθνή βιβλιογραφία, κάτι το οποίο σχετίζεται και με το γεγονός ότι ο χρονικός ορίζοντας αυτού του είδους των συνεπειών, εκτείνεται συνήθως πέρα από το χρονικό πλαίσιο μίας οικονομικής ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, μόνο μεμονωμένες μελέτες έχουν ασχοληθεί με το εν λόγω θέμα, όπως π.χ. ο Auffhammer et al. 2018.

Όσον αφορά τα ρίσκα της κλιματικής αλλαγής για την ευρύτερη οικονομία, μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ευρείες κατηγορίες (**Εικόνα 3**; IMF, 2019). Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις φυσικές καταστροφές (π.χ. σε ιδιοκτησίες, υποδομές και εκτάσεις γης) και η δεύτερη τα ρίσκα που

εκπηγάζουν από τη *μετάβαση* σε μια οικονομία χαμηλού άνθρακα (*ρίσκα μετάβασης*; π.χ. μεταβολές στην κλιματική πολιτική και στις καταναλωτικές συνήθειες). Ωστόσο, οι επιδράσεις στην ευρύτερη οικονομία από αυτές τις κατηγορίες ρίσκου, μπορεί να είναι πολυεπίπεδες και διαφορετικής φύσης. Ο βαθμός της έκθεσης σε αυτά τα ρίσκα, συνδέεται σε υψηλό βαθμό από τα χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης χώρας (άρα οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής καθώς και η έντασή τους, διαφέρει από χώρα σε χώρα), με τις οικονομικά «ασθενέστερες» χώρες να είναι οι περισσότερο εκτεθειμένες σε αυτά.

**Εικόνα 3: Μηχανισμός μετάδοσης των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής στην οικονομία και στο χρηματοοικονομικό σύστημα.**



Για να αμβλυνθούν οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής και προς την κατεύθυνση της αποφυγής της ραγδαίας αύξησής τους, η οποία θα πλήξει έτι περαιτέρω τις επόμενες γενεές, θα πρέπει να αλλάξει άρδην ο τρόπος με τον οποίο προσεγγίζεται, επιζητείται και αξιολογείται η οικονομική επιτυχία και ανάπτυξη. Πιο συγκεκριμένα, απαιτούνται δομικές αλλαγές ως προς αυτές τις διαστάσεις, οι οποίες αφορούν τους ακόλουθους τρεις κύριους άξονες (Fletcher, 2021):

- *Εξασφάλιση* ότι η ζήτηση φυσικών πόρων δεν ξεπερνά το επίπεδο που η φύση μπορεί να παράσχει, καθώς και ότι οι διαθέσιμοι φυσικοί πόροι αυξάνονται σε σχέση με τα τωρινά και πρότερα επίπεδά τους,
- *Αλλαγή* του τρόπου με τον οποίο αξιολογείται η οικονομική επιτυχία, με απαγκίστρωση από του συμβατικούς χρηματοοικονομικούς δείκτες (π.χ. ΑΕΠ),

- *Μετασχηματισμός των σημερινών θεσμών και συστημάτων (κυρίως των χρηματοοικονομικών και εκπαιδευτικών), έτσι ώστε να καταστούν εφικτές οι απαιτούμενες αλλαγές και η διατήρησή τους για τις μελλοντικές γενεές.*

#### **1.1.4 Η Σημασία της Ενεργειακής Αποδοτικότητας**

Η ΕΕ έχει αναγνωρίσει την ενεργειακή αποδοτικότητα, σαν μία από τις σημαντικότερες διαστάσεις, στο δρόμο προς την επίτευξη της κλιματικής ουδετερότητας μέχρι το 2050 (Koutsandreas et al., 2021a; Rubino, 2017). Πιο συγκεκριμένα, η ενεργειακή αποδοτικότητα θα μπορούσε να παράσχει το 44% των απαιτούμενων μειώσεων των παγκόσμιων εκπομπών ΑτΘ μέχρι το 2040 (IEA, 2018), και να μειώσει κατά το ήμισυ την ενεργειακή κατανάλωση και τις εκπομπές ΑτΘ κατά την περίοδο 2020-2050, σε ορισμένες περιοχές (ACEEE, 2019). Υπό αυτό το πρίσμα, παρά την προηγούμενη αναγνώριση της σαν το «κρυφό καύσιμο» (“hidden fuel”), αυτή τη στιγμή αναγνωρίζεται σαν το «κύριο καύσιμο» (“first fuel”; Andrei et al., 2021; IEA, 2015) υποδηλώνοντας τη σημαντικότητα και την εμβέλειά της στο σχεδιασμό ενεργειακών πολιτικών. Αυτό καθώς η εξοικονομούμενη ενέργεια, θα μπορούσε να υπερβεί την κατανάλωση οποιουδήποτε άλλου μεμονωμένου καυσίμου ανά τον κόσμο.

Προς την κατεύθυνση της υλοποίησης μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας, καθίσταται καίριος ο ρόλος της χρηματοδότησης σχετικών έργων και πρωτοβουλιών. Σε αυτό το πλαίσιο, η ανάγκη για εντατικοποίηση της χρηματοδότησης της ενεργειακής αποδοτικότητας, έχει αυξηθεί κατακόρυφα τα τελευταία χρόνια (EEA, 2015). Μόνο το 2019, 280 δισεκατομμύρια δολάρια ξοδεύτηκαν παγκοσμίως στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, τα οποία αντιστοιχούσαν στο 17% των συνολικών επενδύσεων στον ενεργειακό τομέα για αυτό το χρόνο (IEA, 2020). Αυτό το ποσό διοχετεύτηκε κυρίως στον κτιριακό τομέα, ενώ το υπόλοιπο στον τομέα των μεταφορών και στη βιομηχανία. Μολαταύτα, για την εκπλήρωση των φιλόδοξων στόχων της ΕΕ από τη χρονική σκοπιά του 2050, χρειάζονται να γίνουν περισσότερα από πλευράς χρηματοδότησης της ενεργειακής αποδοτικότητας. Πιο συγκεκριμένα, οι επενδύσεις ενεργειακής αποδοτικότητας χρειάζεται να ανέλθουν στο ήμισυ των συνολικών παγκόσμιων επενδύσεων στον ενεργειακό τομέα, έτσι ώστε να μπορέσει να επιτευχθεί ο στόχος της διατήρησης της παγκόσμια θερμοκρασίας κάτω από τους 2°C (Deloitte, 2016). Επιπλέον, για την επίτευξη αυτού του εγχειρήματος, είναι κομβικής σημασίας το να γίνουν διαθέσιμα νέα καινοτόμα χρηματοδοτικά εργαλεία, τα οποία θα συνεισφέρουν στη διασύνδεση έργων ενεργειακής αποδοτικότητας με τους παρόχους κεφαλαίου, όπως τις τράπεζες ή τους επενδυτές (Bergman and Foxon, 2020).

Καθοριστικός παράγοντας στο γεγονός ότι πολλά έργα ενεργειακής αποδοτικότητας δεν καταφέρνουν να εξασφαλίσουν χρηματοδότηση, αποτελεί η θεώρηση τους ως επενδυτικά χαρτοφυλάκια υψηλού ρίσκου από τους χρηματοδοτικούς οργανισμούς (Adelphi and Sitawi, 2020). Από τη μία πλευρά, οι επενδύσεις ενεργειακής αποδοτικότητας περιλαμβάνουν πολλαπλούς

παράγοντες αβεβαιότητας, με την αξιολόγηση αυτών των παραγόντων να παρουσιάζει υψηλή πολυπλοκότητα (Heinemeier et al., 2012; Lee et al., 2018). Για παράδειγμα, οι χρηματοροές των έργων ενεργειακής αποδοτικότητας συνδέονται στενά με τις εξοικονομήσεις οι οποίες επιτυγχάνονται στο πλαίσιο του εκάστοτε έργου. Οι εν λόγω εξοικονομήσεις, όμως, είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με διάφορους αβέβαιους παράγοντες, όπως οι ενεργειακές τιμές, η ακρίβεια της αρχικής πρόβλεψης εξοικονομήσεων, η απόδοση του εξοπλισμού, και το ρυθμιστικό πλαίσιο (Deng et al., 2015).

Από την άλλη πλευρά, παρατηρείται η έλλειψη μίας τυποποιημένης διαδικασίας για την αξιολόγηση του ρίσκου επενδύσεων ενεργειακής αποδοτικότητας (Doukas, 2018). Αυτό το στοιχείο, σε συνδυασμό με το ότι παρατηρείται ένδεια διαθέσιμων δεδομένων, όσον αφορά έργα ενεργειακής αποδοτικότητας τα οποία έχουν υλοποιηθεί επιτυχώς (Loureiro et al., 2020), δημιουργεί ένα «χάσμα διαφάνειας», το οποίο κάνει την αναγνώριση των έργων ενεργειακής αποδοτικότητας που αξίζουν χρηματοδότηση, ένα δύσκολο εγχείρημα για τα χρηματοδοτικά ιδρύματα. Ως συνέπεια, οι χρηματοδοτικοί θεσμοί, δεδομένου του υψηλού εμπλεκόμενου κόστους και της έλλειψης γνώσης —σχετικά με τις πολυάριθμες και πολύπλοκες τεχνικές διαστάσεις αυτού του είδους των έργων— τείνουν να τα αξιολογούν μόνο από την πλευρά της πιστοληπτικής ικανότητας του υποκειμένου που αιτείται τη λήψη χρηματοδότησης.

Σε αυτό το σκηνικό, πολλά έργα ενεργειακής αποδοτικότητας και κυρίως αυτά που είναι μικρότερης κλίμακας, τείνουν να μη λαμβάνουν ποτέ χρηματοδότηση, παρά το γεγονός ότι παρουσιάζουν υψηλές δυνατότητες και εγγυημένες αποδόσεις (Karakosta et al., 2021). Λαμβάνοντας υπόψιν ότι τα οφέλη από την υλοποίηση ενός έργου ενεργειακής αποδοτικότητας διαφαίνονται ύστερα από ένα σημαντικό χρονικό διάστημα, όπως επίσης και τα υψηλά εμπροσθοβαρή κόστη που συνεπάγονται οι τεχνολογίες ενεργειακής αποδοτικότητας, γίνεται προφανές ότι η έλλειψη πρόσβασης σε πηγές χρηματοδότησης στα αρχικά στάδια του έργου, αποτελεί τον κύριο παράγοντα της μη υλοποίησης έργων ενεργειακής αποδοτικότητας (T'Serclaes, 2010).

Ωστόσο, τα —σαφή, σημαντικά και πολυάριθμα— πλεονεκτήματα που περιλαμβάνουν οι επενδύσεις ενεργειακής αποδοτικότητας (Croucher, 2012; Di Silvestre et al., 2016), αιτιολογούν το γιατί είναι συμφέρουσα η αξιολόγηση του ρίσκου τους, ακόμη και για έργα μικρής κλίμακας (Adelphi and Sitawi, 2020). Για παράδειγμα, ένα έργο ενεργειακής αποδοτικότητας μπορεί να μειώσει σημαντικά τα λειτουργικά κόστη του δανειζόμενου, βελτιώνοντας —κατ' αυτό τον τρόπο— την ικανότητά του να αποκληρώσει το δάνειο (Fumo and Crawford, 2013; Nehler and Rasmussen, 2016). Αυτή η διάσταση, όμως, συνήθως δε λαμβάνεται υπόψιν όταν το ρίσκο αξιολογείται μόνο από την οπτική γωνία της πιστοληπτικής ικανότητας του δανειζόμενου (McKinsey, 2008).

Το πρώτο βήμα προς τη συνολική αξιολόγηση επενδύσεων ενεργειακής εξοικονόμησης, είναι η αναγνώριση των δυνητικών ρίσκων και αβεβαιοτήτων που μπορούν να επηρεάσουν την επιτυχή υλοποίηση και την κερδοφορία τους, και —ως εκ τούτου— να θέσουν σε κίνδυνο την αποπληρωμή του δανείου. Ωστόσο, ένα σημαντικό ερευνητικό κενό εντοπίζεται ως σήμερα στη βιβλιογραφία σχετικά με αυτή τη διάσταση. Πιο συγκεκριμένα, παρά την ύπαρξη μίας πλειάδας μελετών οι οποίες εξετάζουν μεμονωμένα ρίσκα χρηματοδότησης έργων ενεργειακής αποδοτικότητας (Szumilo and Fuerst, 2017), είναι ιδιαίτερος πλημμελής η προσπάθεια εντοπισμού του συνολικού εύρους αυτών, ενώ όταν αυτό πραγματοποιείται, δε γίνεται με όρους διαφάνειας και με ένα συστηματικό τρόπο.

Επιπλέον, οι αναφορές διαφόρων ερευνητικών έργων που έχουν υλοποιηθεί στον τομέα της χρηματοδότησης της ενεργειακής αποδοτικότητας, κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας (Loureiro et al., 2020), δεν έχουν ληφθεί υπόψιν από αυτές τις αναλύσεις, παρά το γεγονός ότι τα αποτελέσματά τους έχουν στηριχτεί, μεταξύ άλλων, στην αλληλεπίδραση με σχετικούς εμπλεκόμενους (όπως τραπεζίτες, επενδυτές κλπ.), και άρα μπορεί να θεωρηθεί ότι παρουσιάζουν μία αξιοσημείωτη ευρωστία.

Σε αυτό πλαίσιο, καθίσταται καθοριστικής σημασίας η αναγνώριση του συνολικού εύρους των ρίσκων και αβεβαιοτήτων που δύναται να θέσουν σε κίνδυνο την επιτυχή υλοποίηση έργων ενεργειακής αποδοτικότητας και να μειώσουν την κερδοφορία τους, και τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν από τους χρηματοπιστωτικούς οργανισμούς όταν αξιολογούν αυτού του είδους τα έργα. Επιπλέον, καίριας σημασίας είναι το στάδιο του έργου κατά το οποίο πυροδοτούνται τα ρίσκα χρηματοδότησης της ενεργειακής αποδοτικότητας. Αυτό, καθώς διαφορετικά μέρη εμπλέκονται σε κάθε στάδιο του έργου (Adelphi and Sitawi, 2020). Σε αυτό πλαίσιο, τα ρίσκα που αναγνωρίζονται, θα πρέπει να συνδέονται με τις φάσεις έργων ενεργειακής αποδοτικότητας κατά τις οποίες συνήθως λαμβάνουν χώρα.

Με βάση το στάδιο που συνδέεται κάθε ρίσκο χρηματοδότησης της ενεργειακής αποδοτικότητας, απαιτείται μία διαφορετική προσέγγιση για την αντιμετώπιση και εν τέλει την απομείωσή του (Duretec, 2014). Σε αυτό το πλαίσιο, απαιτείται η λήψη κατάλληλων μέτρων και η σχεδίαση ορθών στρατηγικών, για τη διαχείριση των ρίσκων χρηματοδότησης της ενεργειακής αποδοτικότητας, τα οποία πρέπει να εξειδικεύονται με βάση τη φύση του υπό ανάλυση ρίσκου και της σχετικής φάσης του έργου, κατά τη διάρκεια της οποίας πυροδοτούνται.

## 1.2 Αντικείμενο και Στόχοι Διατριβής

Με βάση τα όσα έχουν αναφερθεί έως τώρα στην παρούσα διδακτορική διατριβή, γίνεται σαφές ότι η ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, είναι απαραίτητος όρος στην ανάπτυξη των πολιτικών που θα οδηγήσουν σε μία κλιματικά ουδέτερη οικονομία και θα συμβάλλουν στην αντιμετώπιση, τόσο των συνεπειών, όσο και της ίδιας της κλιματικής αλλαγής. Το εν λόγω πλαίσιο αξιολόγησης, θα πρέπει να περιλαμβάνει τόσο ένα μοντέλο βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, που θα επιτρέπει τον εντοπισμό των επιδράσεων των υπό διαμόρφωση πολιτικών στις διαστάσεις του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, όπως επίσης και ένα έτερο μοντέλο μακροοικονομικής φύσεως, που θα μπορεί να απαντήσει σε ερωτήσεις που αφορούν την ευρύτερη οικονομία και το σύνολο των πολιτών.

Τα εν λόγω μοντέλα, επίσης, θα πρέπει να διασυνδέονται αποτελεσματικά, έτσι ώστε το κάθε ένα από αυτά, να μπορεί να αξιοποιεί την πληροφορία που εξάγεται από το μοντέλο του έτερου είδους, αυξάνοντας την αντιπροσωπευτικότητα και την ευρωστία των αποτελεσμάτων του και —κατ' επέκταση— της ανάλυσης. Κατ' αυτό τον τρόπο, δύναται να καταστεί εφικτή η αξιολόγηση των ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων πολιτικής, τόσο από τη σκοπιά της εφικτότητάς τους και τους κόστους επιτυχούς υλοποίησής τους, όσο και υπό το πρίσμα των μακροοικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων που αναμένεται να έχουν.

Επίσης, εγγενές χαρακτηριστικό του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, είναι η εμπλοκή διαφόρων ενδιαφερομένων (π.χ., χαράσσοντες πολιτική, τοπικές κοινωνίες, περιβαλλοντικές οργανώσεις) με αντικρουόμενα συμφέροντα, ανάγκες και απόψεις, όσο και ετερογενή επίδραση στις αποφάσεις που λαμβάνονται. Οπότε, καθίσταται ιδιαίτερως σημαντική η ενσωμάτωση των προτεραιοτήτων και προτιμήσεών τους στην ανάλυση, οι οποίες μπορεί να μεταβάλλονται σημαντικά από περίπτωση σε περίπτωση. Η εν λόγω ενέργεια καθίσταται καθοριστικής σημασίας, καθώς βασικό συστατικό του μετασχηματισμού του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, θα πρέπει να αποτελεί η μετατροπή των εμπλεκόμενων μερών σε «συνδιαμορφωτές» και «συνιδιοκτήτες» των εφαρμοζόμενων πολιτικών και των διενεργούμενων μετασχηματισμών.

Για παράδειγμα, ένας αποφασίζοντας ο οποίος προέρχεται από μία χώρα με ελλειμματική περιβαλλοντική απόδοση, πιθανώς να απονέμει υψηλότερη βαρύτητα στο περιβαλλοντικό κριτήριο έναντι του οικονομικού, ενώ αντίθετα, ένας αποφασίζων ο οποίος προέρχεται από μία χώρα με ασθενή οικονομία, ενδεχομένως να έχει διαφορετικές προτεραιότητες (Belton and Stewart, 2002; Zorounidis and Doumros, 1999). Στο ίδιο μήκος κύματος, ένας αποφασίζων σε επίπεδο δήμου, μπορεί να έχει διαφορετικές προτεραιότητες από τον υπουργό ενέργειας, ο οποίος αξιολογεί το πρόβλημα από μία ευρύτερη οπτική γωνία, λαμβάνοντας υπόψιν και ενδεχόμενες ετερογενείς παραμέτρους, όπως το πολιτικό κόστος. Ως συνέπεια, καίριο σημείο της ποιότητας του



μεθοδολογικού πλαισίου υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, αποτελεί η συμπερίληψη στην ανάλυση διόδων ενσωμάτωσης των προτιμήσεων των αποφασιζόντων και των εμπλεκόμενων μερών, σε πολλαπλά μέρη της μεθοδολογίας, δημιουργώντας συνθήκες διάδρασης και ευκαμψίας του μεθοδολογικού πλαισίου στις ανάγκες του διενεργούντος την ανάλυση.

Οπότε, η μεθοδολογία θα πρέπει να περιλαμβάνει κάποιες μορφής επαναληπτικότητα, υπό την έννοια ότι θα πρέπει να επιτρέπεται η επανεφαρμογή της, με βάση διαφορετικές βαρύτητες στις δυνατές διαδρομές και τρόπους υλοποίησης, με βάση τις ανάγκες και σκοπούς του διενεργούντος την αξιολόγηση ή μία σειράς εμπλεκόμενων. Ακόμη, θα πρέπει να παρουσιάζει ένα υψηλό επίπεδο διαφάνειας, τόσο από πλευράς των μοντέλων και δεδομένων που χρησιμοποιεί, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης εργαλείων «ανοιχτού κώδικα» και «ανοιχτών» δεδομένων, όσο και από άποψης υποθέσεων που λαμβάνουν χώρα στην ανάλυση. Τα τελευταία χαρακτηριστικά, συμβάλλουν στην ισχυρότερη εμπλοκή της κοινότητας ενεργειακών πολιτικών, στην ανάλυση και αξιολόγηση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, και άρα στην υψηλότερη και αποδοτικότερη αξιοποίηση των αποτελεσμάτων που εξάγονται από αυτού του είδους την ανάλυση.

Ένα ακόμη αναπόσπαστο χαρακτηριστικό των αποφάσεων που άπτονται του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, είναι η εγγενής του αβεβαιότητα. Τα υπό κατασκευή σενάρια πολιτικής, συνήθως αναφέρονται σε χρονικό ορίζοντα ο οποίος εκτείνεται πολλαπλά έτη μπροστά από τον παρόντα χρόνο της ανάλυσης (συνήθως μέχρι το 2050). Επίσης, ο ηλεκτροπαραγωγικός σχεδιασμός ενσωματώνει μία ευρεία γκάμα αβεβαιοτήτων, οι οποίες σχετίζονται με τη μακρόχρονη εξέλιξη του ενεργειακού συστήματος και της οικονομίας. Άρα, η προσομοίωση και αξιολόγηση ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων, είναι στον πυρήνα τους στοχαστικές εργασίες.

Οι εμπλεκόμενες αβεβαιότητες στην ανάλυση, δύναται να ταξινομηθούν σε αυτές που συνδέονται με τη δομή των χρησιμοποιούμενων μοντέλων (π.χ., παράμετροι κόστους), οι οποίες χαρακτηρίζονται συχνά ως «εσωτερικές αβεβαιότητες» (Stewart and Durbach, 2016). Από την άλλη μεριά, υπάρχουν επίσης οι «εξωτερικές αβεβαιότητες», που εκπηγάζουν από εξωγενείς παράγοντες ως προς την ανάλυση, όπως οι μεταβολές στις τιμές ενέργειας και στους φόρους επί της χρήσης άνθρακα (Stewart and Durbach, 2016).

Από μία έτερη οπτική γωνία, οι αβεβαιότητες μπορούν να ταξινομηθούν σε (Van Asselt, 2000): (α) «αβεβαιότητες λόγω μεταβλητότητας» (εγγενής μεταβλητότητα της φύσης, μεταβλητότητα αξίας, συμπεριφορική μεταβλητότητα, κοινωνική τυχαιότητα, τεχνολογική έκπληξη) και (β) «αβεβαιότητες λόγω περιορισμένης γνώσης» (ανακρίβεια, έλλειψη παρατηρήσεων/μετρήσεων, αδυναμία μέτρησης, αντικρουόμενα στοιχεία, απροσδιοριστία). Η αυξημένη γνώση, όπως μέσω ενδεδειγμένης έρευνας και ανάλυσης, μπορεί να περιορίσει το δεύτερο είδος αβεβαιοτήτων, αλλά δεν μπορεί να το εξαλείψει σε απόλυτο βαθμό (Mirakyan and De Guio, 2015). Οπότε, η τεκμηριωμένη υποστήριξη των

αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν της αυτές τις αβεβαιότητες και να είναι σε θέση να τις ενσωματώσει αποτελεσματικά στην ανάλυση, αυξάνοντας —κατ' αυτό τον τρόπο— την ευρωστία και αντιπροσωπευτικότητα των παραγόμενων αποτελεσμάτων.

Επίσης, αναπόσπαστο στοιχείο του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, είναι ότι κάθε σενάριο πολιτικής, μπορεί να παρουσιάζει καλύτερα χαρακτηριστικά σε ορισμένες πτυχές της ανάλυσης, αλλά πιο πλημμελείς ιδιότητες υπό το πρίσμα έτερων ανταγωνιστικών συνιστωσών αυτού του είδους της άσκησης. Αυτό συμβαίνει, καθώς οι διάφορες συνιστώσες οι οποίες άπτονται του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, είναι συνήθως μεταξύ τους αντισταθμιστικές, δηλαδή η καλύτερη επίδοση σε ένα κριτήριο, μπορεί να συνεπάγεται το συμβιβασμό της επίδοσης σε ένα άλλο ανταγωνιστικό κριτήριο της ανάλυσης.

Επίσης, η εμβέλεια ενός ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής, εκτείνεται κατά μήκος μίας πλειάδας διαστάσεων, που άπτονται του ενδιαφέροντος ή των σκοπών των αποφασιζόντων. Οπότε, υπό αυτό το πλαίσιο, καθίσταται ιδιαίτερως σημαντική η συνολική αξιολόγηση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, με βάση ένα ευρύ φάσμα αντισταθμιστικών κριτηρίων (Feitosa and Costa, 2021a), με απώτερο σκοπό την εύρεση του ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής που παρουσιάζει τις καλύτερες προοπτικές για του αποφασίζοντες ή τα εμπλεκόμενα μέρη, δηλαδή εκείνου που επιτυγχάνει στον υψηλότερο βαθμό τους σκοπούς και τις επιδιώξεις τους (Tsoutsos et al., 2009), σε σχέση με τα ανταγωνιστικά σενάρια πολιτικής.

Υπό αυτό το πρίσμα, **αντικείμενο** της παρούσας διδακτορικής διατριβής αποτελεί η ανάπτυξη μίας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, η οποία θα διαχειρίζεται αποτελεσματικά την εγγενή αβεβαιότητα του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, και θα τροφοδοτείται με τις προτιμήσεις των αποφασιζόντων και των εμπλεκόμενων μερών στην ανάλυση.

Ο **στόχος** της διατριβής εδράζεται στην υποστήριξη των διαμορφωτών ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, αφενός, στη λήψη εμπειριστατωμένων αποφάσεων, και αφετέρου, στη διαχείριση της εγγενούς αβεβαιότητας και αντισταθμιστικότητας που παρουσιάζει ο ηλεκτροπαραγωγικός σχεδιασμός. Επιπλέον, η διατριβή **στοχεύει** να εισάγει νέες ποιοτικότερες έννοιες στην κατάστρωση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, εν σχέσει με την ελκυστικότητα των εξεταζόμενων ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, όπως αυτή του χρονισμού («*πότε*»), της ταχύτητας («*με τι ένταση*») και των εμπλεκόμενων/ενδιαφερομένων στον ηλεκτροπαραγωγικό σχεδιασμό («*για/με ποιους*»).

Αυτές οι έννοιες επιδιώκεται να εισαχθούν μέσω της διενέργειας σχετικών εφαρμογών, οι οποίες θα εξετάσουν κρίσιμα ζητήματα τα οποία ταλανίζουν την ακαδημαϊκή κοινότητα και την κοινότητα ανάλυσης ενεργειακών πολιτικών, και τα οποία έχουν πλημμελώς μελετηθεί μέχρι σήμερα. Μέσω

αυτών των εφαρμογών, στόχος είναι να παρασχει σημαντική πληροφορία και αποδοτική υποστήριξη στους εμπλεκόμενους φορείς και στους χαράσσοντες ενεργειακής πολιτικής, σχετικά με τις δράσεις που πρέπει να εφαρμόσουν, για να υλοποιηθεί μία έγκαιρη και αποτελεσματική «απανθρακοποίηση» του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, καθώς και ένας έγκαιρος — εκτεταμένης κλίμακας— εξηλεκτρισμός της οικονομίας, κάτι το οποίο θα επιτρέψει την αποφυγή των δυσμενέστερων συνεπειών που μπορεί να επιφέρει η παρατηρούμενη ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή.

Για παράδειγμα, καίρια ερωτήματα πολιτικής τα οποία έχουν πλημμελώς μελετηθεί μέχρι σήμερα στη διεθνή βιβλιογραφία, είναι: (α) το *ύψος της ταχύτητας* με την οποία πρέπει να πραγματοποιηθεί η απόσυρση των ορυκτών καυσίμων από την ηλεκτροπαραγωγή, όσο και (β) η *ένταση* με την οποία νέα καινοτόμα καύσιμα, τα οποία θα αντικαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα, θα πρέπει να διαχυθούν στο ηλεκτροπαραγωγικό μίγμα. Τα ερωτήματα αυτά θα πρέπει να εξεταστούν με γνώμονα την επίτευξη των τεθέντων ενεργειακών στόχων σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της οικονομίας και την εκπλήρωση μίας ευρείας γκάμας αντισταθμιστικών στόχων (EU, 2019; Kumbargoğlu et al., 2020).

Τα μοντέλα αξιολόγησης του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού που θα αναπτυχθούν στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής, θα επικεντρωθούν στην περίπτωση της Ελλάδας. Στο ίδιο μήκος κύματος, οι εφαρμογές του μεθοδολογικού πλαισίου υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού που θα αναπτυχθεί, θα εστιασθούν στην περίπτωση της Ελλάδας. Αυτό θα πραγματοποιηθεί, κυρίως, για τους ακόλουθους λόγους:

- Αυτού του είδους οι αναλύσεις συνήθως επικεντρώνονται σε συγκεκριμένες περιοχές ή χώρες, καθώς τα χαρακτηριστικά της ανάλυσης δύναται να μεταβάλλονται σημαντικά από περίπτωση σε περίπτωση και από περιοχή σε περιοχή (Fragkos et al., 2017).
- Η Ελλάδα ανήκει στις χώρες που έχουν δεσμευτεί στην εκπλήρωση ιδιαίτερα φιλόδοξων στόχων στο μεσοδιάστημα, πριν τη μετάβαση σε μία κλιματικά ουδέτερη οικονομία (από τη χρονική σκοπιά του 2030), σε σύγκριση με το επίπεδο φιλοδοξίας των αντίστοιχων κεντρικών Ευρωπαϊκών στόχων. Άρα, αυτό συνεπάγεται ότι θα πρέπει να εισχωρήσουν καινοτόμες «καθαρές» τεχνολογίες στο ηλεκτροπαραγωγικό της μίγμα και παράλληλα να αποσυρθούν απότομα τα ορυκτά καύσιμα από αυτό. Παρ' όλα αυτά, μέχρι σήμερα, παρατηρείται ένα σημαντικό ερευνητικό χάσμα στη σχετική βιβλιογραφία, αναφορικά με μελέτες οι οποίες εντρυφούν σε αυτές τις πτυχές της ανάλυσης για την περίπτωση της Ελλάδας, και οι οποίες προσδίδουν στην ανάλυση μία αίσθηση ολιστικότητας, υπό την έννοια της αξιολόγησης του συνολικού μακροοικονομικού αποτυπώματος των υπό εξέταση ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων πολιτικής, πέρα από τις αμιγώς ενεργειακές πτυχές της ανάλυσης. Αυτό το

παρατηρούμενο ερευνητικό χάσμα, η παρούσα διδακτορική διατριβή στοχεύει να καλύψει.

### 1.3 Συμβολή Διατριβής

Η συμβολή της παρούσας διδακτορικής διατριβής, αφορά το ευρύτερο επιστημονικό πεδίο της επιχειρησιακής έρευνας και συγκεκριμένα αυτό της υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού. Το αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής χρήζει ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για ολόκληρο τον κύκλο εμπλεκόμενων στον ηλεκτροπαραγωγικό σχεδιασμό, από τους χαράσσοντες πολιτικής, μέχρι —πεπειραμένους ή «νέους»— ερευνητές οι οποίοι εμπλέκονται, ή επιθυμούν να εμπλακούν, με αυτού του είδους την ανάλυση.

Από τη μία μεριά, οι αναλυτές και ερευνητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο και τα εργαλεία που αναπτύσσονται, για την αξιολόγηση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού. Από την άλλη μεριά, οι λαμβάνοντες τις αποφάσεις, δύναται να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα που εξάγονται από τις υλοποιηθείσες εφαρμογές, για να τεκμηριώσουν και υποστηρίξουν τις αποφάσεις τους, ενώ η μεθοδολογία που αναπτύσσεται, μπορεί να λειτουργήσει εν γένει σαν σημείο έναρξης της (βαθύτερης) εμπλοκής τους με αυτού του είδους την ανάλυση, όπως και της βελτίωσης της κατανόησής τους για τις βασικές της διαστάσεις.

Επίσης, η εμβέλεια της παρούσας διδακτορικής διατριβής επεκτείνεται έτι περαιτέρω, από το γεγονός ότι συνδέεται με το «φλέγον» ζήτημα της κλιματικής αλλαγής και κρίσης, οι επιπτώσεις της οποίας γίνονται αισθητές σε ολόκληρο τον κόσμο (π.χ. με τη μορφή των υψηλών θερμοκρασιών και των συνεπακόλουθων πυρκαγιών), και οι οποίες αναμένεται να γίνουν ακόμη πιο έντονες τις επόμενες δεκαετίες αν δεν αλλάξει ριζικά το σημερινό μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας (IMF, 2019; Δούκας, 2021b), όπως άλλωστε επιβεβαίωσε και η τελευταία μελέτη της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC, 2021).

Σε αυτό το πλαίσιο, οι κυβερνήσεις ανά τον κόσμο καλούνται να διαμορφώσουν μία πληθώρα ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, προς την κατεύθυνση της εξάλειψης των ανθρωπογενών αερίων του θερμοκηπίου και κατ' επέκταση την αντιμετώπιση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, οι επιδράσεις των οποίων εκτείνονται κατά πολύ πέρα από τον ενεργειακό τομέα. Οπότε, δημιουργείται η ανάγκη, τόσο της σκιαγράφησης αυτών των πολιτικών, όσο και της αξιολόγησής τους, αφενός από μία περιβαλλοντική σκοπιά, και αφετέρου από μία μακροοικονομική και κοινωνική γωνία, κάτι το οποίο εντοπίζεται στον πυρήνα της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Πιο συγκεκριμένα, οι άξονες συνεισφοράς της παρούσας διδακτορικής διατριβής, μπορούν να σκιαγραφηθούν ως εξής:

- Στο πλαίσιο του προγραμματισμού της ηλεκτροπαραγωγής, είναι απαραίτητη η χρήση μοντέλων βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού (“electricity system optimization model”), με σκοπό την παροχή καθοδήγησης για πτυχές που άπτονται του πυρήνα της ενεργειακής πολιτικής, όπως αναφορικά με το βαθμό επίδρασης των τεχνολογικών εξελίξεων που προβλέπει κάθε εξεταζόμενο σενάριο, των ιδιαιτεροτήτων και

περιορισμών του υπό εξέταση ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος κλπ. (Mirakyan and De Guio, 2015; Hiremath et al., 2007). Ως απόρροια τούτου, αναπτύχθηκε το **OSeMOSYS-Ελλάδας**, ένα «ανοιχτού κώδικα» δυναμικό μοντέλο βελτιστοποίησης του (μεσο-) μακροπρόθεσμου προγραμματισμού της ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας, με βάση το πλαίσιο ενεργειακής μοντελοποίησης OSeMOSYS.

Το εν λόγω μοντέλο εξετάζει με ενδελέχεια τις τεχνολογικές εξελίξεις και αλληλεπιδράσεις του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, και επιτρέπει τη συμπερίληψη στην ανάλυση και την αξιολόγηση όλων των διαστάσεων που άπτονται της ηλεκτροπαραγωγής (π.χ. κόστη, εκπομπές, ηλεκτροπαραγωγικό μίγμα κλπ.). Το OSeMOSYS-Ελλάδας παραμετροποιήθηκε κατάλληλα με σκοπό την ακριβή αναπαράσταση του ελληνικού ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, ενσωματώνοντας την ιδιοσυγκρασία του. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν οι ανακοινωθέντες στόχοι της ελληνικής κυβέρνησης για την ηλεκτροπαραγωγή, όπως αυτοί περιγράφονται σε επίσημα έγγραφα. Επίσης, έγινε συλλογή παρελθόντων δεδομένων σχετικά με τις βασικές συνιστώσες του ελληνικού ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, ενώ χρησιμοποιήθηκαν οι προβλέψεις για την εξέλιξη των βασικών πυλώνων του ελληνικού ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος μέχρι το 2050. Επίσης, στις διαθέσιμες ηλεκτροπαραγωγικές τεχνολογίες του μοντέλου, συμπεριλήφθηκαν μία σειρά από ηλεκτροπαραγωγικές τεχνολογίες που σχεδιάζεται ή δύνανται να εισέλθουν μελλοντικά.

Η **καινοτομία** του εν λόγω άξονα συμβολής, εντοπίζεται στο ότι μία τέτοια κατηγορία μοντέλου, με τα εν λόγω χαρακτηριστικά («ανοιχτού κώδικα», εργαλείο μακρόχρονης βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού), δεν είναι αυτή τη στιγμή διαθέσιμη για την περίπτωση της Ελλάδας. Τα υπάρχοντα μοντέλα παρόμοιας φύσης, είτε είναι «κλειστού κώδικα», είτε απαιτούν την αγορά αδειών χρήσης. Επίσης, άλλη μία σημαντική παράμετρος είναι ότι τα εν λόγω μοντέλα απαιτούν σημαντική εξειδίκευση από τον αναλυτή στον τομέα της μοντελοποίησης ηλεκτροπαραγωγικών συστημάτων και τη συλλογή μίας σημαντικής ποσότητας δεδομένων εισόδου, των οποίων η συλλογή παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες. Άρα, η διάθεση του εν λόγω μοντέλου και των δεδομένων με τα οποία ρυθμίστηκε, μπορούν να λειτουργήσουν σαν σημείο έναρξης για την ανάπτυξη παρόμοιων μοντέλων για τον ελληνικό ηλεκτροπαραγωγικό τομέα, αμβλύνοντας την απαίτηση σημαντικής εξειδίκευσης και συλλογής μίας σημαντικής ποσότητας δεδομένων εισόδου, για τον αναλυτή.

- Η πραγματοποίηση των απαραίτητων μετασχηματισμών του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα με όρους κοινωνικής δικαιοσύνης και συμπεριληπτικότητας, καθιστά απαραίτητη την ενσωμάτωση στην ανάλυση των πολυδιάστατων κοινωνικών προεκτάσεων του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, πλέον των καθαρά τεχνοοικονομικών παραμέτρων. Οπότε, καθίσταται απαραίτητη η **συνολική αξιολόγηση** των ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων πολιτικής από μία μακροοικονομική και κοινωνική σκοπιά, ώστε να απαντηθεί το ερώτημα αναφορικά με το συνολικό αποτύπωμά τους στην ευρύτερη οικονομία και στο επίπεδο ευημερίας του κοινωνικού συνόλου. Για το σκοπό αυτό, στην παρούσα διδακτορική διατριβή, αναπτύχθηκε το **GTAP-Ελλάδας**, ένα «ανοιχτού κώδικα» παγκόσμιο μακροοικονομικό μοντέλο «γενικής ισορροπίας», με εστίαση στην ελληνική οικονομία, με βάση το μακροοικονομικό μοντέλο GTAP. Το εν λόγω μοντέλο αντλεί τα δεδομένα του από την παγκόσμια βάση δεδομένων GTAP, και εξετάζει συνολικά την ελληνική οικονομία και το υπόλοιπο της παγκόσμιας οικονομίας, περιγράφοντας τη συμπεριφορά και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων στους οποίους συνίστανται (π.χ. νοικοκυριά, κυβέρνηση).

Στο πλαίσιο της συνολικής αξιολόγησης του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού της Ελλάδας, το GTAP-Ελλάδας διασυνδέθηκε αποδοτικά με το OSeMOSYS-Ελλάδας, επιτρέποντας κατ' αυτό τον τρόπο την αξιολόγηση του μακροοικονομικού και κοινωνικού αποτυπώματος των εξεταζόμενων ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων πολιτικής, και συνεπακόλουθα τη συνολική αξιολόγηση του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού της Ελλάδας.

Επίσης, δεδομένης της εξάρτησης των μακροοικονομικών μοντέλων στη διαθεσιμότητα και ποιότητα των απαιτούμενων δεδομένων εισόδου, και λόγω της αναδρομικότητας των διαθέσιμων δεδομένων για μία οικονομία, αναπτύχθηκε μία μεθοδολογία για την ανανέωση τους έτους αναφοράς των δεδομένων ενός μακροοικονομικού μοντέλου. Κατ' αυτό τον τρόπο, επιδιώκεται η ενίσχυση της αντιπροσωπευτικότητας της ανάλυσης και —κατ' επέκταση— της ευρωστίας των παραγόμενων αποτελεσμάτων. Επίσης, αναπτύχθηκε μία μεθοδολογία, για τη διαχείριση της παραμετρικής αβεβαιότητας του GTAP, με βάση τη διενέργεια μίας ανάλυσης ευαισθησίας των αποτελεσμάτων, επί της μεταβλητότητας των κύριων παραμέτρων ελαστικότητας που ορίζονται σε αυτό.

Η **καινοτομία** του εν λόγω άξονα συμβολής, έγκειται στην έλλειψη μακροοικονομικών μοντέλων «ανοιχτού κώδικα» με εστίαση στην ελληνική οικονομία. Σε αυτό το γεγονός, μπορεί να αποδοθεί και το ότι στις έως τώρα μελέτες στη βιβλιογραφία που έχουν διενεργήσει κάποιας μορφής αξιολόγηση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού της Ελλάδας, έχει σημαντικά παραμεληθεί η διάσταση των μακροοικονομικών και κοινωνικών

προεκτάσεων αυτού του είδους της άσκησης. Ο έτερος πόλος καινοτομίας αυτού του άξονα συμβολής, συνδέεται με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε αναφορικά με την ανανέωση του έτους αναφοράς της βάσης δεδομένων του μοντέλου, κάτι το οποίο προσκομίζει σημαντικά οφέλη στην ερευνητική κοινότητα, αναφορικά με την αντιμετώπιση του ζητήματος της αναδρομικότητας των δεδομένων που περιγράφουν την εκάστοτε οικονομία.

- Η εγγενής αντισταθμιστικότητα του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού —υπό την έννοια ότι η προτεραιοποίηση συγκεκριμένων στόχων, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το συμβιβασμό έτερων ανταγωνιστικών στόχων— καθιστά καίρια την ανάπτυξη των κατάλληλων πολυκριτηριακών μεθοδολογιών. Ακόμη, το περιβάλλον αβεβαιότητας που διαμορφώνεται γύρω από τον ηλεκτροπαραγωγικό σχεδιασμό, ως απόρροια του γεγονότος ότι εδράζεται σε μία από σειρά από υποθέσεις και παραδοχές σχετικά με τη μακρόχρονη εξέλιξη των κύριων μεγεθών του ενεργειακού συστήματος και της οικονομίας, καθιστά αναγκαία την επέκταση των διαθέσιμων —και ο συγκεκριασμός έτερων— πολυκριτηριακών μεθόδων, κατά τρόπο που να επιτυγχάνεται η αποδοτική διαχείριση της αβεβαιότητας και η συμπερίληψη στην ανάλυση των ιδιοσυγκρασιακών χαρακτηριστικών των αποφασιζόντων έναντι του κινδύνου.

Σε αυτό το πλαίσιο, ο τέταρτος άξονας συνεισφοράς της διατριβής σχετίζεται με την ανάπτυξη του **ReReVITO** (“**Regret Regret VIKOR TOPSIS**”), ενός πολυκριτηριακού μεθοδολογικού πλαισίου υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού. Το εν λόγω μεθοδολογικό πλαίσιο, επιτρέπει τον εντοπισμό του ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής που ικανοποιεί καλύτερα τους σκοπούς των αποφασιζόντων, υπό το πρίσμα αβεβαιότητας. Η αβεβαιότητα λαμβάνεται υπόψιν μέσω της δημιουργίας πολλαπλών διακριτών σεναρίων αναφορικά με την εξέλιξη των βασικών παραμέτρων του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος (π.χ. τιμές, κόστη), και διαχειρίζεται μέσω της ποσοτικοποίησης των «βαθμών-δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων, κατά μήκος των διαμορφούμενων σεναρίων, με βάση τα μέτρα «συνολικής χρησιμότητας» και «μέγιστης δυσαρέσκειας», δηλαδή των μέτρων που εμπεριέχει ο τύπος της VIKOR.

Με βάση αυτή την προσέγγιση, δημιουργούνται δύο διαφορετικά πολυκριτηριακά προβλήματα, στα οποία η αξιολόγηση των ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων πολιτικής επί των κριτηρίων επίδοσης, πραγματοποιείται μέσω της εφαρμογής των πολυκριτηρίων μεθόδων VIKOR και TOPSIS. Επίσης, στα κριτήρια επίδοσης της ανάλυσης, λαμβάνονται υπόψιν μία ευρεία γκάμα αντισταθμιστικών διαστάσεων, συμπεριλαμβανομένων παραμελημένων παραμέτρων, όπως αυτή της ενεργειακής ασφάλειας (π.χ. εξάρτηση του συστήματος σε εισαγωγές).



Η **καινοτομία** του εν λόγω άξονα συμβολής, εντοπίζεται στην κατηγοριοποίηση των αποτελεσμάτων που πραγματοποιείται, με βάση το προφίλ του αποφασίζοντα απέναντι στον κίνδυνο. Αυτό λαμβάνει χώρα μέσω του πρωτότυπου συνδυασμού διαφορετικών μέτρων ποσοτικοποίησης των «βαθμών δυσaréσκειας» των αποφασιζόντων —κατά μήκος των διαμορφούμενων σεναρίων— και πολυκριτηριακών μεθόδων. Πιο συγκεκριμένα, τα χρησιμοποιούμενα «μέτρα δυσaréσκειας», διακρίνονται ανάλογα με το αν λαμβάνουν υπόψιν τη συνολική επίδοση της πολιτικής (εστίαση στο κέρδος) ή μόνο τη χειρότερη επίδοσή της (εστίαση στη ζημία), κατά μήκος των διαμορφούμενων σεναρίων. Στον αντίποδα, οι χρησιμοποιούμενες πολυκριτήριες μέθοδοι, διακρίνονται επί της βάσης του αν συγκρίνουν μία πολιτική, μόνο με τη θετική ιδεατή λύση (αισιοδοξία απέναντι στον κίνδυνο), ή σε συνδυασμό και με την αρνητική ιδεατή λύση (συντηρητικότητα απέναντι στον κίνδυνο). Κατ' αυτό τον τρόπο, το εν λόγω μεθοδολογικό πλαίσιο ενσωματώνει και απεικονίζει τρία προφίλ αποφασιζόντων, με βάση τη συμπεριφορά τους απέναντι στον κίνδυνο, ως εξής: «ριψοκίνδυνοι», «ουδέτεροι» και «συντηρητικοί» αποφασίζοντες, εξάγοντας τα αποτελέσματά του κατά μήκος και συναρτήσεσιν αυτών.

- Μία από τις σημαντικότερες συνεισφορές της διατριβής, είναι ότι προσφέρει μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία αναφορικά με την παραμετροποίηση, τροφοδότηση, διαχείριση και διασύνδεση των εργαλείων που περιγράφησαν παραπάνω, όσο και σχετικά με τον τρόπο που πρέπει να ερμηνεύονται τα αποτελέσματά τους, με σκοπό την πλήρη αξιοποίησή τους. Είναι προφανές ότι η αξιοποίηση των χρησιμοποιούμενων εργαλείων, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την εξαγωγή συγκεκριμένης και σαφούς πληροφορίας στους αποφασίζοντες, η οποία **υποδεικνύει** συγκεκριμένες **αποφάσεις** που πρέπει να λάβουν ή τους δίνει σαφή **ένδειξη** των προεκτάσεων των διαθέσιμων επίλογων πολιτικής.

Βασικά χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας αποτελούν η διαφάνεια και η ευελιξία που παρουσιάζει. Πιο συγκεκριμένα, όλα τα δεδομένα εισόδου και εξόδου του πλαισίου είναι πλήρως προσβάσιμα, όπως επίσης και η πλήρη κλίμακα των εξαγόμενων αποτελεσμάτων από αυτή. Επίσης, οι παράμετροι και τα δεδομένα εισόδου των χρησιμοποιούμενων εργαλείων, μπορούν να τροποποιηθούν ανά περίπτωση με βάση τους σκοπούς και τις προτιμήσεις των αποφασιζόντων. Αυτά τα στοιχεία της μεθοδολογίας αυξάνουν σημαντικά την προστιθέμενη αξία της για τους αποφασίζοντες και τους σχεδιαστές ενεργειακών πολιτικών.

- Οι **εφαρμογές** του μεθοδολογικού πλαισίου και των εργαλείων που αναπτύχθηκαν, σε πραγματικές μελέτες περίπτωσης για το ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα της Ελλάδας, παρέχουν σημαντική υποστήριξη και καθοδήγηση στους υπευθύνους χάραξης ενεργειακής

πολιτικής, απαντώντας σε σημαντικά ερωτήματα πολιτικής, τα οποία μέχρι σήμερα είναι σε σημαντικό βαθμό παραμελημένα στη σχετική βιβλιογραφία.

Σε αυτό πλαίσιο, αρχικά, απαντάται το ερώτημα σχετικά με το μακροοικονομικό και κοινωνικό αποτύπωμα μίας ταχείας «απολιγνιτοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής. Είναι προφανές, ότι η απόσυρση των ορυκτών καυσίμων από την ηλεκτροπαραγωγή είναι επωφελής για την επίτευξη των ενεργειακών στόχων που έχουν τεθεί και για την διόγκωση της εξεταζόμενης οικονομίας (Trinomics, 2020). Ωστόσο, η εξέταση των παράπλευρων επιπτώσεων στην κοινωνία και στην οικονομία, καθώς και στη διάσταση της ενεργειακής ασφάλειας, όταν αυτή η μετάβαση πραγματοποιείται *απότομα* σε βραχύτερους ορίζοντες, καθίσταται ιδιαίτερως σημαντική (Greenleaf, J., 2009; ΗΑΕΕ, 2020). Οπότε, μέσω της εν λόγω εφαρμογής, επιχειρείται να απαντηθεί το ερώτημα σχετικά με το «*με ποια ταχύτητα πρέπει να αποσυρθούν τα ορυκτά καύσιμα από την ηλεκτροπαραγωγή;*», με γνώμονα τη μεγέθυνση της οικονομίας και τη βελτίωση της ευημερίας των πολιτών.

Επιπλέον, η διείδυση καινοτόμων τεχνολογιών στο ηλεκτροπαραγωγικό μίγμα, όπως το πράσινο υδρογόνο, δύναται να αλλάξει άρδην τις υπάρχουσες συνθήκες (*“game-changers technologies”*) και να αποτελέσει ένα καθοριστικό εργαλείο στη φαρέτρα των κυβερνήσεων, στο πλαίσιο της μετάβασης και μετασχηματισμού των ηλεκτροπαραγωγικών συστημάτων. Ωστόσο, το ερώτημα που ταλανίζει τους χαράσσοντες ενεργειακής πολιτικής, είναι το εξής: «*ποια είναι η κατάλληλη ταχύτητα με την οποία νέα καθαρά καύσιμα πρέπει να εισέλθουν στην ηλεκτροπαραγωγή;*». Αυτό το ερώτημα, τίθεται υπό το πρίσμα της επίτευξης μίας ευρείας γκάμας αντισταθμιστικών στόχων, πέρα από τους τεθέντες ενεργειακούς στόχους αυτούς καθεαυτούς. Οπότε, η έτερη εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου, αφορά την εξέταση της κατάλληλης ταχύτητας με την οποία το πράσινο υδρογόνο πρέπει να διαχυθεί στην ηλεκτροπαραγωγή.

Τα ερευνητικά ερωτήματα που επιχειρείται να απαντηθούν ανά περίπτωση, όπως περιγράφησαν παραπάνω, μπορούν να συνοψισθούν και στο ακόλουθο ερώτημα: «*Με τι όρους θα γίνει η μετάβαση του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος;*» Με άλλα λόγια, θα γίνει με όρους λίγων κοινωνικών ομάδων, τομέων κλπ., ή θα είναι ένα όχημα που θα τους περιλαμβάνει όλους και θα έχει στο επίκεντρό του τον άνθρωπο. Το εν λόγω ερώτημα μπορεί να τεθεί και ως εξής: «*Θα είναι μία μετάβαση που θα δημιουργεί κανόνες ισότητας και θα εξομαλύνει ενδεχόμενες υπάρχουσες ανισότητες;*» ή «*θα είναι μία μετάβαση η οποία θα δημιουργεί νικητές και ηττημένους;*». Σε αυτά τα καίρια ερωτήματα, η παρούσα διδακτορική διατριβή προσφέρει σαφείς και τεκμηριωμένες απαντήσεις, μέσω των αποτελεσμάτων που

παράγονται από τις εφαρμογές του προτεινόμενου από αυτή μεθοδολογικού πλαισίου και των εργαλείων που αναπτύσσονται.

Με τις απαντήσεις που προσφέρει η διατριβή στους αποφασίζοντες, βελτιώνει σημαντικά το επίπεδο κατανόησής τους, αναφορικά με τις πολύπλοκες διαδικασίες που συνεπάγονται οι απαραίτητες μετατροπές του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, επικουρώντας τους στην απόκτηση μίας κοινής κατανόησης και συναντίληψης, σχετικά με το τι πραγματικά σημαίνουν οι διάφορες επιλογές πολιτικής, μεταξύ των οποίων πρέπει να επιλέξουν.

Η αξία των εφαρμογών της διατριβής, μπορεί να παρατηρηθεί και από το γεγονός ότι συνδέονται με τον πυρήνα των στόχων πολιτικής της ηγεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτοί οι στόχοι απεικονίζονται ευκρινώς στο πρόγραμμα REPowerEU<sup>1</sup>, το οποίο ορίζει τον ευρωπαϊκό στόχο για ταχεία ανάπτυξη της καθαρής ηλεκτροπαραγωγής και για εγχώρια παραγωγή ανανεώσιμου υδρογόνου στο ύψος των 10 εκατομμυρίων τόνων μέχρι το 2030. Οπότε, σε αυτό το πλαίσιο, τίθενται μία σειρά από ερωτήματα αναφορικά με τις δυνητικές προεκτάσεις αυτών των εγχειρημάτων, τις οποίες εξετάζει ενδελεχώς και εις βάθος η παρούσα διδακτορική διατριβή.

---

<sup>1</sup> REPowerEU: Ένα σχέδιο για ταχεία μείωση της εξάρτησης από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα και την επιτάχυνση της πράσινης μετάβασης ([https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_22\\_3131](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_3131)).

## 1.4 Δομή Διατριβής

Η παρούσα διδακτορική διατριβή οργανώνεται σε πέντε κεφάλαια, κατά μήκος των οποίων παρουσιάζονται, αρχικά, οι στόχοι και η συνεισφορά της διατριβής. Έπειτα, παρουσιάζονται οι κύριες τάσεις και εξελίξεις στη διεθνή βιβλιογραφία, αναφορικά με τα μοντέλα αξιολόγησης ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού και των πολυκριτήριων μεθόδων υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού. Έπειτα, παρουσιάζεται ενδελεχώς το προτεινόμενο ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, και περιγράφονται ευκρινώς τα δομικά μέρη στα οποία συντίθεται. Στη συνέχεια, περιγράφεται η κατάσταση και οι στόχοι της χώρα εφαρμογής του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, ήτοι της Ελλάδας, όπως και οι σχετικές εφαρμογές που έλαβαν χώρα στο πλαίσιο της εν λόγω διατριβής, σε όρους χρησιμοποιούμενων δεδομένων, υποθέσεων, σεναρίων κλπ. Τέλος, παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα που προέκυψαν από τις διενεργηθείσες εφαρμογές της προτεινόμενης μεθοδολογίας και των εργαλείων που αναπτύχθηκαν, τα συμπεράσματα της διατριβής, και οι δυνητικές προεκτάσεις της.

Πιο αναλυτικά, στο πρώτο μέρος του **Κεφαλαίου 2** παρουσιάζονται οι κύριες κατηγορίες μοντέλων που έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση και αξιολόγηση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού στη διεθνή βιβλιογραφία μέχρι σήμερα, όπως επίσης και οι μεταξύ τους ομοιότητες και διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε κατηγορία εξ' αυτών, παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά, όπως επίσης και τα συγκριτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζουν, εν σχέσει με τα ομόλογα ενεργειακά μοντέλα. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι διαθέσιμοι τρόποι διασύνδεσης μοντέλων αξιολόγησης ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κάθε τρόπου, όπως επίσης και οι δυσκολίες που παρουσιάζονται στην προσπάθεια της αποδοτικής διασύνδεσής τους. Έπειτα, παρουσιάζονται και αναλύονται οι σχετικές μελέτες οι οποίες έχουν εκδοθεί και έχουν κάνει χρήση αυτών των μοντέλων, τόσο από τη σκοπιά των ακολουθούμενων υποθέσεων και των χρησιμοποιούμενων μοντέλων, όσο και από την οπτική των βασικών αποτελεσμάτων που παράγουν. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στη κατηγοριοποίηση αυτών των μελετών, με βάση τα αποτελέσματα που παράγουν, όπως και στην παρουσίαση των κύριων προεκτάσεών τους. Στη συνέχεια, με βάση την βιβλιογραφική επισκόπηση που πραγματοποιείται, αναλύονται οι βέλτιστες πρακτικές που αναγνωρίστηκαν και στις οποίες εδράζονται οι ακολουθούμενες διαδικασίες για την ανάπτυξη του ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, το πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής. Τέλος, αναλύονται οι κύριοι τρόποι που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι στιγμής στη διεθνή βιβλιογραφία, για την ενσωμάτωση στην ανάλυση της εγγενούς αβεβαιότητας του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, καθώς και τα συγκριτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζει ο καθένας από αυτούς τους τρόπους.

Έπειτα, στο δεύτερο μέρος του **Κεφαλαίου 2** επισκοπούνται και παρουσιάζονται οι κύριες μέθοδοι πολυκριτήριας ανάλυσης ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά παρουσιάζονται οι κύριες πολυκριτήριες μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα για την αξιολόγηση του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, ενώ πραγματοποιείται μία κατηγοριοποίηση αυτών των μεθόδων, επί της βάσης του είδους των αποτελεσμάτων που παράγουν. Για αυτές τις μεθόδους, παρουσιάζονται τα κύρια μεθοδολογικά βήματα που περιλαμβάνουν και οι μαθηματικοί τύποι που χρησιμοποιούν. Έπειτα, παρουσιάζονται οι κύριοι τρόποι, μέσω των οποίων μπορούν να «μετεφραστούν» οι προτιμήσεις του αποφασίζοντος σε σχετικές βαρύτητες στα κριτήρια της ανάλυσης. Τέλος, παρουσιάζονται οι κύριες μελέτες που έχουν εκδοθεί μέχρι σήμερα στη διεθνή βιβλιογραφία, στον τομέα της πολυκριτήριας διαχείρισης προβλημάτων ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού. Για αυτές τις μελέτες, παρουσιάζονται αναλυτικά τα κριτήρια τα οποία λαμβάνονται υπόψη, η πολυκριτήρια μέθοδος που χρησιμοποιείται, τα κύρια αποτελέσματα που παράγονται και τα κύρια εξαγόμενα συμπεράσματα.

Στη συνέχεια, στο **Κεφάλαιο 3** αρχικά επισκοπείται το ολοκληρωμένο πλαίσιο υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, το οποίο αναπτύσσεται στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής. Έπειτα, περιγράφονται αναλυτικά και εις βάθος, όλα τα επιμέρους δομικά μέρη στα οποία συνίσταται το εν λόγω ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο, συμπεριλαμβανομένων των βασικών εισόδων κάθε δομικού μέρους της μεθοδολογίας, των ειδών πληροφορίας που εξάγεται από αυτά και των τρόπων αξιοποίησης αυτής της πληροφορίας από τα επόμενα στάδια της μεθοδολογίας. Επίσης, παρουσιάζονται τα σημεία του μεθοδολογικού πλαισίου στα οποία υπάρχουν δίοδοι ενσωμάτωσης των προτιμήσεων των αποφασιζόντων, όπως και τα αντίστοιχα σημεία στα οποία διαχειρίζεται η αβεβαιότητα της ανάλυσης.

Ακολούθως, στο **Κεφάλαιο 4** αρχικά παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της χώρας εφαρμογής του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου της διατριβής, δηλαδή της Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα δομικά χαρακτηριστικά της οικονομίας της, οι ενεργειακοί και κλιματικοί στόχοι που έχουν τεθεί από την ελληνική κυβέρνηση, καθώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και οι αδυναμίες του ελληνικού ενεργειακού συστήματος. Έπειτα, παρουσιάζονται τα σενάρια που έχουν σκιαγραφηθεί από τη χρονική σκοπιά του 2050 για το ελληνικό ενεργειακό σύστημα, σε επίσημα κυβερνητικά έγγραφα, καθώς και τα σχετικά ευρήματα που εντοπίζονται στη βιβλιογραφία σχετικά με το μετασχηματισμό του ελληνικού ενεργειακού συστήματος. Τέλος, πραγματοποιείται μία ανάλυση ερευνητικού χάσματος για την περίπτωση της Ελλάδας, από την οποία προκύπτουν τα κύρια διλήμματα πολιτικής που εκκρεμούν να εξετασθούν, ενώ παρουσιάζεται το πως η παρούσα διδακτορική διατριβή επιχειρεί να καλύψει το εν λόγω ερευνητικό χάσμα.

Στη συνέχεια του **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται οι εφαρμογές του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου που έλαβαν χώρα στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής, για την περίπτωση της Ελλάδας, τόσο για την αξιολόγηση ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών που έχουν επίσημα αναληφθεί από την ελληνική κυβέρνηση, όσο και για δυνητικές πολιτικές που θα μπορούσαν να υλοποιηθούν στο δρόμο προς την κλιματική ουδετερότητα. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά παρουσιάζονται τα σενάρια και τα δεδομένα που λήφθηκαν υπόψιν, για την αξιολόγηση του μακροοικονομικού και κοινωνικού αποτυπώματος μίας ταχείας «απολιγνιτοποίησης» της ελληνικής ηλεκτροπαραγωγής, καθώς και οι διαδικασίες για την ανάπτυξη του GTAP-Ελλάδας, και της διασύνδεσής του με την παγκόσμια βάση δεδομένων GTAP. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται, αρχικά, οι υποθέσεις και τα σενάρια που λήφθηκαν υπόψιν με γνώμονα την εξέταση της κατάλληλης ταχύτητας διάχυσης του πράσινου υδρογόνου στην ελληνική ηλεκτροπαραγωγή. Έπειτα, παρουσιάζονται τα δεδομένα και οι ακολουθούμενες διαδικασίες για την ανάπτυξη του OSeMOSYS-Ελλάδας και του τρόπου διαχείρισης της αβεβαιότητας σχετικά με τα δεδομένα εισόδου που ρυθμίστηκαν σε αυτό, η διαδικασία αξιολόγησης των πολιτικών πράσινου υδρογόνου από μία πολυκριτήρια σκοπιά, και ο τρόπος εξέτασης του δυνητικού μακροοικονομικού αποτυπώματός τους στην ελληνική οικονομία.

Σε κάθε μία από τις εφαρμογές που περιγράφονται στο **Κεφάλαιο 4**, παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα που προέκυψαν, με απονομή ιδιαίτερης μνείας στις προεκτάσεις για τους αποφασίζοντες και χαράσσοντες ενεργειακής πολιτικής. Επίσης, αναλύεται διεξοδικά η αιτιακή σχέση των αποτελεσμάτων με τα δεδομένα εισόδου και τις θεωρούμενες υποθέσεις, όπως και μεταξύ των αποτελεσμάτων αυτών καθεαυτών, δηλαδή το πως το κάθε είδος αποτελεσμάτων πυροδοτεί μία έτερη κατηγορία αποτελεσμάτων. Για κάθε είδος αποτελεσμάτων που προέκυψε από τις διενεργηθείσες εφαρμογές, παρέχονται εύληπτες οπτικοποιήσεις.

Τέλος, στο **Κεφάλαιο 5**, παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα και κατευθύνσεις πολιτικής που μπορούν να συναχθούν από την εν λόγω διδακτορική διατριβή, τόσο από τις ακολουθούμενες διαδικασίες για την ανάπτυξη του μεθοδολογικού πλαισίου υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, όσο και από τα αποτελέσματα των εφαρμογών που έλαβαν χώρα για την περίπτωση του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος της Ελλάδας. Επίσης, αναφέρονται τα ερευνητικά ζητήματα που δημιουργούνται ως απόρροια των ευρημάτων της παρούσας διδακτορικής διατριβής, και τα οποία θα μπορούσαν μελλοντικά να εξεταστούν, με γνώμονα την εξαγωγή περισσότερης πληροφορίας για τους αποφασίζοντες.

---

## Κεφάλαιο 2: Επισκόπηση Σχετιζόμενων Μεθοδολογιών

---





## 2.1 Μοντέλα Αξιολόγησης Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού

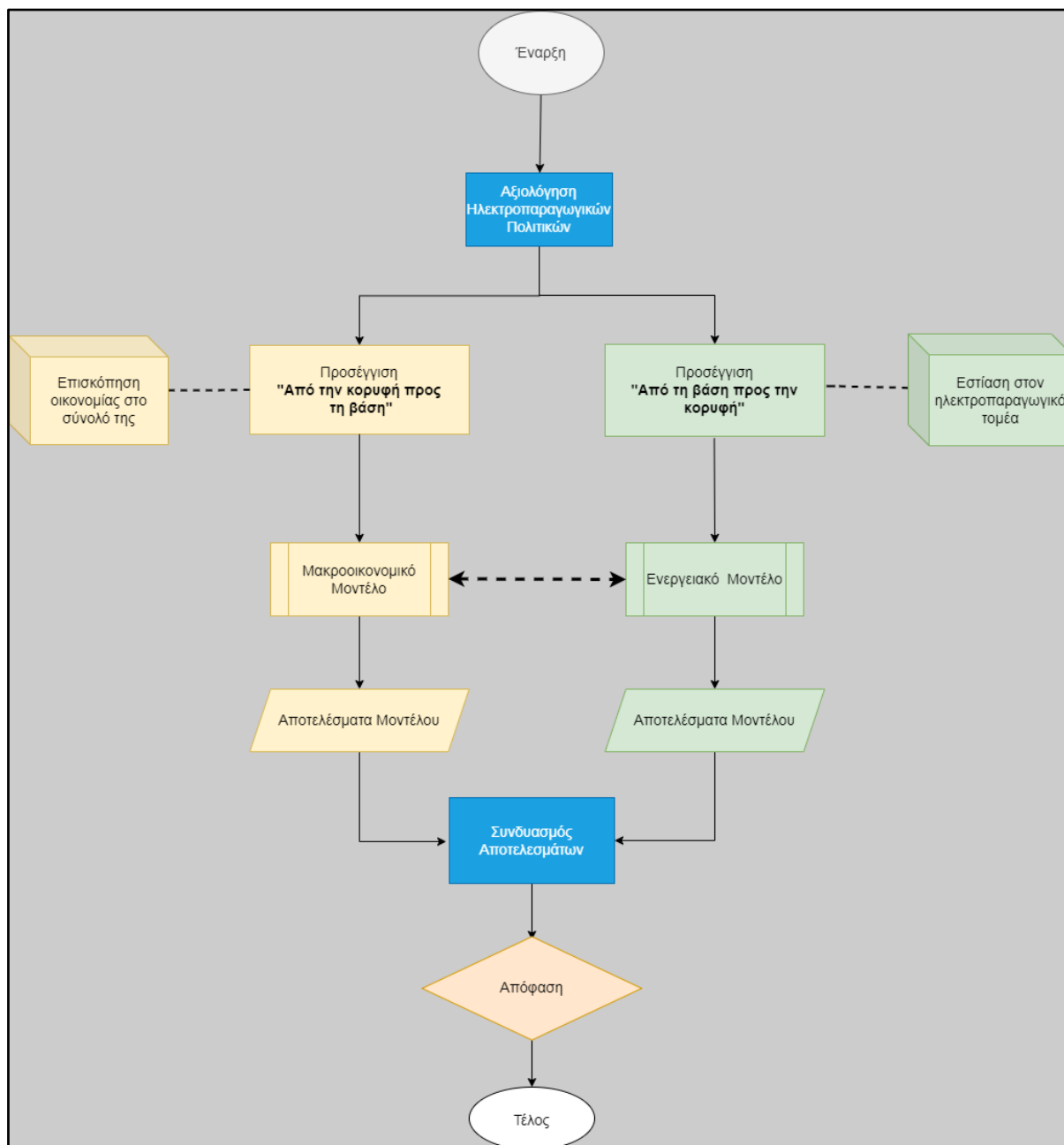
### 2.1.1 Κατηγορίες Μοντέλων

Διάφορες προσεγγίσεις έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία αναφορικά με την αξιολόγηση ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων πολιτικής (Nikas et al., 2019), κάθε μία από τις οποίες εμφανίζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα (Doukas et al., 2018). Με βάση το επίπεδο της εστίασής τους, μπορούν να ταξινομηθούν σε προσεγγίσεις «από τη βάση προς την κορυφή» (“bottom-up”) και «από την κορυφή προς τη βάση» (“top-down”), ενώ οι δύο αυτές προσεγγίσεις συχνά συγκεράζονται με σκοπό τη διενέργεια περισσότερο λεπτομερών και αντιπροσωπευτικών αξιολογήσεων. Η κάθε μία από αυτές τις προσεγγίσεις συνδέεται με συγκεκριμένες κατηγορίες μοντέλων, μέσω των οποίων επιτρέπεται η υλοποίησή της.

Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 4**, η προσέγγιση «από την κορυφή προς τη βάση» απεικονίζει την οικονομία συγκεντρωτικά σε εθνικό ή τοπικό επίπεδο και αξιολογεί τη συνολική επίδραση των εκάστοτε εξεταζόμενων ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών σε νομισματικές μονάδες (A. Herbst et al., 2012). Για την εφαρμογή της, απαιτείται η χρήση κάποιου μακροοικονομικού μοντέλου το οποίο προσομοιώνει την λειτουργία της οικονομίας και επιτρέπει την υποκατάσταση μεταξύ των διαφορετικών συντελεστών παραγωγής κατά την εφαρμογή μιας «διαταραχής» (“shock”) στην οικονομία, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της κοινωνικής ευημερίας (Helgesen, 2013). Η «διαταραχή» στην οικονομία λαμβάνει χώρα μέσω της μεταβολής της τιμής μιας τουλάχιστον εξωγενούς μεταβλητής, δηλαδή μιας μεταβλητής που η τιμή της μεταβάλλεται μόνο από τον αναλυτή, σε σχέση με το βασικό σενάριο εξέλιξης της οικονομίας.

Στον αντίποδα, η προσέγγιση «από τη βάση προς την κορυφή» περιλαμβάνει τη λεπτομερή μελέτη του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα και των αλληλεπιδράσεων που λαμβάνουν χώρα μεταξύ των στοιχείων που τον αποτελούν (A. Herbst et al., 2012). Αυτή η προσέγγιση υλοποιείται μέσω της χρήσης ενός ενεργειακού μοντέλου, το οποίο απεικονίζει λεπτομερώς τον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα της εξεταζόμενης χώρας και έχει στόχο να εντοπίσει τον αποδοτικότερο τρόπο με τον οποίο μπορεί να καλυφθεί η ζήτηση ηλεκτρισμού που παρουσιάζεται στην υπό εξέταση περιοχή. Με άλλα λόγια, τα εν λόγω μοντέλα στοχεύουν στην εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού των διαθέσιμων ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών υπό τους παρατηρούμενους περιορισμούς (π.χ. εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, τεχνολογικοί περιορισμοί; Helgesen, 2013; A. Herbst et al., 2012; Katris et al., 2017).

**Εικόνα 4:** Απεικόνιση των χρησιμοποιούμενων προσεγγίσεων για την αξιολόγηση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού.



### 2.1.1.1 Μακροοικονομικά μοντέλα

Η προσέγγιση «από την κορυφή προς τη βάση» μπορεί να εφαρμοστεί με τη χρήση διαφόρων κατηγοριών μακροοικονομικών μοντέλων, οι οποίες δύναται να ανήκουν στις ακόλουθες κατηγορίες (Helgesen, 2013; A. Herbst et al., 2012; M. A. Herbst et al., 2012):

- «Εισροών-Εκροών»/«Εισαγωγών-Εξαγωγών» (“Input Output — IO”),
- «Υπολογίσιμης Γενικής Οικονομικής Ισορροπίας»/«Γενικής Ισορροπίας» (“Computable General Equilibrium — CGE”),

- Οικονομετρικά (“Econometric”),
- «Δυναμικών Συστημάτων» (“System Dynamic”).

#### Μοντέλα «εισροών-εκροών»/«εισαγωγών-εξαγωγών»

Τα μοντέλα «Εισροών-Εκροών» απεικονίζουν τις χρηματοροές που διακινούνται μεταξύ των τομέων της εξεταζόμενης οικονομίας, λαμβάνοντας υπόψιν τόσο την ενδιάμεση, όσο και την τελική ζήτηση. Το κύριο μειονέκτημά τους, εντοπίζεται στο ότι δεν είναι σε θέση να αναλύσουν το μακροοικονομικό μέγεθος του δείκτη τιμών της οικονομίας υπό εξέταση, καθώς το λαμβάνουν σαν εξωγενή μεταβλητή, δηλαδή σαν σταθερό μέγεθος το οποίο μπορεί να μεταβληθεί μόνο από το χρήστη αυτής της κατηγορίας μοντέλου (Helgesen, 2013).

Ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης κατηγορίας μοντέλου, είναι ότι δεν μπορεί να απεικονίσει δομικές αλλαγές της εξεταζόμενης οικονομίας, όπως η υποκατάσταση μεταξύ των συντελεστών παραγωγής (π.χ. εργασία και κεφάλαιο) διαφορετικών οικονομικών δραστηριοτήτων, όπως επίσης και δε συμπεριλαμβάνει όλο το εύρος των χρηματοροών που διακινούνται στην οικονομία υπό εξέταση, κάτι το οποίο αποτελεί και το κύριο μειονέκτημά τους. Εν γένει, τα εν λόγω μοντέλα προσομοιώνουν την οικονομία προσδίδοντας μία γραμμικότητα στις προδιαγραφές της παραγωγής και της κατανάλωσης, κάτι το οποίο δεν διευκολύνει την εφαρμογή μακροχρόνιων «διαταραχών», για τις οποίες απαιτείται η ενσωμάτωση κάποιας ευελιξίας, καθώς σε τέτοιου είδους προσομοιώσεις δύναται να λάβουν χώρα δομικές αλλαγές στην παραγωγική δομή, στην τελική κατανάλωση, στις προτιμήσεις των καταναλωτών κλπ., της εξεταζόμενης οικονομίας.

Από την άλλη μεριά, τα μοντέλα «Εισροών-Εκροών» παρουσιάζουν και κάποια πλεονεκτήματα, όπως είναι το διαφανές πλαίσιο της ανάλυσης που προσφέρουν, το οποίο αναπαριστά αποτελεσματικά τις κύριες διατομεακές αλληλεπιδράσεις της εξεταζόμενης οικονομίας. Ως εκ τούτου, η συγκεκριμένη κατηγορία μοντέλων παρουσιάζει μία απλότητα υλοποίησης, λόγω του ότι απαιτείται μόνο ένας πίνακας «Εισροών-Εκροών», ο οποίος παρουσιάζει τις αλληλεπιδράσεις που λαμβάνουν χώρα μεταξύ των οικονομικών παραγόντων της αξιολογούμενης οικονομίας (π.χ. παραγωγοί, νοικοκυριά, κυβέρνηση, υπόλοιπο του κόσμου; OECD, 2021), δηλαδή τις αγορές και πωλήσεις προϊόντων σε χρηματικούς όρους που λαμβάνουν χώρα για κάποιο έτος αναφοράς.

Μία επέκταση του συγκεκριμένου πλαισίου αξιολόγησης, περιλαμβάνει την κατασκευή του «Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής» (ΠΚΛ; “Social Accounting Matrix-SAM”). Ο εν λόγω πίνακας, παρέχει ένα στατικό στιγμιότυπο της εξεταζόμενης οικονομίας, συνήθως για ένα έτος αναφοράς. Η κύρια διαφορά που παρουσιάζει ο εν λόγω πίνακας σε σχέση με ένα πίνακα «Εισροών-Εκροών», εστιάζεται στο ότι παρουσιάζει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κύριων οικονομικών παραγόντων της αναλυόμενης οικονομίας με έναν πιο λεπτομερή τρόπο, οπότε και επιτρέπει μία πιο λεπτομερή και αντιπροσωπευτική αξιολόγηση δυνητικών ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών. Παρακάτω παρατίθεται

ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός τέτοιου πίνακα (*Πίνακας 1*), ο οποίος απεικονίζει μία υποθετική οικονομία, η οποία αποτελείται από τέσσερις οικονομικούς παράγοντες, ως εξής:

- «Παραγωγικές Δραστηριότητες» (“Activities”),
- «Συντελεστές Παραγωγής» (“Factors of production”),
- «Θεσμοί» (“Institutions”), όπως νοικοκυριά και κυβέρνηση,
- «Υπόλοιπο του Κόσμου» (ΥτΚ; “Rest of the World”).

Όπως απεικονίζεται σε αυτόν τον πίνακα, οι θεσμοί κατέχουν τους «συντελεστές παραγωγής» (εργασία, γη και κεφάλαιο), τους οποίους μεταφέρουν στις «παραγωγικές δραστηριότητες», εισπράττοντας την αντίστοιχη ανταμοιβή σε όρους εισοδήματος. Έπειτα, το εν λόγω εισόδημα χρησιμοποιείται από τους «θεσμούς» για την αγορά εγχώριων και εισαγόμενων τελικών προϊόντων. Οι «δραστηριότητες» χρησιμοποιούν τους «συντελεστές παραγωγής» που εξαγόρασαν, μαζί με πρώτες ύλες, για να παράξουν τελικά προϊόντα, όπου ένας μέρος αυτών των τελικών προϊόντων καταναλώνεται εγχώρια, ένα μέρος εξάγεται, και ένα μέρος χρησιμοποιείται σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή άλλων τελικών προϊόντων.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι ένας ΠΚΛ προσομοιώνει μία οικονομία σε ισορροπία, δηλαδή το συνολικό εισόδημα ενός οικονομικού παράγοντα ισούται με τις συνολικές δαπάνες που πραγματοποιεί, ή με άλλα λόγια η συνολική προσφορά (παραγωγή) ισούται με τη συνολική ζήτηση. Ως εκ τούτου, ο ΠΚΛ συχνά χαρακτηρίζεται και ως «τετραγωνικός» πίνακας, καθώς για κάθε οικονομικό παράγοντα αντιστοιχεί μία στήλη και μία γραμμή, όπου η στήλη προσομοιώνει τα έξοδά του και η γραμμή το εισόδημά του. Άρα, κάθε κελί σε αυτό τον πίνακα, περιγράφει μία μοναδική «συναλλαγή», η οποία αποτελεί έξοδο για τον οικονομικό παράγοντα της στήλης που εμπίπτει το κελί και έσοδο (δηλαδή είσπραξη του εξόδου) για τον οικονομικό παράγοντα που αντιστοιχεί στην αντίστοιχη γραμμή του εν λόγω κελιού. Κατ’ αυτό τον τρόπο, ένας ΠΚΛ, εκτός από την παροχή ποσοτικών δεδομένων για την εξεταζόμενη οικονομία, απεικονίζει τη δομή της, όπως τα μερίδια παραγωγής και εισαγωγών των απεικονιζόμενων τομέων της οικονομίας.

**Πίνακας 1:** Παράδειγμα «Πίνακα Κοινωνικής Λογιστικής» (ΠΚΛ).

ΠΚΛ	Προϊόντα	Δραστηριότητες	Συντελεστές Παραγωγής	Θεσμοί	Υπόλοιπο του Κόσμου	Σύνολο
Προϊόντα		Ενδιάμεση κατανάλωση		Κατανάλωση Θεσμών	Εξαγωγές	Ζήτηση
Δραστηριότητες	Εγχώρια Παραγωγή					Ακαθάριστη Παραγωγή
Συντελεστές Παραγωγής		Εισόδημα από συντελεστές παραγωγής			Εισόδημα συντελεστών παραγωγής από το ΥτΚ	Εισόδημα συντελεστών παραγωγής
Θεσμοί			Εισόδημα συντελεστών παραγωγής από θεσμούς		Μεταφορές σε θεσμούς από το ΥτΚ	Εισόδημα θεσμών
Υπόλοιπο του Κόσμου	Εισαγωγές		Διανομή των συντελεστών παραγωγής στο ΥτΚ	Μεταφορές από θεσμούς στο ΥτΚ		Πληρωμές στο ΥτΚ
Σύνολο	Προσφορά	Κόστος Παραγωγής	Έξοδα σε συντελεστές παραγωγής	Έξοδα Θεσμών	Εισόδημα από το ΥτΚ	

ΥτΚ: Υπόλοιπο του Κόσμου

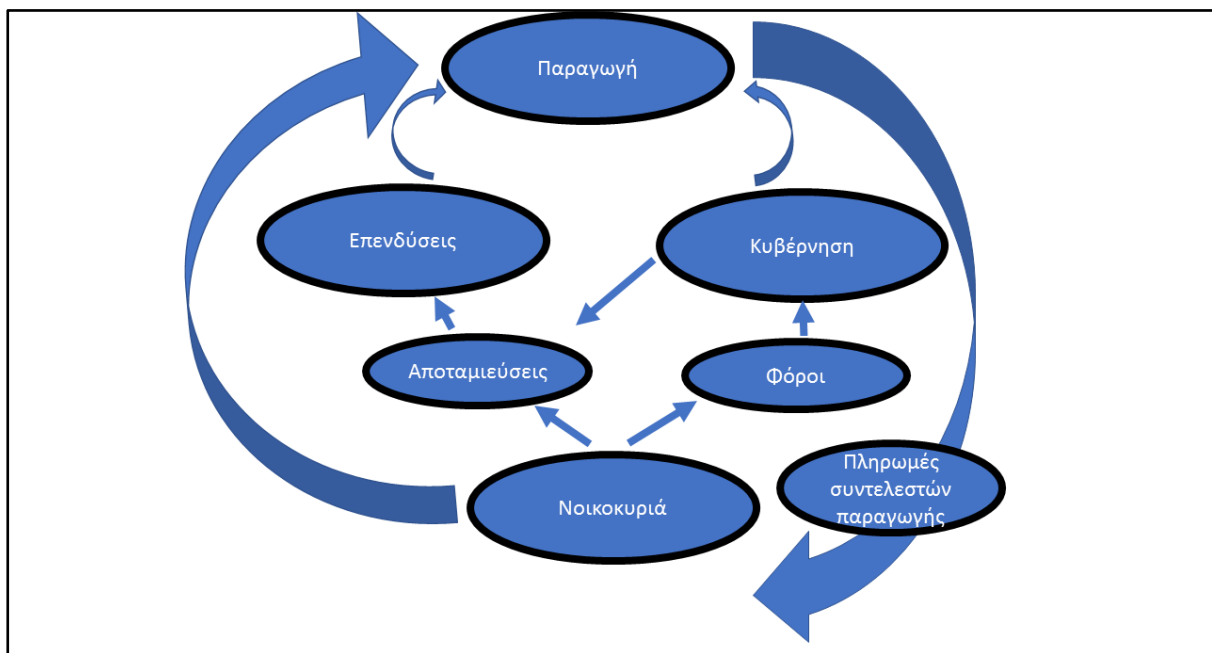
Συμπερασματικά, τα μοντέλα «Εισαγωγών-Εξαγωγών» είναι περισσότερο κατάλληλα για την αξιολόγηση ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών σε βραχυπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα, απεικονίζοντας με αποτελεσματικότερο τρόπο την τωρινή κατάσταση της οικονομίας (Catenzazi, 2009). Από την άλλη μεριά, όμως, παρουσιάζουν σημαντικές αδυναμίες στην προσομοίωση μακροχρόνιων «διαταραχών» στην οικονομία.

#### Μοντέλα «υπολογίσιμης γενικής οικονομικής ισορροπίας»/«γενικής ισορροπίας»

Τα μοντέλα «Υπολογίσιμης Γενικής Οικονομικής Ισορροπίας» ή πιο απλά «Γενικής Ισορροπίας», περιγράφουν τα κίνητρα και τη συμπεριφορά των κύριων οικονομικών παραγόντων της οικονομίας, δηλαδή των παραγωγών και των καταναλωτών της, όπως επίσης και τις μεταξύ τους σχέσεις, με τους καταναλωτές να στοχεύουν στη μεγιστοποίηση της ωφέλιμης αξίας τους (“utility”) και τους παραγωγούς στη μεγιστοποίηση των κερδών τους (Burfisher, 2017). Τα μοντέλα «Γενικής Ισορροπίας» προσομοιάζουν με τα μοντέλα «Εισροών-Εκροών», από την οπτική ότι στηρίζουν τους

υπολογισμούς τους σε ένα ΠΚΛ, ο οποίος αποτελεί τη βάση δεδομένων τους. Σε αντίθεση με αυτά, όμως, είναι σε θέση να αναλύσουν μεταβολές στο επίπεδο του δείκτη τιμών της αναλυόμενης οικονομίας και να παράσχουν μακροπρόθεσμες εκτιμήσεις (M. A. Herbst et al., 2012). Η **Εικόνα 5** παρουσιάζει τον τρόπο που η εν λόγω κατηγορία μοντέλων απεικονίζει τις κυκλικές ροές εισοδήματος και εξόδων σε μία εθνική οικονομία (Burfisher, 2017).

**Εικόνα 5:** Τρόπος απεικόνισης των κυκλικών ροών εισοδήματος και εξόδων σε μία εθνική οικονομία, από τα μακροοικονομικά μοντέλα «γενικής ισορροπίας».



Τα μοντέλα «Γενικής Ισορροπίας» συνήθως υπολογίζουν την κατάσταση ισορροπίας για την υπό εξέταση οικονομία και τους κύριους παράγοντές της με ένα ντετερμινιστικό τρόπο. Ωστόσο, υπάρχουν παραλλαγές αυτών των μοντέλων, που υπολογίζουν την κατάσταση ισορροπίας ενσωματώνοντας μία στοχαστικότητα. Τα εν λόγω μοντέλα, που ενσωματώνουν τη διάσταση της στοχαστικότητας, μπορούν να προσομοιώσουν με έναν αποτελεσματικότερο και πιο ρεαλιστικό τρόπο την προσομοίωση «οικονομικών κύκλων» (“business cycles”) και «κυκλικών διακυμάνσεων» (“cyclical effects”) της οικονομίας (Khansari, 2015; Perali and Scandizzo, 2016). Η κύρια κριτική που ασκείται για τα μοντέλα «Γενικής Ισορροπίας», στηρίζεται στην πολύπλοκη δομή τους και στην υψηλή εξάρτησή τους από τις παραμέτρους «ελαστικότητας» που χρησιμοποιούνται σε αυτά (Doukas et al., 2018; Nilsson, 2018), οι οποίες περιγράφουν τη συμπεριφορά των παραγόντων της εξεταζόμενης οικονομίας.

Τα εν λόγω μοντέλα χρησιμοποιούνται για την εξέταση των επιπτώσεων για την εξεταζόμενη οικονομία, για την περίπτωση της πραγματοποίησης μίας σειράς γεγονότων. Οπότε, στον πυρήνα

τους βρίσκεται η ανάλυση σεναρίων που περιλαμβάνουν την πραγματοποίηση συγκεκριμένων υποθέσεων (“what-if scenarios”). Συγκεκριμένα, στην αρχική κατάσταση, τα εν λόγω μοντέλα παραμετροποιούνται με σκοπό την απεικόνιση της εξεταζόμενης οικονομίας σε κατάσταση ισορροπίας και για ένα συγκεκριμένο έτος αναφοράς. Τα δεδομένα παρέχονται με τη μορφή ενός ΠΚΛ, η λειτουργία και τα δεδομένα των οποίων αναλύθηκαν ενδελεχώς παραπάνω. Τα μοντέλα «Γενικής Ισορροπίας», με την αναπαραγωγή του ΠΚΛ, ενσωματώνουν την ιδιοσυγκρασία της αναλυόμενης οικονομίας και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της.

Τα μοντέλα «Γενικής Ισορροπίας», ανάλογα με τον τρόπο που ενσωματώνουν τη διάσταση του χρόνου, μπορούν να ταξινομηθούν σε «στατικά» ή «δυναμικά» μοντέλα «Γενικής Ισορροπίας». Ένα «στατικό» μοντέλο «Γενικής Ισορροπίας» παράσχει μία συγκριτική αξιολόγηση της κατάστασης της οικονομίας, όπως αυτή αποτυπώνεται, πριν την επιβολή της υπό εξέταση «διαταραχής», και της αντίστοιχης κατάστασής της μετά από αυτήν, η οποία ενσωματώνει και τις επιδράσεις της επιβληθείσας «διαταραχής». Είναι προφανές, ότι οι διαφορές που παρουσιάζει η κατάσταση της οικονομίας μετά την επιβολή της διαταραχής, σε σύγκριση με την κατάστασή της πριν από αυτή, απεικονίζουν και τις καθαρές επιπτώσεις της/των υπό εξέταση «διαταραχής/ών».

Παραδείγματος χάριν, κατά την επιβολή ενός νέου φόρου, η κατάσταση της οικονομίας πριν από την επιβολή αυτού του φόρου, συγκρίνεται με την αντίστοιχη κατάστασή της μετά από αυτή, η οποία ενσωματώνει τις μεταβολές που προκαλούνται από την αναδιανομή των συντελεστών παραγωγής με έναν περισσότερο ή λιγότερο αποδοτικό τρόπο, ανάλογα με το είδος του φόρου και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε οικονομίας. Άρα, η εν λόγω υποκατηγορία των μοντέλων «Γενικής Ισορροπίας», δεν περιλαμβάνει τη διάσταση του χρόνου στην ανάλυση που πραγματοποιούν. Στον αντίποδα, τα «δυναμικά» μοντέλα «Γενικής Ισορροπίας» ενσωματώνουν τη διάσταση του χρόνου και παράγουν τα αποτελέσματά τους συναρτήσει αυτού.

Συγκεκριμένα, η εν λόγω υποκατηγορία των μοντέλων «Γενικής Ισορροπίας» ενσωματώνει την επίδραση που προκαλείται από τη «συσσώρευση» των συντελεστών παραγωγής και την αύξηση της παραγωγικότητας. Επομένως, τα «δυναμικά» μοντέλα «Γενικής Ισορροπίας» είναι σε θέση να περιγράψουν την επίπτωση μία «διαταραχής» σε σύγκριση με το βασικό σενάριο αναφοράς (“business-as-usual scenario”) — δηλαδή την κατάσταση της οικονομίας για την περίπτωση της μη επιβολής κάποιας διαταραχής— για κάθε ένα έτος του χρονικού ορίζοντα της ανάλυσης.

Κατά συνέπεια, τα «στατικά» μοντέλα «Γενικής Ισορροπίας», μπορούν να δώσουν μία χαρακτηριστική εικόνα σχετικά με τους τελικούς «νικητές» ή «ηττημένους» μίας εξεταζόμενης ηλεκτροπαραγωγικής πολιτικής. Ωστόσο, το χαρακτηριστικό τους μειονέκτημα είναι ότι δεν μπορούν να περιγράψουν το μονοπάτι μέσω του οποίου η οικονομία μεταβαίνει από την αρχική στην τελική κατάσταση ισορροπίας. Η συγκεκριμένη πτυχή της ανάλυσης, μπορεί να υλοποιηθεί από τη

«δυναμική» έκδοση των μοντέλων «Γενικής Ισορροπίας», η οποία μπορεί να απεικονίσει ενδεχόμενες αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να περιλαμβάνει η μετάβαση από την αρχική στην τελική κατάσταση ισορροπίας στο μεσοδιάστημα και οι οποίες δεν μπορούν απεικονισθούν από ένα «στατικό» μοντέλο «Γενικής Ισορροπίας».

Μία ακόμη κατηγοριοποίηση των μοντέλων «Γενικής Ισορροπίας», η οποία μπορεί να λάβει χώρα με γνώμονα τη γεωγραφική κλίμακα στην οποία αναφέρονται τα μοντέλα, είναι αυτή που τα διαχωρίζει σε μοντέλα «μίας χώρας» (“single-country”) και σε μοντέλα «πολλών χωρών» (“multi-country”; Burfisher, 2017). Τα μοντέλα «μίας χώρας» περιγράφουν λεπτομερώς μία χώρα ή γεωγραφική περιοχή, με μία απλοϊκή αντιμετώπιση των εισαγωγών και εξαγωγών της. Στον αντίποδα, τα μοντέλα «πολλών χωρών» προσομοιώνουν δύο ή περισσότερες χώρες ή γεωγραφικές περιοχές και περιγράφουν λεπτομερώς τις οικονομίες τους, με τις περιγραφόμενες οικονομίες σ’ αυτή την περίπτωση να συνδέονται μεταξύ τους μέσω εμπορικών σχέσεων και μερικές φορές μέσω ροών κεφαλαίου και εργασίας.

Η ανάλυση συγκεκριμένων σεναρίων από μοντέλα «Γενικής Ισορροπίας» λαμβάνει χώρα με την μεταβολή μίας ή περισσότερων εξωγενών μεταβλητών των μοντέλων, δηλαδή μεταβλητών των οποίων οι τιμές θεωρούνται σταθερές στο αρχικό τους επίπεδο και δεν μεταβάλλονται όταν το μοντέλο υπολογίζει μία καινούρια κατάσταση ισορροπίας, παρά μόνο όταν διαφοροποιούνται εξωγενώς από τον εκτελούντα την ανάλυση. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων μεταβολών αποτελούν η επιβολή ενός φόρου στη χρήση «άνθρακα» ή αύξηση ενός φόρου, όπου οι μεταβολές αυτές υλοποιούνται σαν «διαταραχές» για την εξεταζόμενη οικονομία. Σαν αποτέλεσμα αυτών των μεταβολών, μία αρχική κατάσταση ισορροπίας «διαταράσσεται», οδηγώντας το μοντέλο να υπολογίσει μία νέα κατάσταση ισορροπίας, ή μια σειρά από καταστάσεις ισορροπίας αν πρόκειται για «δυναμικό» μοντέλο.

Για κάθε μία κατάσταση ισορροπίας, τα μοντέλα «Γενικής Ισορροπίας» υπολογίζουν μία σειρά από ενδογενείς μεταβλητές, δηλαδή μεταβλητές των οποίων οι τιμές καθορίζονται σαν λύσεις των εξισώσεων του μοντέλου. Συνήθη παραδείγματα τέτοιου είδους μεταβλητών, αποτελούν το ύψος της διατομεακής παραγωγής, οι τιμές προϊόντων, το ύψος των εισαγωγών και εξαγωγών, το ΑΕΠ, το εισόδημα των νοικοκυριών κλπ. Οι προκύπτουσες τιμές αυτών των μεταβλητών στη νέα κατάσταση ισορροπίας, στη συνέχεια συγκρίνονται με την τιμή τους στην αρχική κατάσταση ισορροπίας. Η παρατηρούμενη διαφορά μεταξύ αυτών των δύο τιμών, χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η επίδραση της υπό εξέταση πολιτικής.

Η κατάσταση ισορροπίας προκύπτει από τη λύση μίας σειράς εξισώσεων. Τα περισσότερα μοντέλα «Γενικής Ισορροπίας» διακρίνουν τρεις καταστάσεις ισορροπίας, ως εξής (Boehringer et al., 2021):



- «Μηδενικού κέρδους» (“zero profit”), κατά την οποία κανένας παραγωγός δεν αποκομίζει «πλεονάζον» κέρδος, δηλαδή το κόστος παραγωγής μίας μονάδας προϊόντος πρέπει να είναι μικρότερο από τα έσοδα που προκύπτουν από την πώληση αυτής της μονάδας προϊόντος.
- «Εξισορρόπηση της αγοράς» (“market clearance”), κατά την οποία η ζήτηση για ένα προϊόν δεν μπορεί να ξεπεράσει την αντίστοιχη προσφορά του προϊόντος στην εξεταζόμενη οικονομία.
- «Ισορροπία εισοδήματος» (“income balance”), κατά την οποία το εισόδημα ισοζυγεί με τα έξοδα.

Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο εισόδου για αυτού του είδους τα μοντέλα, αποτελούν οι τιμές των «ελαστικότητων υποκατάστασης» (“substitution elasticities”), οι οποίες χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις αυτής της κατηγορίας μοντέλου. Αυτές οι παράμετροι συμβολίζουν τις συμπεριφορικές αντιδράσεις των παραγωγών και καταναλωτών της εξεταζόμενης οικονομίας, στις αλλαγές των τιμών της οικονομίας. Οι τιμές τους καθορίζονται με βάση την γεωγραφική περιοχή την οποία καλούνται να απεικονίσουν, δηλαδή με άλλα λόγια, είναι εξαρτώμενες από την περιοχή ή χώρα αναφοράς.

Για παράδειγμα, κατά την επιβολή ενός φόρου στη χρήση «άνθρακα», το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού και κατ’ επέκταση η τιμή του ηλεκτρισμού για τους ενδιαμέσους και τελικούς καταναλωτές αυξάνεται. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα, τη μείωση τόσο της ενδιάμεσης, όσο και της τελικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Το ύψος της μείωσης, όμως, που θα παρατηρηθεί σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι διαφορετικό από περίπτωση σε περίπτωση. Για παράδειγμα, οι καταναλωτές στην Ελλάδα θα αντιδράσουν με διαφορετικό τρόπο από τους αντίστοιχους καταναλωτές μίας άλλης χώρας. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων συνήθως καθορίζονται από βιβλιογραφική επισκόπηση, από γνωμοδότηση ειδικών, ή από τις τιμές που χρησιμοποιήθηκαν σε παρόμοια μοντέλα που αναφέρονται στην ίδια χώρα ή σε χώρα με παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτήν που εξετάζεται.

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, η αξιολόγηση μίας πολιτικής με ένα μοντέλο «Γενικής Ισορροπίας» περιλαμβάνει τα ακόλουθα πέντε βασικά βήματα:

- Στο πρώτο βήμα, γίνεται η συλλογή όλων των απαραίτητων δεδομένων εισόδου για το μοντέλο, μέσω των οποίων το μοντέλο αναπαράγει την οικονομία ενδιαφέροντος στην αρχική κατάσταση ισορροπίας και για το έτος στο οποίο αναφέρονται τα δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά συνήθως αφορούν έναν ΠΚΛ και τις τιμές των ελαστικότητων υποκατάστασης, με βάση τα χαρακτηριστικά της υπό εξέταση οικονομίας. Η σχετική διαδικασία δύναται να περιλαμβάνει και τροποποιήσεις σε αυτά τα δεδομένα, όπως την ανανέωσή τους με σκοπό να συμβολίζουν την οικονομία αναφοράς για ένα μεταγενέστερο έτος από αυτό που αναφέρονταν αρχικά. Για το σκοπό αυτό, τα

δεδομένα ενός ΠΚΛ μπορεί να συνδυαστούν με άλλα δεδομένα μεταγενέστερου έτους αναφοράς, όπως εθνικούς λογαριασμούς, ισοζύγιο πληρωμών μεταξύ των κύριων παραγόντων της οικονομίας, εμβάσματα κλπ. Μέσω αυτής της σύζευξης των δεδομένων, το στιγμιότυπο της οικονομίας αναφοράς που παρέχεται σε ένα μοντέλο «Γενικής Ισορροπίας», μετατρέπεται σε ένα πιο χαρακτηριστικό στιγμιότυπο της οικονομίας ενδιαφέροντος, το οποίο είναι πιο κοντά στη χρονική στιγμή που πραγματοποιείται η ανάλυση, αυξάνοντας την αντιπροσωπευτικότητά της. Επίσης, μία άλλη κατηγορία σημαντικών δεδομένων που συλλέγονται σε αυτό το βήμα, είναι αυτά των μακροοικονομικών και δημογραφικών προβλέψεων, μέσω των οποίων το μοντέλο είναι σε θέση να αναπαράξει την εξέλιξη τη οικονομίας ενδιαφέροντος για τα μελλοντικά έτη.

- Στο *δεύτερο* βήμα, τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται και διαχειρίζονται στο πρώτο βήμα της ανάλυσης, παρέχονται στο μοντέλο, με σκοπό εκείνο να «αναπαράξει» την οικονομία ενδιαφέροντος σε κατάσταση ισορροπίας, αρχικά για το έτος αναφοράς (το έτος που αναφέρονται τα δεδομένα) και μετέπειτα για τα μελλοντικά χρόνια, με βάση τις μακροοικονομικές και δημογραφικές προβλέψεις. Οπότε, συνολικά το μοντέλο με βάση αυτά τα δεδομένα, αναπαράγει το «μονοπάτι» που η οικονομία ενδιαφέροντος αναμένεται να διανύσει χωρίς την επιβολή κάποιας εξωτερικής πολιτικής ή την πραγματοποίηση κάποιου εξωγενούς γεγονότος (σενάριο αναφοράς).
- Κατά το *τρίτο* βήμα, πραγματοποιούνται οι υποθέσεις αναφορικά με το πως η/οι υπό αξιολόγηση πολιτική/ές αναμένεται να επηρεάσει/σουν την οικονομία ενδιαφέροντος. Αυτό γίνεται με τον υπολογισμό των «διαταραχών» που αναμένεται αυτές οι πολιτικές να έχουν στην ευρύτερη οικονομία ή σε συγκεκριμένους κλάδους της οικονομίας. Συνήθως για το σκοπό αυτό, όταν πρόκειται για μία ηλεκτροπαραγωγική πολιτική, οι «διαταραχές» αυτές υπολογίζονται από κάποιο άλλο μοντέλο με μεγαλύτερη εστίαση στον ηλεκτροπαραγωγικό.
- Στο *τέταρτο* βήμα, οι υπολογισθείσες «διαταραχές» για την ευρύτερη οικονομία από το τρίτο βήμα, εφαρμόζονται στο μοντέλο, μέσω της αλλαγής της τιμής μίας ή περισσότερων εξωγενών μεταβλητών. Σε περίπτωση που η μεταβλητή ενδιαφέροντος αποτελεί ενδογενή μεταβλητή για το μοντέλο, για να μπορέσει να εφαρμοσθεί η «διαταραχή» ενδιαφέροντος, θα πρέπει να γίνει η «ανταλλαγή» της με μία ενδογενή μεταβλητή, δηλαδή να γίνει αυτή εξωγενής μεταβλητή στη θέση μίας άλλης ενδογενούς μεταβλητής. Αυτό γίνεται, καθώς σε ένα μοντέλο «Γενικής Ισορροπίας» μπορεί να υπάρξουν συγκεκριμένος αριθμός ενδογενών μεταβλητών, ο οποίος είναι υποχρεωτικά

ίσος με τον αριθμό των εξισώσεων του μοντέλου, καθώς σε διαφορετική περίπτωση, είτε δεν θα υπήρχε λύση (περισσότερες ενδογενείς μεταβλητές από τις εξισώσεις του μοντέλου — «αδύνατο πρόβλημα»), είτε θα υπήρχαν άπειρες λύσεις (λιγότερες ενδογενείς μεταβλητές από τις εξισώσεις του μοντέλου — «αόριστο πρόβλημα»).

- Στο πέμπτο και τελικό βήμα της ανάλυσης, το «μονοπάτι» που διέρχεται η οικονομία ενδιαφέροντος με βάση το βασικό σενάριο εξέλιξής της και εν τη απουσία κάθε είδους εξωγενούς παρέμβασης, συγκρίνεται με το αντίστοιχο «μονοπάτι» που διέρχεται για την περίπτωση που εφαρμόζονται συγκεκριμένες πολιτικές. Η εν λόγω σύγκριση υποδεικνύει και τις επιδράσεις της/των υπό εξέταση πολιτική/ών.

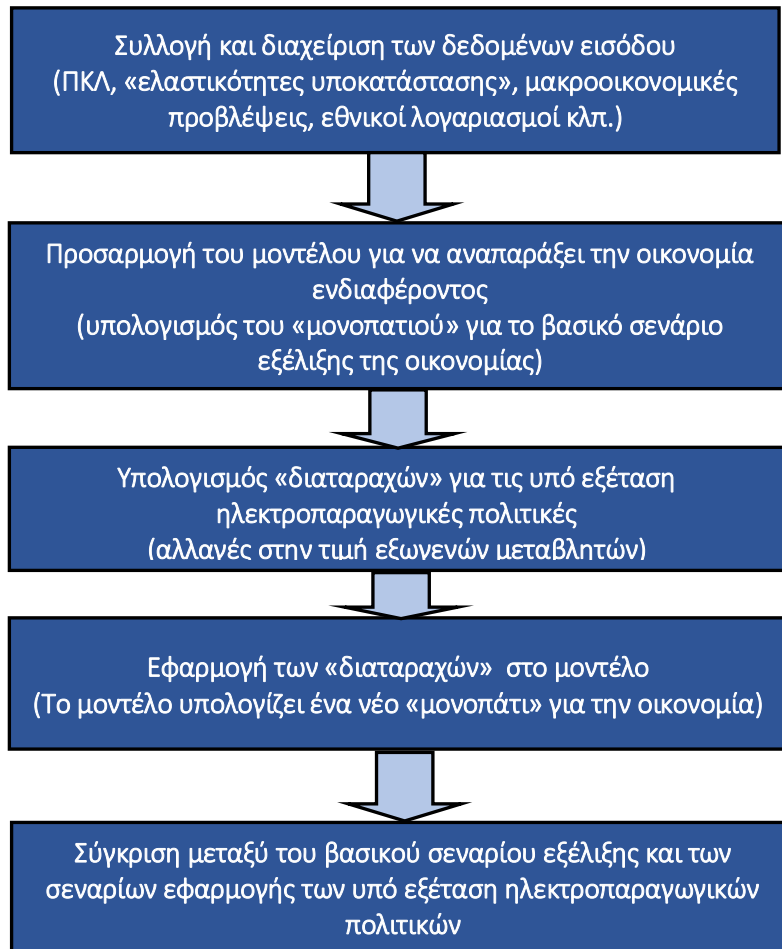
Τα βήματα που περιγράφησαν παραπάνω για την αξιολόγηση μίας πολιτικής με ένα μοντέλο «Γενικής Ισορροπίας», απεικονίζονται συνοπτικά και στο [Σχήμα 1](#).

Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, τα μοντέλα «Γενικής Ισορροπίας» απαιτούν τη συλλογή μίας σημαντικής ποσότητας δεδομένων για να αναπαράξουν την οικονομία ενδιαφέροντος. Η συλλογή αυτού του είδους των δεδομένων από τον διενεργούντα την ανάλυση είναι μία χρονοβόρος και πολύπλοκη διαδικασία. Για το σκοπό αυτό, έχουν δημιουργηθεί ειδικές βάσεις δεδομένων, οι οποίες παράσχουν αυτής της μορφής τα δεδομένα.

Η πιο γνωστή από αυτές, είναι η βάση δεδομένων “*Global Trade Analysis Project*” (GTAP; Aguiar et al., 2019, 2016), η οποία διαθέτει πάνω από 17000 χρήστες παγκοσμίως. Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων είναι παγκόσμιας κλίμακας, τόσο όσον αφορά τις χώρες που περιλαμβάνει, όσο και την κλίμακα των ερευνητών και αναλυτών από όλο τον κόσμο που χρησιμοποιούν τα δεδομένα της. Η συγκεκριμένη βάση περιγράφει τις διμερείς εμπορικές συναλλαγές, καθώς και την παραγωγή, κατανάλωση και ενδιάμεση χρήση των προϊόντων και υπηρεσιών που περιλαμβάνει. Η τελευταία έκδοση της εν λόγω βάσης δεδομένων (έκδοση 11), παράσχει δεδομένα για την παγκόσμια οικονομία και για 456 χώρες συνολικά για τα ακόλουθα έτη αναφοράς: 2004, 2007, 2011, 2014 και 2017.

Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων έχει ευρέως χρησιμοποιηθεί από οργανισμούς και θεσμούς σε όλο τον κόσμο για την αξιολόγηση ενεργειακών, περιβαλλοντικών, δημοσιονομικών, και άλλων πολιτικών. Η εν λόγω βάση δεδομένων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από έναν αναλυτή μέσω της πληρωμής κάποιου αντιτίμου, το οποίο διαφοροποιείται ανάλογα με την περιοχή που προέρχεται ο αναλυτής και την απασχόλησή του. Παρέχεται ωστόσο δωρεάν, σε όσους έχουν συνεισφέρει δεδομένα στη βάση, όπως παραδείγματος χάριν τα δεδομένα μία συγκεκριμένης χώρας, η οποία είτε δεν περιλαμβανόταν σε προηγούμενες εκδόσεις ή απεικονιζόταν στο πλαίσιο ενός ευρύτερου γεωγραφικού συνασπισμού.

*Σχήμα 1: Ακολουθούμενα βήματα για τη μακροοικονομική αξιολόγηση μίας ηλεκτροπαραγωγικής πολιτικής με ένα μοντέλο "Γενικής Ισορροπίας".*



#### Οικονομετρικά μοντέλα

Τα Οικονομετρικά μοντέλα υπολογίζουν τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών ενδιαφέροντος με ένα στατιστικό τρόπο, χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα. Αν και εκ φύσεως τα εν λόγω μοντέλα στηρίζονται περισσότερο στην ανάλυση δεδομένων σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες μακροοικονομικών μοντέλων, συχνά αντιμετωπίζονται με δυσπιστία. Αυτό συμβαίνει, καθώς η ανάλυση πολιτικών δεν πρέπει να βασίζεται μόνο σε παρελθόντα δεδομένα (Brunner and Meltzer, 1983). Ως συνέπεια, τα εν λόγω μοντέλα συνήθως χρησιμοποιούνται για να παράσχουν βραχυπρόθεσμες προβλέψεις και λειτουργούν σαν βάση για τη δημιουργία μακροχρόνιων μοντέλων. Παρά το γεγονός ότι επιπλέον τροποποιήσεις θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε αυτού του είδους τα μοντέλα για την αντιμετώπιση των μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν, συνήθως δε χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση μακροχρόνιων ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών.

### Μοντέλα «δυναμικών συστημάτων»

Τα μοντέλα «Δυναμικών Συστημάτων» εγκαθιδρύουν κανόνες για να εξηγήσουν τη συμπεριφορά των κύριων εμπλεκόμενων της εξεταζόμενης οικονομίας και παράγουν τα αποτελέσματά τους σύμφωνα με αυτούς τους κανόνες, λαμβάνοντας υπόψιν δυναμικές αλλαγές οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια των χρόνων (Krook-Riekkola et al., 2017). Το κύριο μειονέκτημά τους, εντοπίζεται στο ότι η εστίασή τους είναι περιορισμένου εύρους. Οπότε, η συγκεκριμένη κατηγορία μοντέλων δεν θεωρείται ως η πλέον κατάλληλη για να απαντήσει σε ερωτήσεις που αφορούν ολόκληρη την οικονομία (Helgesen, 2013).

### Αξιολόγηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων

Δεδομένης της επικράτησης των μακροοικονομικών μοντέλων —και δη των μοντέλων «γενικής ισορροπίας»— στην ανάλυση πολιτικών, ένα σημαντικό βήμα είναι η διεξαγωγή μίας ποσοτικής αξιολόγησης της ακρίβειας με την οποία το χρησιμοποιούμενο μακροοικονομικό μοντέλο, μπορεί να απαντήσει με ακρίβεια την ερώτηση που τίθεται στο πλαίσιο της διενεργούμενης ανάλυσης (Kehoe, 2005). Αυτό το είδος της ανάλυσης, μπορεί αφενός να οδηγήσει στη βελτίωση της ακρίβειας των μοντέλων, και αφετέρου να ενημερώσει τους αποφασίζοντες σχετικά με το βαθμό αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων τους, όπως επίσης και τα όρια και περιορισμούς της διαδικασίας μοντελοποίησης (Fox et al., 2017), και συνεπακόλουθα να τους διαφωτίσει σχετικά το με το σε τι βαθμό μπορούν να στηριχτούν σε αυτά, για τις αποφάσεις που καλούνται να πάρουν.

Για τη διενέργεια αυτού του είδους της ανάλυσης, είναι απαραίτητη η επιλογή συγκεκριμένων παρελθοντικών γεγονότων/συμβάντων, με τα οποία τα αποτελέσματα του μοντέλου θα συγκριθούν ή/και η συλλογή στατιστικών δεδομένων που το μοντέλο θα κληθεί να αναπαράξει. Στο ίδιο πλαίσιο, είναι απαραίτητη η επιλογή ενός μέτρου μέτρησης της ακρίβειας, με το οποίο θα ποσοτικοποιηθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του μοντέλου, με βάση τα πραγματικά δεδομένα (Koutsandreas et al., 2021b).

Σε αυτό το πλαίσιο, ο Kehoe et. al. (2005) τονίζει την ανάγκη της αξιολόγησης των μοντέλων «γενικής ισορροπίας», μέσω της σύγκρισης των αποτελεσμάτων τους με πραγματικά δεδομένα. Μία πρακτική προσέγγιση για αυτό το σκοπό, αποτελεί η αξιολόγηση της επίδοσης των μοντέλων «γενικής ισορροπίας» μέσω ιστορικών προβλέψεων (“historical forecasting”; Kehoe, 2005). Με αυτή την προσέγγιση, το μοντέλο παραμετροποιείται με πραγματικά δεδομένα μέχρι ενός κάποιου σημείου  $T_0$  στο παρελθόν, χρησιμοποιώντας το μοντέλο με αυτή τη ρύθμιση για το υπολογισμό των μεταβλητών ενδιαφέροντος για το χρονικό σημείο  $T_1$ , το οποίο είναι χρονικά ύστερα από το  $T_0$ , αλλά αποτελεί και αυτό παρελθοντικό χρονικό σημείο. Συνήθως το  $T_0$  επιλέγεται, επειδή κάποιο σημαντικό γεγονός συνέβη σε αυτό το σημείο, ενώ το  $T_1$  επειδή τα αποτελέσματα αυτού του γεγονότος αναμένεται να έχουν γίνει πλήρως αισθητά μέχρι τότε. Είναι προφανές ότι η επιλογή πολλαπλών  $T_1$

ημερομηνιών, μπορεί να λειτουργήσει σαν ένας επιπλέον έλεγχος ευρωστίας του μοντέλου, άρα και συνιστάται.

Στον αντίποδα, με τη διαδικασία “backcasting”, το μοντέλο παραμετροποιείται με βάση τωρινά δεδομένα, και έπειτα επιχειρείται η ακριβής πρόβλεψη του παρελθόντος. Το “backcasting” μπορεί να εφαρμοσθεί κατά έναν ευκολότερο τρόπο, επειδή μπορεί στηρίζεται στη χρήση ενός μοντέλου ρυθμισμένου στα τωρινά δεδομένα, χωρίς την ανάγκη της επαναρύθμισής του με ιστορικά δεδομένα, όπως απαιτείται κατά τη διαδικασία των ιστορικών προβλέψεων. Για παράδειγμα, κατά το “backcasting”, ένα μοντέλο χρησιμοποιείται για να προβλέψει την οικονομία κατά το έτος 1990, συγκρίνοντας τα αποτελέσματά του μοντέλου με τα πραγματικά δεδομένα για αυτό το έτος, με σκοπό να αξιολογηθεί η ευρωστία των αποτελεσμάτων του.

Σε αυτή τη διαδικασία, αποτελεί σημαντική παράμετρο, η επιλογή των μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση της οικονομίας στο παρελθόν —δηλαδή που θα αποτελέσουν τις εξωγενείς μεταβλητές— και αυτές επί των οποίων θα πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση της ακρίβειας του μοντέλου, δηλαδή που θα αποτελέσουν τις μεταβλητές-στόχους (Liu, Jing; Arndt, 2004), και άρα θα είναι ενδογενείς μεταβλητές για το μοντέλο. Είναι προφανές ότι οι μεταβλητές-στόχοι, θα πρέπει να είναι αυτές που θα αποτελέσουν τις βασικές μεταβλητές και για τις οποίες ο αναλυτής επιθυμεί να λάβει εύρωστη και ακριβή πληροφορία, στο πείραμα που θα ακολουθήσει, άμα την ολοκλήρωση της εξέτασης της ακρίβειας του μοντέλου.

Μια εναλλακτική προσέγγιση —σε σχέση με αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω— για την αξιολόγηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων ενός μακροοικονομικού μοντέλου, αποτελεί η περίπτωση κατά την οποία το μοντέλο χρησιμοποιείται μαζί με δεδομένα, για την ανάλυση ιστορικών αλλαγών στα δεδομένα. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται «εκ των υστέρων αποσύνθεση» (“ex-post decomposition”). Στην εν λόγω διαδικασία, οι παράμετροι του μοντέλου υπολογίζονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το μοντέλο να παράγει ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα με τα ιστορικά δεδομένα, μεταξύ δύο περιόδων αναφοράς (αρχική και τελική κατάσταση), ενώ συχνά οι παράμετροι επιτρέπονται να μεταβάλλονται μεταξύ αυτών των δύο χρονικών σημείων.

Η κύρια διαφορά μεταξύ της «εκ των υστέρων αποσύνθεσης» και της ιστορικής πρόβλεψης (“historical forecasting”), είναι ότι κατά τη διάρκεια της πρώτης, όλα τα ιστορικά δεδομένα χρησιμοποιούνται για την παραμετροποίηση του μοντέλου, ενώ στην ιστορική πρόβλεψη, χρησιμοποιούνται μόνο τα δεδομένα μέχρι ενός σημείου στο παρελθόν, και τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων του μοντέλου. Οπότε, στην «εκ των υστέρων αποσύνθεση» οι αλλαγές στις κύριες παραμέτρους και μεταβλητές του μοντέλου μεταξύ των περιόδων  $T_0$  και  $T_1$ , παρέχουν μία εξήγηση για το πως η οικονομία μεταφέρθηκε από την κατάσταση της στο  $T_0$ , στην αντίστοιχη κατάσταση της στο χρονικό σημείο  $T_1$ . Ωστόσο, αυτή η

προσέγγιση περιέχει τον κίνδυνο ότι μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα, στην περίπτωση που το μοντέλο δεν παρουσιάζει ένα ικανοποιητικό βαθμό ευρωστίας.

Σε αυτό το πλαίσιο, έχουν υπάρξει μελέτες, οι οποίες μέσω της αξιολόγησης της ακρίβειας των αποτελεσμάτων ενός μοντέλου «γενικής ισορροπίας», έχουν καταλήξει ότι η μεταβολή των παραμέτρων του μοντέλου από την αρχική τιμή τους, μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων του. Για παράδειγμα, ο Hertel (1996) κατέληξε ότι η μεταβολή κατά 20% των παραμέτρων ελαστικότητας, αυξάνει την ακρίβεια ενός μοντέλου «γενικής ισορροπίας», όταν ο χρονικός ορίζοντας της ανάλυσης κυμαίνεται σε επίπεδο δεκαετίας. Αξίζει να σημειωθεί, όμως, ότι δεδομένων των ιδιαιτεροτήτων κάθε ανάλυσης, όσο και των περιοχών οι οποίες εξετάζονται, θα πρέπει το βέλτιστο ύψος της μεταβολής να καθορίζεται και αξιολογείται ανά περίπτωση από το μελετητή, άρα να μην υιοθετούνται βέλτιστα επίπεδα που αναφέρονται στη βιβλιογραφία με έναν άκριτο τρόπο.

### 2.1.1.2 Ενεργειακά μοντέλα

Τα διαθέσιμα ενεργειακά μοντέλα με βάση τα οποία μπορεί να υλοποιηθεί η ανάλυση «από τη βάση προς την κορυφή» των ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες (Helgesen, 2013):

- «Μοντέλα Βελτιστοποίησης» (“*Optimization models*”);
- «Μοντέλα Προσομοίωσης» (“*Simulation models*”);
- «Λογιστικά Μοντέλα» (“*Accounting models*”);
- «Μοντέλα Πολλαπλών Παραγόντων» (“*Multi-agent models*”).

Τα «Μοντέλα Βελτιστοποίησης», όπως το TIMES/MARKAL (“*Integrated MARKAL-EFOM2 System*”), το PRIMES (“*Price-Induced Market Equilibrium System*”), το OSeMOSYS (“*Open Source energy MOdelling SYStem*”), το MESSAGE και το TEMOA, προσπαθούν να εντοπίσουν τον αποδοτικότερο τρόπο σε όρους ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, με τον οποίο μπορεί να παραχθεί η απαιτούμενη ποσότητα ηλεκτρισμού, για το εξεταζόμενο ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα, δεδομένων των περιορισμών που υπάρχουν. Κατ’ αυτό τον τρόπο, εντοπίζουν το βέλτιστο συνδυασμό των διαθέσιμων ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένων τόσο αυτών που χρησιμοποιούνται ήδη, όσο και αυτών που μπορούν να εισέλθουν μελλοντικά στο ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα της χώρας ή περιοχής ενδιαφέροντος (Helgesen, 2013; A. Herbst et al., 2012).

Τα «μοντέλα προσομοίωσης», όπως το ENPEP και το INFORSE, στοχεύουν στο να αναπαράξουν διαδοχικούς κανόνες οι οποίοι περιγράφουν τις διασυνδέσεις μεταξύ των στοιχείων του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος της αναλυόμενης χώρας ή περιοχής (A. Herbst et al., 2012). Τα «Λογιστικά Μοντέλα», όπως το MURE και το MAED, είναι λιγότερο δυναμικά σε σχέση με τα άλλα

διαθέσιμα ενεργειακά μοντέλα, ωστόσο, δεν λαμβάνουν υπόψιν τους τη διάσταση των ενεργειακών τιμών, κάτι το οποίο περιορίζει σημαντικά την ποιότητα της ανάλυσης. Τα εν λόγω μοντέλα, εφαρμόζουν κυρίως εξωγενείς υποθέσεις σχετικά με τις τεχνολογικές εξελίξεις. Τέλος, τα «Μοντέλα Πολλαπλών Παραγόντων», όπως το LIBEMOD και το MULTI-MOD, είναι μία ευρύτερη κατηγορία «Μοντέλων Βελτιστοποίησης», καθώς λαμβάνουν υπόψιν την ταυτόχρονη βελτιστοποίηση περισσότερων παραγόντων. Συγκεκριμένα, η εν λόγω κατηγορία ενεργειακών μοντέλων λαμβάνει υπόψιν ατέλειες και δυσλειτουργίες (“imperfections”) της αγοράς, όπως στρατηγική συμπεριφορά, ασύμμετρη πληροφορία και άλλες μη-οικονομικές επιδράσεις (Helgesen, 2013; A. Herbst et al., 2012).

Αν και υπάρχουν διάφορες εναλλακτικές ενεργειακών μοντέλων, για την ενδελεχή εξέταση των τεχνολογικών διαστάσεων και αλληλεπιδράσεων του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα ενεργειακά «από τη βάση προς την κορυφή» μοντέλα, ανήκουν στην οικογένεια μοντέλων “Markal” ή στην οικογένεια μοντέλων “Edmonds-Reilly” (Lefevre, 2016), με το μοντέλο TIMES (ETSAP, 2021) αυτής της οικογένειας, το οποίο έχει αναπτυχθεί από το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (“International Energy Agency – IEA”), να είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο ενεργειακό μοντέλο (Katris et al., 2017). Άλλο παρόμοιο ενεργειακό μοντέλο το οποίο έχει εκτεταμένως χρησιμοποιηθεί την τελευταία δεκαετία από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, είναι το ενεργειακό μοντέλο Primes (E3MLab, 2021), το οποίο έχει αναπτυχθεί από το εργαστήριο Υποδειγμάτων Ενέργειας-Οικονομίας-Περιβάλλοντος του ΕΜΠ. Το συγκεκριμένο μοντέλο διαφοροποιείται από το “TIMES”, από την άποψη ότι προσομοιώνει την ισορροπία της αγοράς ενέργειας, μέσω του υπολογισμού των τιμών που ισορροπούν την ενεργειακή ζήτηση με την προσφορά.

Τα παραπάνω ενεργειακά μοντέλα τα οποία είναι αυτά που έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στις έως τώρα μελέτες που έχουν δημοσιευτεί, παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι απαιτούν σημαντική επένδυση από πλευράς χρηματικών πόρων και χρόνου από τον αναλυτή ή ερευνητή για να τα χρησιμοποιήσει. Συγκεκριμένα, απαιτούν υψηλή εξειδίκευση και σημαντική εμπειρία από τον εκτελών την ανάλυση, ενώ είτε δεν είναι διαθέσιμα για δημόσια χρήση, είτε απαιτούν την αγορά αδειών χρήσης, μέσω της πληρωμής του αντίστοιχου χρηματικού αντιτίμου.

Σε αυτό το πλαίσιο, τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί η αύξηση του ενδιαφέροντος της ερευνητικής κοινότητας για το «Ανοιχτού Πρωτοκόλλου Συστήματος Ενεργειακής Μοντελοποίησης» (OSeMOSYS), το οποίο παρουσιάζει το πλεονέκτημα έναντι του TIMES και του Primes, ότι εμπεριέχει μία πολύ πιο χαμηλή καμπύλη μάθησης και δεν περιλαμβάνει κάποιο κόστος για τη χρησιμοποίησή του. Επίσης, έχει αναπτυχθεί μία ανοικτή κοινότητα υποστήριξης των χρηστών αυτού του μοντέλου, η οποία μπορεί να υποστηρίξει ερευνητές και αναλυτές στο εγχείρημα χρησιμοποίησης αυτού του



μοντέλου για την ανάλυση του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού μία χώρας ή περιοχής. Το συγκεκριμένο μοντέλο, όπως και το “TIMES”, υπολογίζει το βέλτιστο συνδυασμό των ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών και τις απαιτούμενες επενδύσεις για να ικανοποιηθεί η ωφέλιμη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Το OSeMOSYS έχει χρησιμοποιηθεί τα τελευταία χρόνια για τη μοντελοποίηση ηλεκτροπαραγωγικών συστημάτων, η γεωγραφική αναφορά των οποίων εκτείνεται από την κλίμακα των ηπείρων ( π.χ. Αφρική ή Ευρώπη), μέχρι την κλίμακα χωρών, περιοχών, και χωριών. Σε ποιο εκτεταμένο βαθμό, έχει χρησιμοποιηθεί για τον ηλεκτροπαραγωγικό προγραμματισμό χωρών της Αφρικής, λόγω του μηδενικού κόστους που περιλαμβάνει η χρησιμοποίησή του.

### 2.1.1.3 Σύνοψη

Εν κατακλείδι, ενώ η προσέγγιση «από την κορυφή προς τη βάση» απεικονίζει το σύνολο της οικονομίας δίνοντας μία λεπτομερή εικόνα για τη συνολική επίδραση της υπό εξέταση ηλεκτροπαραγωγικής πολιτικής σε μακροοικονομικούς και κοινωνικούς όρους, εξετάζει πλημμελώς τον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα και τους περιορισμούς που τον διέπουν. Αντιθέτως, η προσέγγιση «από τη βάση προς την κορυφή» μελετά και προσομοιώνει ενδελεχώς τον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα, αλλά αποτυγχάνει στο να εντοπίσει τις επιπτώσεις σε ολόκληρη την οικονομία ή σε τομείς που δεν σχετίζονται άμεσα με τον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα.

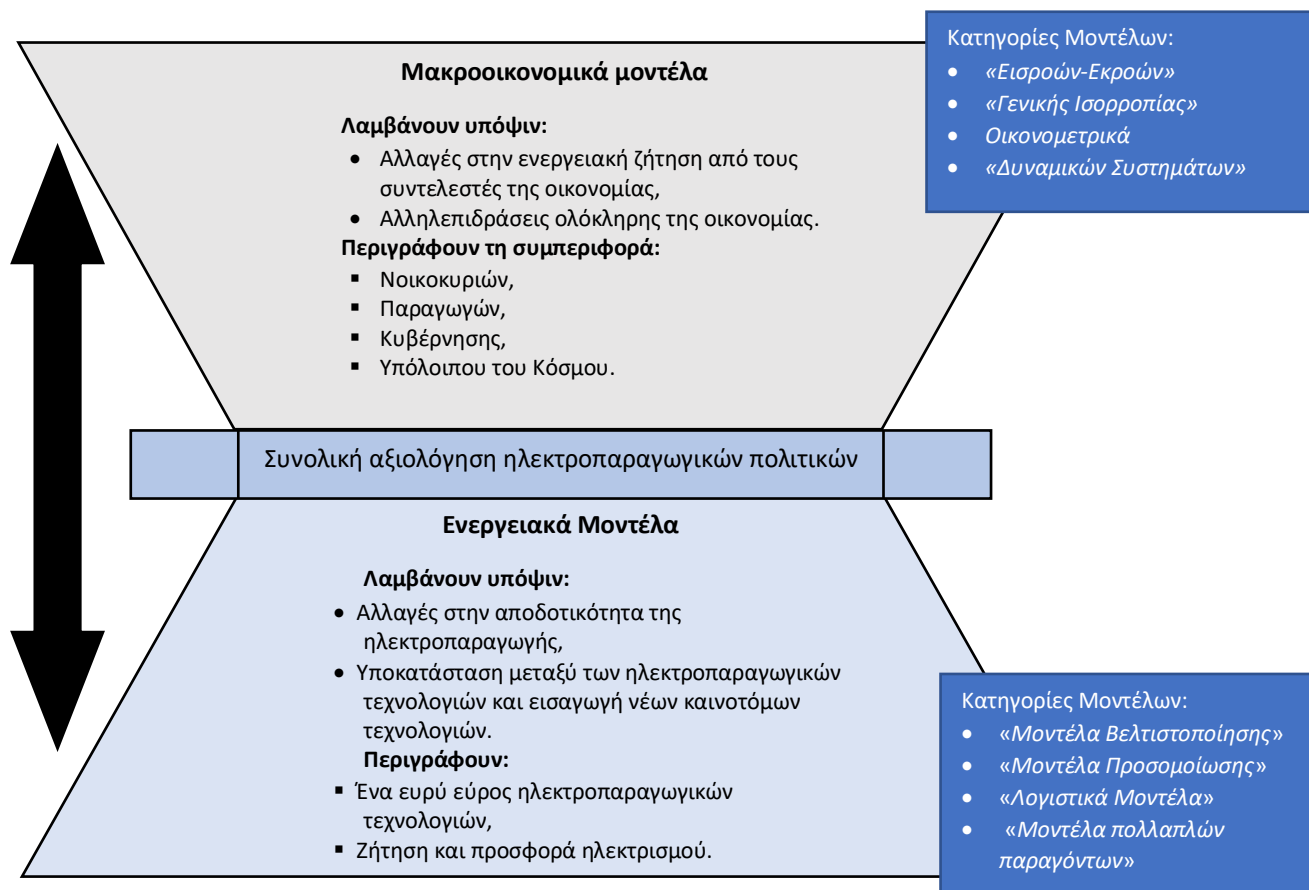
Ως εκ τούτου, για τη συνολική και αποτελεσματική αξιολόγηση ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων πολιτικής, καθίσταται απαραίτητος ο συγκερασμός των δύο προαναφερθέντων αντικρουόμενων και αλληλοσυμπληρούμενων προσεγγίσεων, μέσω της διασύνδεσης μοντέλων, όπου το κάθε ένα μοντέλο υλοποιεί τη μία εξ’ αυτών των προσεγγίσεων. Κατ’ αυτό τον τρόπο, παρέχεται απτή υποστήριξη στους χαράσσοντες πολιτική και στους λήπτες αποφάσεων. Αυτά τα χαρακτηριστικά των δύο προσεγγίσεων, και τα είδη μοντέλων που περιλαμβάνει η κάθε προσέγγιση, απεικονίζονται και στο [Σχήμα 2](#).

Ύστερα από την επισκόπηση των διαφόρων κατηγοριών μακροοικονομικών μοντέλων και της στάθμισης τόσο των πλεονεκτημάτων όσο και των μειονεκτημάτων που παρουσιάζει η κάθε μία κατηγορία εξ’ αυτών (Doukas and Nikas, 2020), αυτό το οποίο μπορεί να εξαχθεί είναι ότι τα μοντέλα «γενικής ισορροπίας» είναι τα καταλληλότερα για την αξιολόγηση και ανάλυση ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων πολιτικής από μία μακροοικονομική σκοπιά σε μεσοπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο ορίζοντα. Για αυτό το λόγο, η εν λόγω κατηγορία μοντέλων, εξαιτίας της ικανότητάς της να σκιαγραφεί με συνέπεια τις διασυνδέσεις που παρατηρούνται σε μία οικονομία, έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα για την αξιολόγηση των μακροοικονομικών συνεπειών των *Εθνικά Καθορισμένων Συνεισφορών* (“Nationally Determined Contributions” — NDC) —π.χ. κατά την έκδοση των ΕΣΕΚ των κρατών μελών)— όπως και για την ανάλυση εθνικών ηλεκτροπαραγωγικών

στρατηγικών. Για παράδειγμα, η Παγκόσμια Τράπεζα (“World Bank”), το Διεθνές Νομισματικό ταμείο (“International Monetary Fund”— IMF), ο «Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης» (ΟΟΣΑ; “Organisation for Economic Co-operation and Development” — OECD) έχουν κάνει χρήση αυτής της κατηγορίας μοντέλων για την αξιολόγηση των μακροοικονομικών συνεπειών πολιτικών τιμολόγησης του άνθρακα (“carbon-pricing”) και μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, τόσο σε εθνικό επίπεδο, όσο και σε τοπικό επίπεδο.

Επίσης, όσον αφορά την αξιολόγηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων που παράγει ένα μοντέλο «γενικής ισορροπίας», ύστερα από την επισκόπηση των σχετικών μεθόδων, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η διαδικασία “backcasting” αποτελεί την πιο αποδοτική εργασία γι’ αυτό το σκοπό, καθώς απαιτεί τους λιγότερους πόρους, σε σχέση με τις έτερες διαδικασίες που δύναται να χρησιμοποιηθούν για αυτό το σκοπό. Αυτό καθώς όλες οι άλλες μεθοδολογίες, απαιτούν τη ρύθμιση της βάσης του μοντέλου σε παρελθοντικό έτος αναφοράς, σε σχέση με το χρόνο διενέργειας της ανάλυσης, κάτι το οποίο απαιτεί σημαντικούς πόρους —αν δεν είναι ανέφικτο να πραγματοποιηθεί στην περίπτωση έλλειψης των σχετικών δεδομένων.

**Σχήμα 2:** Συμπληρωματικά χαρακτηριστικά μεταξύ των μακροοικονομικών και ενεργειακών μοντέλων αξιολόγησης ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού.



Ύστερα από την ανάλυση η οποία προηγήθηκε, συνάγεται ότι το ενεργειακό μοντέλο OSeMOSYS είναι το κατάλληλο μοντέλο βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, παρουσιάζοντας μεγαλύτερη ευκολία και απλότητα στην χρήση του, μηδενικό κόστος, όσο και μία κοινότητα υποστήριξης γύρω από αυτό. Ακόμη, τα χαρακτηριστικά του είναι σύννομα με τις βέλτιστες πρακτικές που πρέπει να παρουσιάζει ένα μοντέλο που χρησιμοποιείται για την ανάλυση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, καθώς είναι μοντέλο «ανοιχτού κώδικα».

Στο ίδιο μήκος κύματος, και με σκοπό την αύξηση της προστιθέμενης αξίας της μοντελικής διαδικασίας στη λήψη αποφάσεων, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην ενδελεχή ερμηνεία των αποτελεσμάτων, όπως και στην ενίσχυση της διαφάνειας της σχετικής διαδικασίας, και για αυτό το σκοπό συνάγεται ότι και το μακροοικονομικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού από μία μακροοικονομική και κοινωνική σκοπιά, θα πρέπει να είναι «ανοιχτού κώδικα», μία συνθήκη που ικανοποιεί η χρήση του μακροοικονομικού μοντέλου GTAP (Adams, 2005; Doukas et al., 2018). Οπότε, στα εν λόγω ευρήματα στηρίζεται και η επιλογή των μοντέλων που αποτελούν το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού από την παρούσα διδακτορική διατριβή, το οποίο παρουσιάζεται στην **Ενότητα 3**.

### 2.1.2 Διασύνδεση Μοντέλων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα ενεργειακά μοντέλα συνήθως διασυνδέονται με μακροοικονομικά μοντέλα, με σκοπό να υλοποιηθεί μία πιο αποτελεσματική αξιολόγηση των υπό εξέταση ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών. Η σύνδεση μεταξύ των εν λόγω κατηγοριών μοντέλων, δύναται να είναι «χαλαρή» (“soft-linking”), «σκληρή» (“hard-linking”) ή «υβριδική» (“hybrid-linking”). Κατά τη «χαλαρή σύνδεση», το κάθε είδος μοντέλου λειτουργεί αυτόνομα και τα αποτελέσματά του χρησιμοποιούνται σαν εξωγενείς μεταβλητές για το έτερο μοντέλο, όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 6**. Σε αυτή την περίπτωση, όταν η ροή της πληροφορίας είναι μόνο από το ένα μοντέλο στο άλλο, συντελείται η σύνδεση «μίας κατεύθυνσης» (“one-way linkage”), ενώ όταν η ροή της πληροφορίας πραγματοποιείται και προς τις δύο κατευθύνσεις μέχρι τα αποτελέσματα των δύο μοντέλων να συμφωνήσουν εντός ενός προκαθορισμένου ορίου σφάλματος, διενεργείται μία σύνδεση «διπλής κατεύθυνσης» (“two-way linkage”; **Εικόνα 6**).

Από την άλλη πλευρά, η «σκληρή σύνδεση» περιλαμβάνει την ενοποίηση των δύο μοντέλων σε ένα «υπέρ-μοντέλο» (“super model”; **Εικόνα 6**). Ωστόσο, το εν λόγω είδος σύνδεσης εμπεριέχει πολλές δυσκολίες υλοποίησης. Συγκεκριμένα, μέχρι σήμερα παρότι έχουν υπάρξει πολλαπλές προσπάθειες υλοποίησης της εν λόγω σύνδεσης, δεν έχει επιτευχθεί η πλήρης υλοποίησής της. Τέλος, κατά την «υβριδική» σύνδεση, τα δύο μοντέλα διατηρούν την αυτονομία τους, αλλά δεν

μπορούν να υπολογίσουν τα αποτελέσματά τους αυτοτελώς. Το εν λόγω είδος διασύνδεσης μπορεί να υλοποιηθεί π.χ. με τη χρήση μίας κοινής διεπαφής μεταξύ των δύο μοντέλων (*Εικόνα 6*).

Όσον αφορά το είδος της πληροφορίας το οποίο εξάγεται από το κάθε είδος μοντέλου για να «ενημερώσει» το άλλο, συνήθως σε προβλήματα που άπτονται του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, τα μακροοικονομικά μοντέλα «ενημερώνουν» τα ενεργειακά μοντέλα σχετικά με την ανάπτυξη της οικονομίας και τη ζήτηση ηλεκτρισμού, ενώ «ενημερώνονται» από αυτά σχετικά με τη συμπεριφορά των ηλεκτροπαραγωγών και γενικότερα για οποιαδήποτε πτυχή της ανάλυσης η οποία άπτεται του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού.

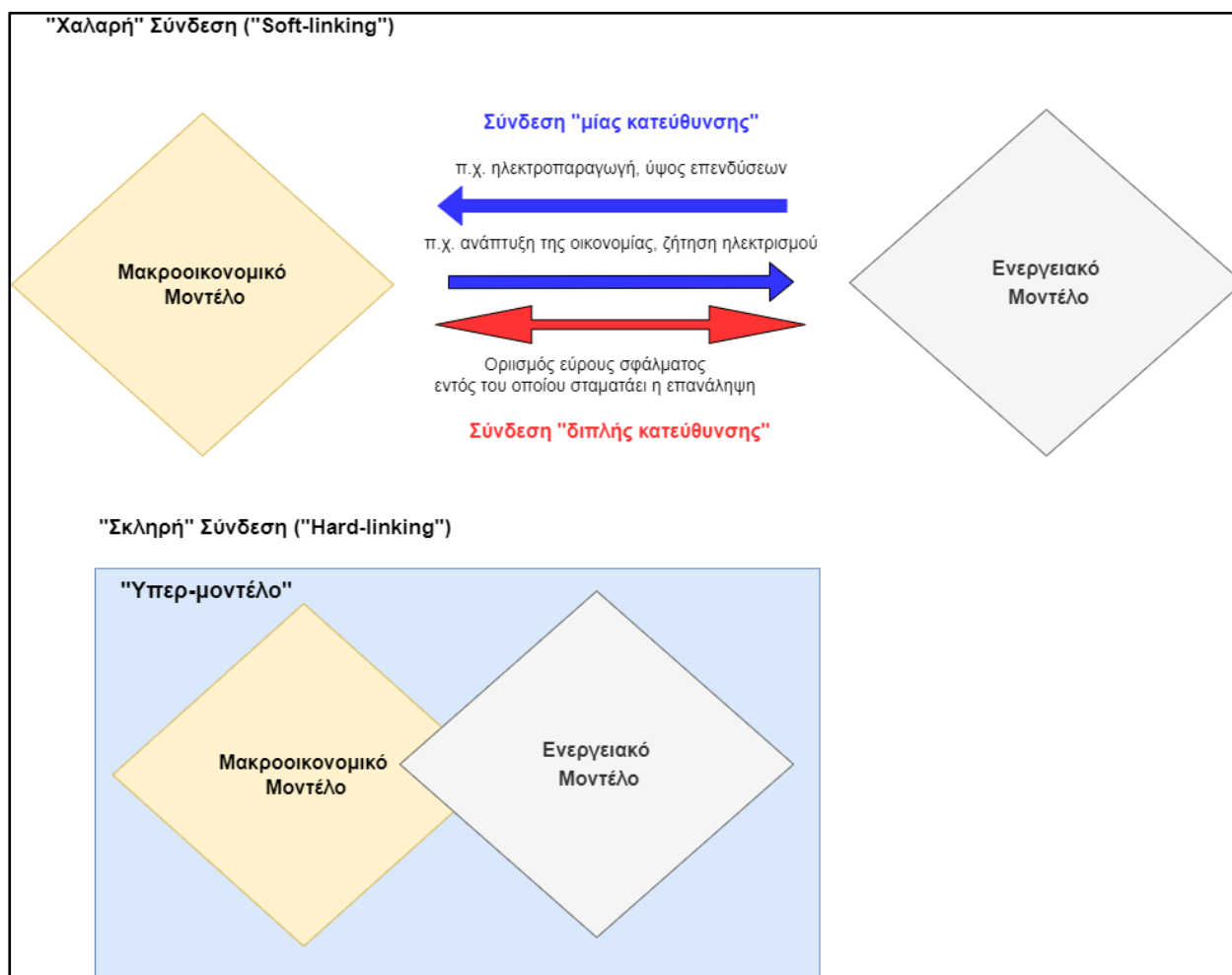
Οι κύριες προκλήσεις που μπορούν να αναγνωρισθούν σχετικά με τη διασύνδεση ενεργειακών και μακροοικονομικών μοντέλων, μπορούν να συμπυκνωθούν στις ακόλουθες ερωτήσεις (Katris et al., 2017; Krook-Riekkola et al., 2017):

- *Πως να ερμηνευθούν τα αποτελέσματα που εξάγονται από το ένα μοντέλο, για να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά από το έτερο μοντέλο της ανάλυσης;* Για παράδειγμα, πως να μεταφραστεί η οικονομική ανάπτυξη που εξάγεται από το μακροοικονομικό μοντέλο σε ζήτηση ηλεκτρισμού, για να χρησιμοποιηθεί από το ενεργειακό μοντέλο της ανάλυσης.
- *Πως να συγκριθούν τα δεδομένα των δύο κατηγοριών μοντέλων;* Ο κάθε τύπος μοντέλου χρησιμοποιεί μία διαφορετική βάση δεδομένων. Η βάση ενός μακροοικονομικού μοντέλου είναι ένας ΠΚΛ, τα δεδομένα του οποίου είναι εκπεφρασμένα σε νομισματικές μονάδες. Εν αντιθέσει, η βάση δεδομένων ενός ενεργειακού μοντέλου εκφράζεται σε φυσικές μονάδες ενέργειας.
- *Πως να γίνει η έγκαιρη συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων για κάθε μοντέλο;* Ένας ΠΚΛ και το ενεργειακό ισοζύγιο μίας χώρας, τα οποία αποτελούν τις βάσεις δεδομένων ενός μακροοικονομικού και ενός ενεργειακού μοντέλου, αντίστοιχα, εκδίδονται αναδρομικά. Κατ' αυτόν τον τρόπο, συνήθως παρατηρείται μία σημαντική απόκλιση μεταξύ του έτους αναφοράς των δύο βάσεων δεδομένων που χρησιμοποιούνται από το κάθε μοντέλο και το τρέχων έτος της ανάλυσης.
- *Από ποια κατηγορία μοντέλου να ξεκινήσει η ανταλλαγή δεδομένων και πότε πρέπει να σταματήσει;* Η ανταλλαγή δεδομένων πρέπει να εκτελείται επαναληπτικά, μέχρι τα αποτελέσματα από τα δύο μοντέλα να συμφωνούν ενός προκαθορισμένου ορίου για τις ίδιες μεταβλητές (π.χ. ΑΕΠ). Ωστόσο, δεν έχει αναπτυχθεί μέχρι σήμερα, μία ευκρινώς ορισμένη διαδικασία για αυτό το σκοπό, η οποία να ακολουθείται κατά κόρον από την ακαδημαϊκή κοινότητα.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα χαρακτηριστικά της διασύνδεσης ενεργειακών με μακροοικονομικά μοντέλα (Doukas and Nikas, 2020), όπως επίσης και τις προκλήσεις της σχετικής διαδικασίας που

αναφέρθηκαν παραπάνω, προς την κατεύθυνση της ενσωμάτωσης μίας «από τη βάση προς την κορυφή» σε μία προσέγγιση «από την κορυφή προς τη βάση», για τη συνολική αξιολόγηση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η «χαλαρή» σύνδεση μπορεί να επιτρέψει μία αποτελεσματική ανταλλαγή πληροφορίας με έναν πιο σαφή και αποδοτικό τρόπο, προσφέροντας στιβαρή και σημαντική πληροφορία στους εμπλεκόμενους στη χάραξη ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού (Nikas et al., 2021).

**Εικόνα 6:** Απεικόνιση των διαθέσιμων τρόπων διασύνδεσης μακροοικονομικών με ενεργειακά μοντέλα.



### 2.1.3 Βιβλιογραφική Επισκόπηση Μοντέλων Αξιολόγησης Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού

Τα μοντέλα που παρουσιάστηκαν παραπάνω, έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στη διεθνή βιβλιογραφία για να αξιολογήσουν τις προεκτάσεις ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών (π.χ. το οικονομικό και κοινωνικό αποτύπωμά τους), καθώς και για να αξιολογήσουν την εφικτότητά τους. Παραδείγματα τέτοιων αναλύσεων, αποτελούν η αξιολόγηση της μετάβασης του

ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος σε μία κατάσταση που θα στηρίζεται στη χρήση ΑΠΕ και η εφαρμογή πολιτικών εξοικονόμησης ενέργειας (Forouli et al., 2019). Η γεωγραφική κλίμακα αναφοράς των συγκεκριμένων δημοσιεύσεων ποικίλλει σημαντικά από περίπτωση σε περίπτωση.

Για παράδειγμα, οι Calise et al. (2021) αξιολογούν διαφορετικά μέτρα ενεργειακής εξοικονόμησης από τεχνολογική και οικονομική σκοπιά, για μία πόλη της Ιταλίας και μία της Αιγύπτου. Στο ίδιο μήκος κύματος, οι Gonzalez-Salazar et al. (2020) εξετάζουν την εφικτότητα και την προοπτική διαφορετικών σεναρίων απόσυρσης του «άνθρακα» από την ηλεκτροπαραγωγή για την περίπτωση του Βερολίνου. Αντίθετα, οι Nasirou et al. (2020) αξιολογούν τις μακροοικονομικές συνέπειες για ολόκληρη τη Χιλιανή οικονομία, διαφορετικών σεναρίων εξέλιξης του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος της χώρας, όπου κάθε ένα από αυτά τα σενάρια υποθέτει μία διαφορετική ταχύτητα με την οποία αποσύρεται ο «άνθρακας» από την ηλεκτροπαραγωγή.

Υπό αυτό το πρίσμα, ένα σημαντικό κομμάτι της βιβλιογραφίας καταλήγει στο ότι η εφαρμογή πολιτικών «απανθρακοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής και εξηλεκτρισμού της οικονομίας, επιφέρει θετικές μακροοικονομικές και κοινωνικές επιδράσεις. Για παράδειγμα, οι Chereliev et al. (2018) αξιολογούν τις επιδράσεις για την ευρύτερη Ουκρανική οικονομία, μίας μετάβασης του εθνικού ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος σε υψηλά ποσοστά ΑΠΕ (91%) στην τελική κατανάλωση μέχρι το 2050. Η ακολουθούμενη μεθοδολογία στηρίζεται στη διασύνδεση ενός ενεργειακού μοντέλου βελτιστοποίησης ("*TIMES-Ukraine*"), με ένα δυναμικό μοντέλο «Γενικής Ισορροπίας» για την Ουκρανική οικονομία (Chereliev, 2014). Το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγει η εν λόγω μελέτη, είναι ότι η εφαρμογή της υπό εξέταση πολιτικής θα μπορούσε να αυξήσει το ΑΕΠ της Ουκρανικής οικονομίας μέχρι και 16%, σε σύγκριση με την αναμενόμενη εξέλιξη της Ουκρανικής οικονομίας, με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου να μειώνονται κατά 76% σε σχέση με τα επίπεδα εκπομπών του 2012.

Παρομοίως, μία μελέτη του Παγκόσμιου Οργανισμού Ανανεώσιμης Ενέργειας (IRENA, 2018), χρησιμοποιεί μοντέλα «Εισαγωγών-Εξαγωγών», έρευνες σχετικές με τη βιομηχανία, και υπολογισμούς συντελεστών εργασίας ("*employment-factor*"), για να αξιολογήσει τις παγκόσμιες επιδράσεις των προτεινόμενων πολιτικών στο πλαίσιο της συμφωνίας των Παρισίων για τον τομέα των ΑΠΕ. Το αποτέλεσμα στο οποίο καταλήγει, είναι ότι οι άμεσες και έμμεσες θέσεις εργασίας θα μπορούσαν να αυξηθούν από το επίπεδο των 10.3 εκατομμυρίων που ανήλθαν το 2017, στο επίπεδο των 23.6 και 28.8 εκατομμυρίων το 2030 και 2050, αντίστοιχα, εξαιτίας της εφαρμογής των εν λόγω πολιτικών. Οι Ram et al. (2020) αξιολογούν την επίδραση που θα μπορούσε να έχει η μετάβαση σε μία κλιματικά ουδέτερη ηλεκτροπαραγωγή στο ποσοστό απασχόλησης από τη χρονική σκοπιά του 2050, χρησιμοποιώντας μία μέθοδο «συντελεστών εργασίας» ("*employment factor*"; Rutovitz et al., 2015). Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης, υποδεικνύουν μία αύξηση στις παγκόσμιες

θέσεις εργασίας οι οποίες σχετίζονται με τον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα, από τα 21 εκατομμύρια που ανήλθαν το 2015, κοντά στα 35 εκατομμύρια το 2050.

Από την άλλη μεριά, υπάρχουν πολλές μελέτες οι οποίες παράγουν αποτελέσματα τα οποία είναι αντίθετα με την «επίδραση διπλού οφέλους» (“double dividend”) πολιτικών μετάβασης σε μία κλιματικά ουδέτερη ηλεκτροπαραγωγή. Με άλλα λόγια, καταλήγουν στο ότι οι εν λόγω πολιτικές επιφέρουν αρνητικές μακροοικονομικές ή/και κοινωνικές επιπτώσεις για τη χώρα ή χώρες που τις εφαρμόζει/ζουν. Για παράδειγμα, οι Almutairi et al. (2018) αξιολογούν τις οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της υλοποίησης ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, μέσω των οποίων επιτυγχάνονται οι τεθέντες στόχοι σχετικά με τη διείσδυση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και τη χρήση πυρηνικής ενέργειας, όπως αυτοί περιγράφονται για τις περιπτώσεις της Σαουδικής Αραβίας, των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (Η.Π.Α), της Κίνας, της Ινδίας, της Ευρώπης και του υπόλοιπου κόσμου μέχρι το 2030 (EIA, 2017). Η συγκεκριμένη αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του μοντέλου GTAP-E (Truong, T.P.; Kemfert, C.; Burniaux, 2007), το οποίο είναι μία επέκταση του μακροοικονομικού μοντέλου «Γενικής Ισορροπίας» “GTAP” (Hertel, 1996), με μία εστίαση στον ενεργειακό τομέα, όπως περιγράφεται από τους Rutovitz et al. (2015). Συγκεκριμένα, η εν λόγω μελέτη, υπολόγισε αρνητικές οικονομικές επιδράσεις σε όρους εξέλιξης του ΑΕΠ της οικονομίας, για όλες τις περιοχές οι οποίες συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση, εξαιρουμένης της Ινδίας. Εξ’ αυτών, οι οικονομίες της Ευρώπης και της Σαουδικής Αραβίας αναμένεται να παρουσιάσουν την μεγαλύτερη ύφεση, συγκεκριμένα  $-2.81\%$  και  $-3.52\%$ , αντίστοιχα, λόγω του ότι οι οικονομίες τους στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό στο πετρέλαιο. Επιπρόσθετα, τα αποτελέσματα της εν λόγω μελέτης υποδεικνύουν ακόμη μία μείωση στις τιμές των βασικών αγαθών, η οποία προέρχεται από μία πτώση των τιμών ενέργειας, και την απώλεια 4.45 εκατομμυρίων θέσεων εργασίας παγκοσμίως κατά την εξεταζόμενη περίοδο.

Στην ίδια κατεύθυνση, οι Grottera et al. (2020) αξιολογούν τις μακροοικονομικές επιπτώσεις μίας μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από τα νοικοκυριά κατά  $26\%$ , για την περίπτωση της Βραζιλίας και κατά την περίοδο 2005–2050, χρησιμοποιώντας ένα υβριδικό μοντέλο «Γενικής Ισορροπίας» (“IMACLIM-S”; Lefèvre, 2016). Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης υποδηλώνουν αρνητικές μακροοικονομικές επιπτώσεις, με τα μεγέθη του ΑΕΠ, των μισθών και των θέσεων εργασίας να συρρικνώνονται κατά  $2.6\%$ ,  $1.5\%$ , και  $0.03\%$ , αντίστοιχα, το 2050, σε σύγκριση με το αναμενόμενο σενάριο εξέλιξης της Βραζιλιάνικης οικονομίας. Παρομοίως, οι Antosiewicz et al. (2020) αξιολογούν το μακροοικονομικό αποτύπωμα ενός σεναρίου ταχύτερης απόσυρσης του άνθρακα από την ηλεκτροπαραγωγή κατά την περίοδο 2015–2050, χρησιμοποιώντας ένα δυναμικό στοχαστικό μοντέλο «Γενικής Ισορροπίας» (MEMO; Bukowski and Kowal, 2010). Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης υποδεικνύουν ένα ανεπαίσθητο μακροοικονομικό κόστος ( $<1\%$ ) σε όρους εξέλιξης

του ΑΕΠ και της απασχόλησης, ειδικά κατά τις χρονιές όπου οι επενδυτικές ανάγκες στο σενάριο «απανθρακοποίησης» είναι οι μεγαλύτερες.

Εξετάζοντας τις μελέτες οι οποίες αναλύθηκαν παραπάνω, εν συνόλω, παρατηρείται ότι υπάρχει μία «ασυμφωνία» σχετικά με τις μακροοικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις που προκύπτουν από την εφαρμογή πολιτικών «απανθρακοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής και εξηλεκτρισμού της οικονομίας. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στις αποκλίσεις που παρατηρούνται μεταξύ διαφορετικών χωρών, περιοχών και τομέων της οικονομίας (Wesseh and Lin, 2019), σε όρους οικονομικών δομών, θεσμικών ρυθμίσεων και διαθέσιμων τοπικών ενεργειακών πόρων (Almutairi et al., 2018; NGFS, 2020). Ωστόσο, τα αποτελέσματα μπορεί ακόμη να διαφέρουν εξαιτίας των διαφορετικών μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγησή τους και τις κύριες υποθέσεις οι οποίες υιοθετούνται από τους διενεργούντες την ανάλυση στο πλαίσιο μίας μελέτης ή από τα μοντέλα αυτά καθ' αυτά, των οποίων γίνεται χρήση στο πλαίσιο της εκάστοτε μελέτης (Ram et al., 2020).

Άρα, αυτό το οποίο μπορεί να εξαχθεί είναι ότι η κοινότητα ανάλυσης ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, θα πρέπει να υιοθετήσει ένα κοινώς αποδεκτό πλαίσιο κανόνων και βέλτιστων πρακτικών, όσον αφορά τον τρόπο με τον οποίο αξιολογούνται αυτού του είδους οι πολιτικές, προς την κατεύθυνση της αντιμετώπισης του ζητήματος της έλλειψης μίας πρότυπης διαδικασίας, εξασφαλίζοντας παράλληλα ότι οι τα αποτελέσματα δημοσιευμένων εργασιών, μπορούν είτε να αναπαραχθούν, είτε οι υλοποιηθείσες προσομοιώσεις να επαναληφθούν (Makridakis et al., 2018).

Η επίδραση που μπορεί να έχει μία τέτοια κίνηση της διεθνούς κοινότητας ανάλυσης ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, μπορεί να φανεί στα αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με τις μακροοικονομικές επιδράσεις των σεναρίων-στόχων που περιγράφονται στα ΕΣΕΚ των κρατών μελών της ΕΕ. Αυτές οι μελέτες είναι ενσωματωμένα τμήματα των ΕΣΕΚ που εκδόθηκαν από τα κράτη μέλη της ΕΕ και στις περισσότερες περιπτώσεις στηρίχθηκαν στη διασύνδεση ενός μοντέλου βελτιστοποίησης του προγραμματισμού της ηλεκτροπαραγωγής με ένα μακροοικονομικό μοντέλο που απαντάει σε ερωτήσεις που αφορούν ολόκληρη την εξεταζόμενη οικονομία.

Επί παραδείγματι, για την περίπτωση της Ιταλίας, χρησιμοποιήθηκε ένα ενεργειακό μοντέλο Times-Italy, το οποίο διασυνδέθηκε με το δυναμικό μακροοικονομικό μοντέλο γενικής ισορροπίας *GTAP GDyn-E*, το οποίο άντλησε τα δεδομένα του από τη βάση δεδομένων *GTAP* έκδοση 9. Αντίστοιχα, για την περίπτωση της Ελλάδας χρησιμοποιήθηκε ένα ενεργειακό μοντέλο βελτιστοποίησης Times-Greece, με μία ανάλυση «εισροών-εκροών» για την αξιολόγηση των μακροοικονομικών επιπτώσεων των μέτρων που περιλαμβάνονται στο ΕΣΕΚ της ελληνικής κυβέρνησης. Για την περίπτωση της Ισπανίας, χρησιμοποιήθηκε το δυναμικό νέο-Κεϋνσιανό οικονομετρικό μοντέλο DENIO, το οποίο ακολουθεί μία υβριδική προσέγγιση μεταξύ μίας ανάλυσης



«Γενικής Ισορροπίας» και μίας ανάλυσης «Εισροών-Εκροών». Το εν λόγω οικονομετρικό μοντέλο, διασυνδέθηκε με το ενεργειακό μοντέλο TIMES για την Ισπανία (“TIMES-SIMERGIA”).

Στον **Πίνακα 2** παρουσιάζονται οι «διαταραχές» που απεικονίζουν τα σενάρια στόχους των ΕΣΕΚ των κρατών μελών της ΕΕ, για τα οποία πραγματοποιήθηκε παράλληλα και μία αξιολόγηση των πιθανών μακροοικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων που αναμένεται να έχουν για την περίοδο που εκτείνεται από το 2020 μέχρι το 2030. Οι «διαταραχές» του ενεργειακού τομέα εκφράζονται όπως περιγράφησαν και στα τελικά ΕΣΕΚ των κρατών μελών, σε όρους εκπομπών ΑτΘ, ποσοστού ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, ενεργειακής κατανάλωσης και επενδύσεων. Στον αντίποδα, οι μακροοικονομικές επιπτώσεις, που προέκυψαν από την προσομοίωση των «διαταραχών» του ενεργειακού τομέα, εκφράζονται σε όρους επίδραση στο ΑΕΠ της οικονομίας, στις θέσεις εργασίας και στο εισόδημα. Αν δεν αναφέρεται κάτι διαφορετικό, οι μακροοικονομικές επιπτώσεις εκφράζονται σαν επί τις εκατό (%) απόκλιση από το βασικό σενάριο εξέλιξης τη οικονομίας (“bau”) για την περίοδο που εκτείνεται από το 2020 μέχρι το 2030.

Όπως φαίνεται σε αυτόν τον πίνακα, στις περισσότερες περιπτώσεις, τα σενάρια-στόχοι των κρατών μελών της ΕΕ, αναμένεται να παράξουν θετικές μακροοικονομικές επιδράσεις, αποδεικνύοντας την επίδραση του «διπλού μερίσματος» (“double dividend”) βιώσιμων πολιτικών. Η Ελλάδα, η οποία για να υλοποιήσει τους στόχους που έχουν τεθεί στο ΕΣΕΚ της, πρέπει να αυξήσει τις επενδύσεις οι οποίες κατευθύνονται στην ευρύτερη οικονομία της κατά περίπου 2% του ΑΕΠ ετησίως κατά την περίοδο 2020-2030, έχει παρόμοιες χρηματοδοτικές ανάγκες με την Κύπρο (+2.26%), τη Γαλλία (+2.44%), τη Λετονία (+2.65%), και την Ισπανία (+1.82%). Τα αποτελέσματα σχετικά με την μακροοικονομική επίδραση των μέτρων του ΕΣΕΚ για αυτές τις χώρες, κυμαίνονται στο ίδιο μήκος κύματος με τα προκύπτοντα αποτελέσματα για την περίπτωση της Ελλάδας.

Πιο συγκεκριμένα, σε όρους μεταβολής του ΑΕΠ, τα αποτελέσματα αναμένονται να είναι θετικά, με το εύρος της κλίμακάς τους να κυμαίνεται από ελαφρώς θετικά (+0.25% για την περίπτωση της Κύπρου), μέχρι πιο αισθητά θετικά (+2.1% για τη περίπτωση της Ισπανίας). Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει και η κύρια μελέτη που διενεργήθηκε για λογαριασμό της ΕΕ (EU, 2019), σχετικά με τις μακροοικονομικές επιδράσεις των σύννομων με την Συμφωνία των Παρισίων πολιτικών σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα της εν λόγω μελέτης, υποδεικνύουν μία αύξηση του ευρωπαϊκού ΑΕΠ κατά 1.1% μέχρι το 2030, σε σχέση με το βασικό σενάριο εξέλιξης (“bau”).

Τα κράτη μέλη που παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες χρηματοδοτικές ανάγκες, είναι και αυτά που αντιμετωπίζουν τις μεγαλύτερες προκλήσεις (π.χ., Ιταλία και Ρουμανία; **Πίνακας 2**), ενώ όταν τα σενάρια-στόχοι δεν συνοδεύονται από μία θετική επίδραση στο ΑΕΠ, όπως συμβαίνει με την περίπτωση της Ιταλίας, υποδηλώνουν ένα δυνητικά αρνητικό μακροοικονομικό αποτύπωμα μέσω

της υποβάθμισης του δείκτη χρέους προς ΑΕΠ (Pegkas, 2018). Επιπλέον, όπως φαίνεται στον [Πίνακα 2](#), μεταξύ των κρατών μελών παρουσιάζονται υψηλές αποκλίσεις σχετικά με την αναμενόμενη εξέλιξη των κύριων ενεργειακών μεταβλητών κατά την περίοδο 2020–2030, το οποίο μπορεί να αποδοθεί στις ιδιαιτερότητες των ενεργειακών συστημάτων. Δηλαδή, με άλλα λόγια, μία διαφορετική προσπάθεια απαιτείται από κράτος μέλος για να επιτύχει τους στόχους που προβλέπει η ΕΕ.

Ωστόσο, το στοιχείο εκείνο που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, είναι ότι παρά το γεγονός ότι έχουν χρησιμοποιηθεί διαφορετικές μέθοδοι από τα κράτη μέλη για την αξιολόγηση του μακροοικονομικού αποτυπώματος των σεναρίων-στόχων τους, παρατηρείται μία σχετική ομοιογένεια στα αποτελέσματα, όπως αυτή παρατηρείται σε όρους μεταβολής του ΑΕΠ, η οποία κυμαίνεται από  $-0.59\%$  για την περίπτωση της Φινλανδίας, μέχρι  $+2.4\%$  για την περίπτωση της Σλοβενίας. Η μόνη εξαίρεση από τις χώρες που αναμένεται να ωφεληθούν μακροοικονομικά από την εφαρμογή των περιγραφόμενων στο ΕΣΕΚ μέτρων, αποτελεί η Ρουμανία, για την οποία μία ιδιαίτερα υψηλή μακροοικονομική επίδραση ( $>30\%$ ) προκύπτει ως συνέπεια της υλοποίησης του σεναρίου-στόχου της κατά την περίοδο 2020-2030.

Αυτή η παρατηρούμενη σύγκλιση των αποτελεσμάτων από μακροοικονομικής σκοπιάς, θα μπορούσε να αποδοθεί στο γεγονός, ότι παρά τη χρήση διαφορετικών ενεργειακών και μακροοικονομικών μοντέλων, σε γενικές γραμμές υιοθετείται μία κοινή προσέγγιση, συγκεκριμένα η σύνδεση μίας ανάλυσης «*από τη βάση προς την κορυφή*» (ενεργειακό μοντέλο) με μία αξιολόγηση «*από την κορυφή προς τη βάση*» (μακροοικονομικό μοντέλο), καθώς και στους κοινούς κανόνες παραμετροποίησης και διασύνδεσης των μοντέλων.

Ωστόσο, αυτή η σύγκλιση, θα μπορούσε να συνδεθεί και με μία άλλη ιδιότητα με την οποία οι εν λόγω περιγραφόμενες στα ΕΣΕΚ πολιτικές σκιαγραφήθηκαν, δηλαδή σε συνδυασμό με την αξιολόγησή τους. Με άλλα λόγια, αρχικά τέθηκαν οι στόχοι τους οποίους οι περιγραφόμενες ενεργειακές πολιτικές θα έπρεπε να τηρούν, π.χ. ελάχιστο όριο μεγέθυνσης της οικονομίας ως απόρροια της εφαρμογής του σεναρίου στόχου. Οπότε, στην περίπτωση που τα τεθέντα όρια δεν ικανοποιούνταν, οι σχεδιαζόμενες πολιτικές επανασχεδιαζόντουσαν με όρους επαναληπτικότητας, έως ότου αναγνωριστεί η πολιτική που ικανοποιεί τους τεθέντες ενεργειακούς στόχους και έχει και το επιθυμητό μακροοικονομικό αποτύπωμα στην ευρύτερη οικονομία.

**Πίνακας 2:** «Διαταραχές» στο ενεργειακό σύστημα των κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) κατά την περίοδο 2020-2030, ως συνέπεια της εφαρμογής των σεναρίων-στόχων που περιγράφονται στα Εθνικά Σχέδιά τους για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ), και οι κύριες μακροοικονομικές επιπτώσεις ως απόρροια αυτών των «διαταραχών».

Χώρα	Σενάριο Στόχος στο τελικό ΕΣΕΚ Διαταραχές (%) μεταξύ 2020–2030						Μακροοικονομικές Επιπτώσεις (% Απόκλιση σε σχέση με το βασικό σενάριο μεταξύ 2020–2030)		
	Εκπομπές Αερίων του Θερμοκη πίου <sup>[Δ]</sup>	Μερίδιο ΑΠΕ (%)		Κατανάλωση		Επενδύσ εις (% του ΑΕΠ ετησίως)	ΑΕΠ	Εργασία	Εισόδημα
		ΑΤΚΕ [~]	ΑΤΚΗΕ [=]	Τελική	Πρωτογενής				
Αυστρία	≈-13 [#]	+11	+5	-2	-3	+3.9	≈0	+0.3	-
Κροατία	≈-5	+7.8	+16.8	-2	-23	+3.6	+2.5 [⊕]	+2.4 [⊗]	-
Κύπρος	-19	+8.1	+14.5	-3	-4	+2.26	+0.25	+0.25	-
Φινλανδία	-25	+10	+12	-6	-3	+0.8	-0.59	-0.15	-
Γαλλία	-29	+10	-	-8	-8	+2.44	+2	+400 Κ [⊖]	-

Χώρα	Σενάριο Στόχος στο τελικό ΕΣΕΚ Διαταραχές (%) μεταξύ 2020–2030					Μακροοικονομικές Επιπτώσεις (% Απόκλιση σε σχέση με το βασικό σενάριο μεταξύ 2020–2030)			
	Εκπομπές Αερίων του Θερμοκη πίου <sup>[Δ]</sup>	Μερίδιο ΑΠΕ (%)		Κατανάλωση		Επενδύσ εις (% του ΑΕΠ ετησίως)	ΑΕΠ	Εργασία	Εισόδημα
		ΑΤΚΕ [~]	ΑΤΚΗΕ [~]	Τελική	Πρωτογενής				
Γερμανία	-27	+19.2	+19.7	-12	-18	+0.8	+1.5	+0.5 [*]	+1.7 [*]
Ελλάδα	-26	+15.3	+31.8	-2.5	-17	+2	-	+59.4 Κ [F]	-
Ιταλία	-19	+11	+18.8	-11	-12	+6.75	-0.18	+1170 Κ [F]	-
Λετονία	-18 [#]	+10	+16.8	-11	-11	+2.65	-	+10.7 Κ [F]	-
Λιθουανία	-24	+15	+15	-19	-19	-	+1.72	+1.56	+2.1
Λουξεμβούργο	-38 [#]	+14	+21.7	-22	-	+0.72	+1.1	+0.3	-0.9

Χώρα	Σενάριο Στόχος στο τελικό ΕΣΕΚ Διαταραχές (%) μεταξύ 2020–2030					Μακροοικονομικές Επιπτώσεις (% Απόκλιση σε σχέση με το βασικό σενάριο μεταξύ 2020–2030)			
	Εκπομπές Αερίων του Θερμοκη πίου <sup>[Δ]</sup>	Μερίδιο ΑΠΕ (%)		Κατανάλωση		Επενδύσ εις (% του ΑΕΠ ετησίως)	ΑΕΠ	Εργασία	Εισόδημα
		ΑΤΚΕ [~]	ΑΤΚΗΕ [~]	Τελική	Πρωτογενής				
<i>Μάλτα</i>	+14 [□]	+2.2	≈+1	≈+30	≈+30	+4	-	+200 [7]	-
<i>Πολωνία</i>	-13	+8	+9.7	-6	-5	+3	0	0	-
<i>Ρουμανία</i>	-4	+6.3	+8.4	+4	-	+5.76	>+30	-	+34 [*]
<i>Σλοβακία</i>	-17	+5.2	+4.9	-0.43	+0.51	+0.8	+0.9	-	-
<i>Σλοβενία</i>	-21	+2	+9.8	-4	-6	+4.14	+2.4	+1.39 [*]	+2.26 [*]
<i>Ισπανία</i>	-31	+21.8	+32	-15	-19	+1.82	+2.1	+1.7 [*]	-

Χώρα	Σενάριο Στόχος στο τελικό ΕΣΕΚ Διαταραχές (%) μεταξύ 2020–2030					Μακροοικονομικές Επιπτώσεις (% Απόκλιση σε σχέση με το βασικό σενάριο μεταξύ 2020–2030)			
	Εκπομπές Αερίων του Θερμοκη πίου <sup>[Δ]</sup>	Μερίδιο ΑΠΕ (%)		Κατανάλωση		Επενδύσ εις (% του ΑΕΠ ετησίως)	ΑΕΠ	Εργασία	Εισόδημα
		ΑΤΚΕ [~]	ΑΤΚΗΕ [≈]	Τελική	Πρωτογενής				
Σουηδία	-	+16	-	-13	-14	-	-0.35 [*]	-	-

[x] Συνολικές Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου (ΑτΘ) εξαιρουμένης της χρήσης γης και κάλυψης (“Land Use & Cover”), [#] εκπομπές που δε συμπεριλαμβάνονται στο Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ), [□] εκπομπές ενεργειακού τομέα, [⊕] % απόκλιση σε σχέση με το επίπεδο του 2018, [⊗] % απόκλιση σε σχέση με το επίπεδο του 2017, [\*] % απόκλιση σε σχέση με το βασικό σενάριο (business-as-usual) για το έτος 2030, [±] απόκλιση σε αριθμό εργαζομένων, [~] ΑΤΚΕ: Ακαθάριστη κατανάλωση ενέργειας, [≈] ΑΤΚΕ: Ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

#### 2.1.4 Μοντελοποίηση Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού υπό Συνθήκες Αβεβαιότητας

Ένα εγγενές χαρακτηριστικό του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, είναι η αβεβαιότητα που παρουσιάζει, δηλαδή η έλλειψη σιγουριάς σχετικά με την εξέλιξη των βασικών παραμέτρων του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος (Klauer and Brown, 2004). Παρ' όλα αυτά, πολλές μελέτες στον τομέα του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, έχουν παραμελήσει αυτού του είδους τις αβεβαιότητες (Yue et al., 2018).

Τα χαρακτηριστικά τα οποία αυξάνουν την αβεβαιότητα των ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, είναι η επισφάλεια σχετικά με το ύψος των επενδύσεων που απαιτεί η επιτυχή τους υλοποίηση, κάτι το οποίο επιδεινώνεται από τη μεταβλητότητα των ενεργειακών τιμών και της τελικής ζήτησης. Επίσης, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η πολυπλοκότητα της σχεδίασης ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, ως συνέπεια των φυσικών, τεχνολογικών, κοινωνικών και θεσμικών διαδικασιών που περιλαμβάνουν, καθώς και των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων (π.χ. πρόβλεψη για το πότε μία τεχνολογία θα γίνει διαθέσιμη; Mirakyan and De Guio, 2015).

Επιπλέον, άλλοι παράγοντες που εντείνουν τη μεταβλητότητα των ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, είναι η περιορισμένη διαθεσιμότητα ορυκτών καυσίμων, η κλιματική αλλαγή, οι αυξανόμενοι περιβαλλοντικοί περιορισμοί και το υψηλό ποσοστό διακοπτόμενης ηλεκτροπαραγωγής (π.χ. μεταβλητότητα της παραγωγής αιολικής και ηλιακής ενέργειας ως συνέπεια των κλιματικών συνθηκών). Επίσης, άλλος ένας σημαντικός παράγοντας μεταβλητότητας, είναι ότι ο διαδραστικός προγραμματισμός της ηλεκτροπαραγωγής, περιλαμβάνει διαφορετικούς εμπλεκόμενους με διαφορετικά και αντικρουόμενα συμφέροντα, απόψεις και προσλήψεις της αβεβαιότητας.

Για αυτόν το λόγο, προτείνεται η αβεβαιότητα του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού να λαμβάνεται υπόψιν καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας λήψης αποφάσεων (Klauer and Brown, 2004), από τη φάση της αναγνώρισης του προβλήματος, μέχρι την ανάπτυξη των εναλλακτικών δράσεων, την αξιολόγηση αυτών των εναλλακτικών και την εφαρμογή της επιλεχθείσας εναλλακτικής.

Για αυτόν το σκοπό, θα πρέπει η εξέλιξη του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος να εξετάζεται υπό το πρίσμα της δημιουργίας πολλαπλών σεναρίων, σχετικά με την εξέλιξη των βασικών ενεργειακών μεταβλητών και της οικονομίας. Για κάθε ένα από αυτά τα σενάρια, θα πρέπει να εξετάζονται τα δυνητικά κόστη και οι πιθανές ωφέλειες που δύναται να επιφέρει η υλοποίησή του (Hirst and Schweitzer, 1989). Το εν λόγω χαρακτηριστικό που πρέπει να παρουσιάζει η ανάλυση ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, δηλαδή τη θεώρηση πολλαπλών σεναρίων, αναγνωρίζεται σε όλες τις αναλύσεις αναφορικά με τη μελλοντική εξέλιξη του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, σε εθνικό επίπεδο (HAEE, 2020), είτε σε παγκόσμιο (Newell et al., 2021).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί μέχρι στιγμής στην παρούσα διδακτορική διατριβή, η σκιαγράφηση ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών είναι άμεσα συνυφασμένη με τη χρήση ενεργειακών μοντέλων βελτιστοποίησης της ηλεκτροπαραγωγής. Οπότε, η αβεβαιότητα των ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, ταυτίζεται με την «αβασιμότητα» των εν λόγω μοντέλων σχετικά με τη σχεδίαση ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών (Yue et al., 2018). Δηλαδή, σε αυτές τις περιπτώσεις, η ανάλυση της αβεβαιότητας των ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, ταυτίζεται με την ανάλυση σχετικά με την αβεβαιότητα των χρησιμοποιούμενων παραμέτρων σε αυτού τους είδους τα μοντέλα.

Σε αυτό το πλαίσιο, η πλειοψηφία των μελετών που στηρίζονται σε κάποιο μοντέλο προγραμματισμού της ηλεκτροπαραγωγής, χρησιμοποιεί κάποια μορφή ανάλυσης σεναρίων, ενσωματώνοντας και λαμβάνοντας υπόψιν τη σχετική αβεβαιότητα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, συνήθως δημιουργείται ένα σενάριο αναφοράς, το οποίο περιλαμβάνει την εξέλιξη του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος με βάση την πιο πιθανή εξέλιξη των κύριων παραμέτρων του ενεργειακού συστήματος και της οικονομίας. Οι επιδράσεις των παραγόντων αβεβαιότητας, μελετώνται μέσω εναλλακτικών σεναρίων με επιπλέον περιορισμούς και υποθέσεις. Τα εναλλακτικά σενάρια συνήθως συνοδεύονται και από μία «ανάλυση ευαισθησίας» (*“sensitivity analysis”*), συνήθως στη μορφή «ενός παράγοντα τη φορά» (*“one-factor-at-a-time”*— OAT), όπου σε αυτή την περίπτωση μία παράμετρος μεταβάλλεται κάθε φορά, ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι διατηρούνται σταθερές.

Αυτή της μορφής η ανάλυση, παρατηρείται σε μία σειρά από μελέτες. Επί παραδείγματι, «ανάλυση ευαισθησίας» έχει πραγματοποιηθεί επί των παραμέτρων του κόστους των μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων (Bahn et al., 2013), των περιορισμών εκπομπών (Cameron et al., 2014; Contaldi et al., 2008) και του κόστους κεφαλαίου (Hainoun et al., 2010).

Στο ίδιο πλαίσιο, οι Bahn et al. (2013) εφάρμοσαν το ενεργειακό μοντέλο TIMES για τον Καναδά, με σκοπό να ερευνήσουν τις επιδράσεις της διείσδυσης των ηλεκτρικών οχημάτων, στις οδικές μεταφορές του Καναδά κατά την περίοδο 2020-2050, ενσωματώνοντας την αβεβαιότητα μέσω της διενέργειας μία ανάλυσης ευαισθησίας των αποτελεσμάτων, επί της μεταβλητότητας για τα κόστη των μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων.

Αντίστοιχα, οι Hainoun et al. (2010) προσπάθησαν να αναγνωρίσουν με το ενεργειακό μοντέλο MESSAGE, τη βέλτιστη μακροχρόνια στρατηγική σχετικά με την ηλεκτροπαραγωγή της Συρίας, για την περίοδο 2003-2030. Η διαχείριση της αβεβαιότητας, πραγματοποιήθηκε μέσω μίας ανάλυσης ευαισθησίας των αποτελεσμάτων, επί της μεταβλητότητας κύριων παραμέτρων του μοντέλου, όπως το επιτόκιο προεξόφλησης, ο χρόνος λειτουργίας των αιολικών πάρκων και οι απαιτούμενες επενδύσεις κεφαλαίου για τα πυρηνικά εργοστάσια. Θα πρέπει να τονιστεί, όμως, ότι στην εν λόγω μελέτη, λήφθηκε υπόψιν μόνο ένας παράγοντας μεταβλητότητας ανά περίπτωση. Δηλαδή, με άλλα



λόγια, κάθε εξεταζόμενο σενάριο, επικεντρώθηκε σε ένα από τους παράγοντες που κρίθηκαν ως αβέβαιοι.

Προς την κατεύθυνση της βελτίωσης της ανάλυσης που στηρίζεται στην ανάλυση σεναρίων, διάφορες μελέτες έχουν προτείνει καινοτόμους τρόπους αντιμετώπισης των εγγενών αβεβαιοτήτων του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού. Για παράδειγμα οι Guivarch et al. (2017), οι Trutnevyte et al. (2016a) και οι Trutnevyte et al. (2016b), στηρίχθηκαν στη σκιαγράφιση σεναρίων με λήψη ποικίλων αβεβαιοτήτων, κάτι το οποίο οδήγησε στην επιλογή μία μικρής μερίδας σεναρίων εξ' αυτών.

Παρομοίως, οι Pappis et al. (2021) εξέτασαν με το ενεργειακό μοντέλο OSeMOSYS, τον εξηλεκτρισμό του ενεργειακού συστήματος της Παραγουάης, για την περίοδο που εκτείνεται από το 2018 μέχρι το 2040. Στην προσπάθεια ενσωμάτωσης της αβεβαιότητας στη διαδικασία μοντελοποίησης, έλαβαν υπόψιν τρία σενάρια σχετικά με την εξέλιξη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, και τέσσερα σενάρια σχετικά με την εξέλιξη των τιμών εξαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Βραζιλία.

Ωστόσο, παρά την ευρεία χρήση της προσέγγισης της ανάλυσης σεναρίων για τη διαχείριση της αβεβαιότητας του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, έχουν διατυπωθεί αρκετές κριτικές για αυτή την προσέγγιση. Πιο συγκεκριμένα, οι Usher και Strachan et. al. (2012) υποστήριξαν ότι η ντετερμινιστική μεθοδολογία δεν είναι κατάλληλη για σύνθετα και πολυεπίπεδα προβλήματα με εγγενείς αβεβαιότητες, όπως είναι ο ηλεκτροπαραγωγικός σχεδιασμός. Στο ίδιο μήκος κύματος, οι Trutnevyte et al. (2016) τόνισαν ότι οι απλές ντετερμινιστικές προσεγγίσεις με σκοπό τη μοντελοποίηση ηλεκτροπαραγωγικών συστημάτων, συχνά δεν λαμβάνουν υπόψιν τις ρεαλιστικές συνθήκες με τις οποίες λειτουργούν. Παρομοίως, οι Morgan και Keith et. al. (2008) υποστήριξαν ότι τα σενάρια με αναλυτικές υποθέσεις, συχνά δεν λαμβάνουν υπόψιν τους όλο το εύρος των πιθανών αποτελεσμάτων, κάτι το οποίο οδηγεί σε μεροληψία (“cognitive bias”) και κάνει την πραγματοποίηση αυτών των σεναρίων να φαίνεται περισσότερο πιθανή απ’ ό,τι πραγματικά είναι.

Σε αυτό το πλαίσιο, έχουν αναπτυχθεί μία σειρά από περισσότερο πολύπλοκες τεχνικές, οι οποίες στοχεύουν στην προσομοίωση της αβεβαιότητας του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού με έναν περισσότερο αποδοτικό τρόπο. Συγκεκριμένα, τέσσερις τέτοιες τεχνικές εντοπίζονται στη σχετική βιβλιογραφία, ως εξής (Bertsimas et al., 2011; DeCarolis, 2011; Hu and Hobbs, 2010; Labriet et al., 2015, 2008; Loulou and Lehtila, 2012; O’Hagan, 2012; Riahi et al., 2015; Saltelli et al., 2008; Shapiro et al., 2021):

- i. **Ανάλυση “Monte Carlo”:** Η εν λόγω μέθοδος αναπαράγει αβεβαιότητες, «διαταράσσοντας» διάφορες παραμέτρους εισόδου, τις οποίες αναπαριστά με κατανομές πιθανότητας. Με άλλα λόγια, εξετάζει το πως η αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων μπορεί να αποδοθεί στην μεταβλητότητα των παραμέτρων εισόδου του μοντέλου.

- ii. **Στοχαστικός Προγραμματισμός (“Stochastic programming”)**: Η συγκεκριμένη μεθοδολογία θεωρεί πολλαπλές μελλοντικές αβεβαιότητες και καθορίζει τη βέλτιστη στρατηγική, μέσω ενός συμβιβασμού των συνεπειών από μία λανθασμένη πρόβλεψη. Οπότε, το στοχαστικό αποτέλεσμα προσφέρει μία στρατηγική «αντιστάθμισης» (“*hedging strategy*”), η οποία υποδεικνύει μία μοναδική βέλτιστη δράση στο σήμερα. Όταν οι πραγματικές τιμές των παραμέτρων αβεβαιότητας γίνουν γνωστές, η στρατηγική «αντιστάθμισης» του κινδύνου, παράγει τόσες πιθανές στρατηγικές όσος και ο αριθμός των πιθανών αποτελεσμάτων.
- iii. **«Εύρωστη Βελτιστοποίηση» (“Robust optimization”)**: Αποτελεί μία εναλλακτική προσέγγιση, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποφυγή του υπολογιστικού φόρτου των υπολοίπων τεχνικών, ενώ παράλληλα λαμβάνει υπόψιν έναν μεγάλο αριθμό αβέβαιων παραμέτρων. Η πληροφορία που απαιτείται για τις αβέβαιες παραμέτρους, σχετίζεται με το εύρος της αβεβαιότητας για κάθε παράμετρο (δεν απαιτείται κάποια κατανομή πιθανότητας).
- iv. **«Μοντελοποίηση για την παραγωγή εναλλακτικών» (“Modelling to generate alternatives”)**: Η εν λόγω μέθοδος, πέρα από τις «παραμετρικές» αβεβαιότητες που μπορούν να ενσωματώσουν οι άλλες διαθέσιμες μέθοδοι, μπορεί να διαχειριστεί και τις δομικές αβεβαιότητες των μοντέλων ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, για τις οποίες έχει επανειλημμένως επισημανθεί στη διεθνή βιβλιογραφία ότι πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν.

Όπως προκύπτει από την ανάλυση των παραπάνω μεθόδων, η ανάλυση “*Monte Carlo*” είναι ένας πιο συστηματικός τρόπος για την ανάλυση των αβεβαιοτήτων του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού. Ωστόσο, απαιτεί σημαντική υπολογιστική ισχύ, κάτι το οποίο επιτείνεται από το γεγονός ότι τα ενεργειακά μοντέλα αποτελούνται από χιλιάδες μεταβλητές. Επίσης, η συλλογή αξιόπιστων κατανομών πιθανότητας για τις αβέβαιες παραμέτρους εισόδου παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες, το οποίο σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η εν λόγω ανάλυση είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις υποθέσεις σχετικά με τις κατανομές πιθανότητας, μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά αποτελέσματα για έτερες κατανομές πιθανότητας, ακόμη και αν έχουν την ίδια μέση τιμή και διακύμανση.

Ο «Στοχαστικός προγραμματισμός» είναι σε θέση να παράσχει μία μοναδική βέλτιστη «αντισταθμιστική» στρατηγική, η οποία είναι επιθυμητή από του λήπτες αποφάσεων. Η εν λόγω προσέγγιση υπολείπεται από παρόμοιες προσεγγίσεις όπως η ανάλυση “*Monte Carlo*” σε όρους υπολογιστικού φόρτου και στην υποχρέωση της λήψης πληροφορίας σχετικά με την αβεβαιότητα.

Η «Εύρωστη βελτιστοποίηση» προσφέρει λύσεις «ενάντια στον κίνδυνο» (“*risk-averse*”) μην απαιτώντας τη γνώση των κατανομών πιθανότητας για τα δεδομένα εισόδου. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι μπορεί να αναγνωρίσει ποιες στρατηγικές είναι πιο εύρωστες υπό συνθήκες αβεβαιότητας, αποτυγχάνει να παράσχει μία ενοποιημένη στρατηγική «αντιστάθμισης του κινδύνου» (“*hedging strategy*”), όπως ο «Στοχαστικός προγραμματισμός». Επίσης, η εν λόγω μέθοδος συνεισφέρει στην καλύτερη κατανόηση των πηγών αβεβαιότητας που παρουσιάζουν την ισχυρότερη επίδραση στα αποτελέσματα του μοντέλου. Ωστόσο, όταν οι κατανομές πιθανότητας και η συνδιακύμανση μεταξύ των δεδομένων εισόδου μπορούν να προσδιορισθούν, η «Εύρωστη βελτιστοποίηση» υπολείπεται έναντι της μεθόδου “Monte Carlo”.

Συνοψίζοντας, ένα βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από τη μελέτη των τεσσάρων μεθόδων ανάλυσης της αβεβαιότητας του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, είναι ότι η κάθε μία από αυτές έχει τη δική της εστίαση, παρουσιάζει διακριτά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, και παρέχει πληροφορία για διαφορετικές πτυχές της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Οπότε, η επιλογή της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί από τον διενεργούντα την ανάλυση, πρέπει να πραγματοποιείται με γνώμονα διάφορα ζητήματα, όπως η διαθεσιμότητα των απαραίτητων δεδομένων, το εύρος της αβεβαιότητας που πρέπει να ληφθεί υπόψιν και τη φύση των ερωτημάτων που πρέπει να απαντηθούν ανά περίπτωση. Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω μέθοδοι ανάλυσης της αβεβαιότητας, δεν είναι αμοιβαίως αποκλειόμενες και πρέπει να εφαρμόζονται συμπληρωματικά με τις υπόλοιπες διαθέσιμες μεθόδους, έτσι ώστε να παράσχεται μία πιο ολοκληρωμένη ανάλυση.

## 2.2 Μέθοδοι Πολυκριτήριας Ανάλυσης Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού

### 2.2.1 Βασικοί Ορισμοί

Όπως έχει αναφερθεί μέχρι στιγμής στην παρούσα διδακτορική διατριβή, μία ηλεκτροπαραγωγική πολιτική επηρεάζει πολλές πτυχές του ενεργειακού συστήματος μίας χώρας και της ευρύτερης οικονομίας. Επίσης, ένα άλλο εγγενές χαρακτηριστικό αυτού του είδους των πολιτικών, είναι ότι δύναται να παρουσιάζουν καλύτερη επίδοση υπό το πρίσμα κάποιων συγκεκριμένων κριτηρίων, αλλά χειρότερη από τη σκοπιά έτερων ανταγωνιστικών κριτηρίων. Με άλλα λόγια, οι όψεις των προβλημάτων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, είναι συνήθως μεταξύ τους ανταγωνιστικές.

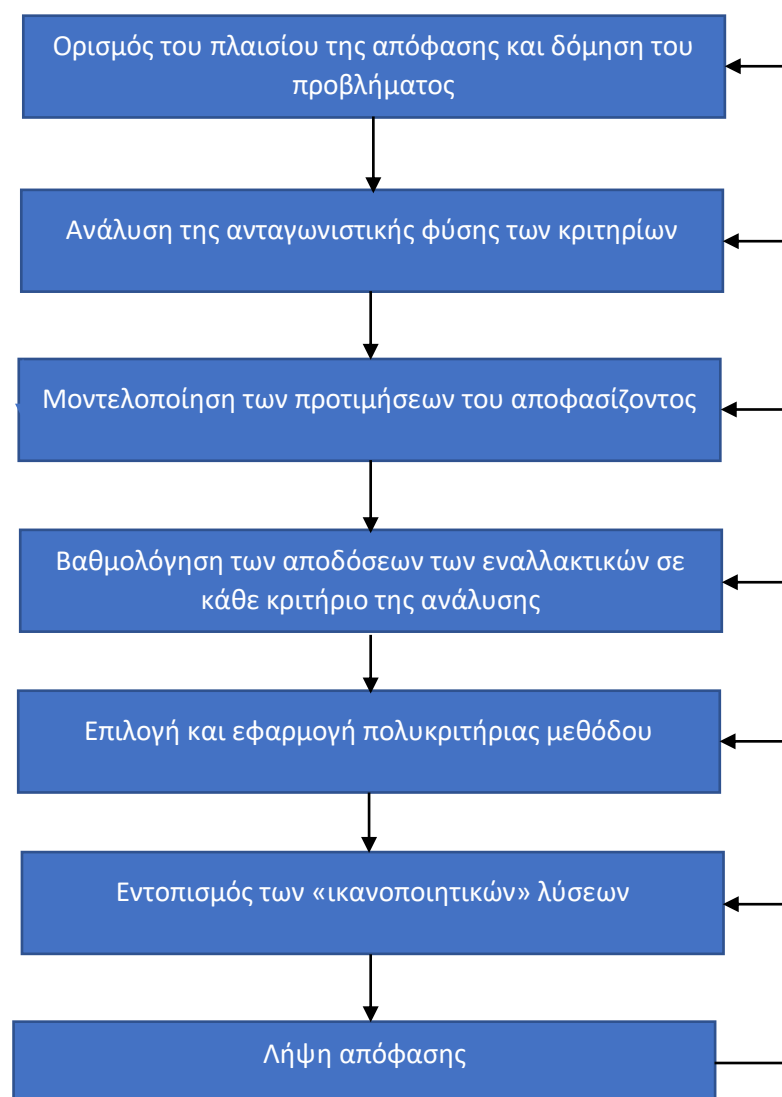
Αυτό το φαινόμενο, καλείται ως «ανταγωνισμός στόχων» μεταξύ δύο κριτηρίων, καθώς για να επιτευχθεί καλύτερη επίδοση σε ένα κριτήριο, θα πρέπει να «θυσιαστεί» ένα μέρος της επίδοσης σε κάποιο έτερο κριτήριο της ανάλυσης. Παραδείγματος χάριν, στα προβλήματα που άπτονται του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, πολλές φορές το περιβαλλοντικό κριτήριο είναι ανταγωνιστικό με το οικονομικό κριτήριο της ανάλυσης. Αυτό συμβαίνει, καθώς οι πολιτικές οι οποίες επιτυγχάνουν καλύτερη επίδοση στο περιβαλλοντικό κριτήριο, είναι αυτές που συνήθως περιλαμβάνουν περισσότερο καινοτόμες «καθαρές» τεχνολογίες, οι οποίες όμως έχουν το μειονέκτημα, ότι παρουσιάζουν υψηλότερο κόστος, τουλάχιστον στα πρώτα στάδια της διείσδυσής τους στην αγορά και πριν περάσουν στο στάδιο της ωρίμανσης.

Οπότε, στα προβλήματα αυτής της υφής, συστήνεται η χρήση μίας μεθόδου Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων (ΠΑΑ). Αυτό καθώς οι κλασικές μέθοδοι της επιχειρησιακής έρευνας αντιμετωπίζουν τα προβλήματα που καλούνται να λύσουν, με έναν μονοδιάστατο τρόπο, δηλαδή υπό το πρίσμα ενός κριτηρίου ή μίας αντικειμενικής συνάρτησης. Ως συνέπεια, είναι σε θέση να αναγνωρίσουν λύσεις οι οποίες είναι αντικειμενικά οι καλύτερες. Στον αντίποδα, οι μέθοδοι ΠΑΑ, συγκεράζουν όλα τα κριτήρια της ανάλυσης, αναγνωρίζοντας την πολιτική η οποία παρουσιάζει καλύτερα χαρακτηριστικά σε σύγκριση με τις ανταγωνιστές πολιτικές που λαμβάνονται υπόψιν στην ανάλυση, λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα κριτήρια της ανάλυσης και τους υπάρχοντες περιορισμούς (Cohon, 2004; Unwin, 1984). Δεδομένου ότι τα κριτήρια της ανάλυσης είναι αντισταθμιστικά μεταξύ τους, η λύση εξαρτάται ιδιαίτερα από τις προτιμήσεις του αποφασίζοντος και αποτελεί λύση «συμβιβασμού» μεταξύ των ανταγωνιστικών κριτηρίων της ανάλυσης. Οπότε, η λύση η οποία αναγνωρίζεται από μία μέθοδο ΠΑΑ είναι «υποκειμενικά» η καλύτερη με βάση τις προτιμήσεις, ανάγκες ή απόψεις του αποφασίζοντος ή τους εκτελούντος την ανάλυση, καθώς σύμφωνα με αυτές, μία διαφορετική βαρύτητα αντιστοιχεί σε κάθε κριτήριο της ανάλυσης.

Ως εκ τούτου, οι μέθοδοι ΠΑΑ είναι σε θέση να αναγνωρίσουν τις ανταλλαγές, τα οφέλη και τις λύσεις «συμβιβασμού» στα προβλήματα ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού και εν γένει στα προβλήματα ενεργειακής πολιτικής, και αυτός είναι ο λόγος που προτιμώνται στα προβλήματα αυτής

της φύσης. Τα βήματα επίλυσης ενός προβλήματος ΠΑΑ, μπορούν να συνοψιστούν σε επτά στάδια, όπως απεικονίζεται στο *Σχήμα 3*. Μεταξύ αυτών των βημάτων, καίριας σημασίας αποτελεί η συλλογή και μοντελοποίηση των προτιμήσεων του αποφασίζοντος ή της ομάδας εμπλεκομένων, οι οποίες επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τη διαδικασία εντοπισμού της λύση «συμβιβασμού» του υπό αξιολόγηση προβλήματος. Οπότε, μία λανθασμένη ή ανακριβής μοντελοποίηση αυτών των προτιμήσεων, δύναται να οδηγήσει σε ένα ανακριβή εντοπισμό της επιλογής που παρουσιάζει τις καλύτερες προοπτικές για τον αποφασίζοντα και συνεπακόλουθα σε λανθασμένη λήψη απόφασης.

*Σχήμα 3: Βήματα επίλυσης ενός προβλήματος Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων (ΠΑΑ).*



Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, μεταξύ των εναλλακτικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται στις αξιολογήσεις που περιλαμβάνουν πολλαπλά κριτήρια και πολλαπλούς εμπλεκόμενους, η ΠΑΑ είναι

συνήθως αυτή που επιλέγεται για μία σειρά από λόγους, οι οποίοι μπορούν να συνοψισθούν στα παρακάτω πλεονεκτήματα που παρουσιάζει (Kaminaris et al., 2006; Løken, 2007; Pohekar and Ramachandran, 2004; Tsoutsos et al., 2009):

- Διαχείριση ποσοτικής και ποιοτικής πληροφορίας,
- Ευκολία ερμηνείας των παραγόμενων αποτελεσμάτων,
- Προσαρμοστικότητα στις ανάγκες του υπό εξέταση προβλήματος,
- Ευρεία εφαρμογή σε προβλήματα ενεργειακής πολιτικής,
- Απλή και Αποδοτική ενσωμάτωση της υποκειμενικότητας του αποφασίζοντος.

Από την άλλη μεριά, ωστόσο, η ΠΑΑ παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου, αυτά συνήθως έχουν να κάνουν με την υποκειμενικότητα που περιλαμβάνει, όπως παραδείγματος χάριν κατά τη διαδικασία απονομής βαρών στα κριτήρια της ανάλυσης, και το οποίο μπορεί να αναγνωρισθεί σε μεγαλύτερο βαθμό όταν η σχετική διαδικασία περιλαμβάνει τη διαχείριση ποιοτικής πληροφορίας. Με άλλα λόγια, κάθε εμπλεκόμενος είναι υπεύθυνος για την αξιοπιστία της πληροφορίας που προσφέρει στην ανάλυση, κάτι το οποίο μειώνει την ευρωστία της ανάλυσης. Για αυτό το λόγο, η ανάλυση θα πρέπει να παρουσιάζει μία συνέπεια όσον αφορά τη μέθοδο που χρησιμοποιεί για να μετατρέψει αυτή την πληροφορία σε ποσοτικά νούμερα.

Τις τελευταίες δεκαετίες, η ατελής πληροφορία έχει ευρέως χρησιμοποιηθεί σε προβλήματα ΠΑΑ όπου είναι δύσκολη η συλλογή δεδομένων με έναν ακριβή τρόπο εξαιτίας διαφόρων λόγων (π.χ. η απόφαση λαμβάνεται υπό πίεση χρόνου, ο αποφασίζων δεν επιθυμεί να παράσχει ακριβή δεδομένα, ο αποφασίζων έχει περιορισμένο πεδίο πληροφόρησης; Weber, 1987, 1985). Η ατελής πληροφορία σε προβλήματα ΠΑΑ στη βιβλιογραφία, συναντάται στη μορφή ατελών βαρών στα κριτήρια της ανάλυσης ή/και ατελών τιμών στις επιδόσεις των υπό αξιολόγηση πολιτικών κατά μήκος των κριτηρίων της ανάλυσης. Πολλαπλές μελέτες συναντώνται στη βιβλιογραφία οι οποίες αφορούν μελέτες στις οποίες μοντελοποιούνται ατελή βάρη, ενώ σε αντίθεση ο αριθμός των μελετών που αφορούν ατελής τιμές είναι αρκετά περιορισμένος, καθώς αυτό συναντάται περισσότερο συχνά στην πράξη (Ahn and Park, 2008; Eum et al., 2001). Οι γραμμικοί τύποι ατελών τιμών συνήθως περιλαμβάνουν τις εξής κατηγορίες (Ahn, 2015; Park, 2004):

- «Αυστηρή προτίμηση» (*“Strict preference”*),
- «Αδύναμη προτίμηση» (*“Weak preference”*),
- «Αδύναμες διαφορές ή προτίμηση» (*“Weak differences of preference”*),
- «Προτιμήσεις αναλογίας» (*“Ratio preferences”*).

Όσον αφορά το κομμάτι των εμπλεκόμενων παραγόντων σε προβλήματα ΠΑΑ, συνήθως είναι αυτοί που έχουν κάποιο συμφέρον εντός του κύκλου της διαδικασίας λήψης απόφασης, και στους οποίους παρέχεται συνήθως η νομική υποχρέωση της συμμετοχής στη διαδικασία λήψης απόφασης ή επιδιώκεται η συμμετοχή τους για να προστεθεί μία κοινωνικο-πολιτική διάσταση στη σχετική διαδικασία (Renn et al., 1993). Ανάλογα με το βαθμό επιρροής τους στη λήψη αποφάσεων και το είδος των συμφερόντων τους από αυτές, μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής (Bryson, 2004; Nevill, 1999):

- «Παίκτες ή σημαντικοί παράγοντες» (“*Players or critical actors*”): Έχουν ταυτόχρονα συμφέρον και σημαντική επιρροή στις αποφάσεις.
- «Ρυθμιστές συνθηκών» (“*Context setters*”): Έχουν επιρροή στις αποφάσεις αλλά ισχνό άμεσο συμφέρον από αυτές.
- «Υποκείμενα ή παθητικά εμπλεκόμενοι παράγοντες» (“*Subjects or passively involved actors*”): Έχουν συμφέρον αλλά ισχνή επιρροή στις αποφάσεις.
- «Πλήθος ή έμμεσα εμπλεκόμενοι παράγοντες» (“*Crowd or indirectly involved actors*”): Έχουν ισχνή επιρροή και συμφέρον από τις αποφάσεις.

### 2.2.2 Κατηγορίες Μεθόδων

Οι διαθέσιμες πολυκριτήριες μέθοδοι, ανάλογα με τη φύση των αποτελεσμάτων που παράγουν και κατ’ επέκταση το είδος της πληροφορίας που παρέχουν στον διενεργούντα την ανάλυση, μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:

- Μέθοδοι Επιλογής (“*Choice*”),
- Μέθοδοι Ταξινόμησης (“*Sorting/Classification*”),
- Μέθοδοι Κατάταξης (“*Ranking*”),
- Μέθοδοι Περιγραφής (“*Description*”).

Αυτή η κατηγοριοποίηση φαίνεται συνοπτικά και στην **Εικόνα 7**, στην οποία παρουσιάζεται το είδος των αποτελεσμάτων που παράγει η κάθε κατηγορία μεθόδων ΠΑΑ. Όπως φαίνεται σε αυτή την εικόνα, το είδος της πληροφόρησης που παρέχεται στον αποφασίζοντα μπορεί να διαφέρει αρκετά από μία κατηγορία μεθόδων ΠΑΑ σε μία άλλη.

Μία άλλη κατηγοριοποίηση των μεθόδων ΠΑΑ, είναι αυτή σύμφωνα με την οποία οι μέθοδοι ΠΑΑ σε διακριτά προβλήματα απόφασης, μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες γενικές κατηγορίες (Δούμπος and Ζοπουνίδης, 2004; Ματσατσίνης et al., 2007):

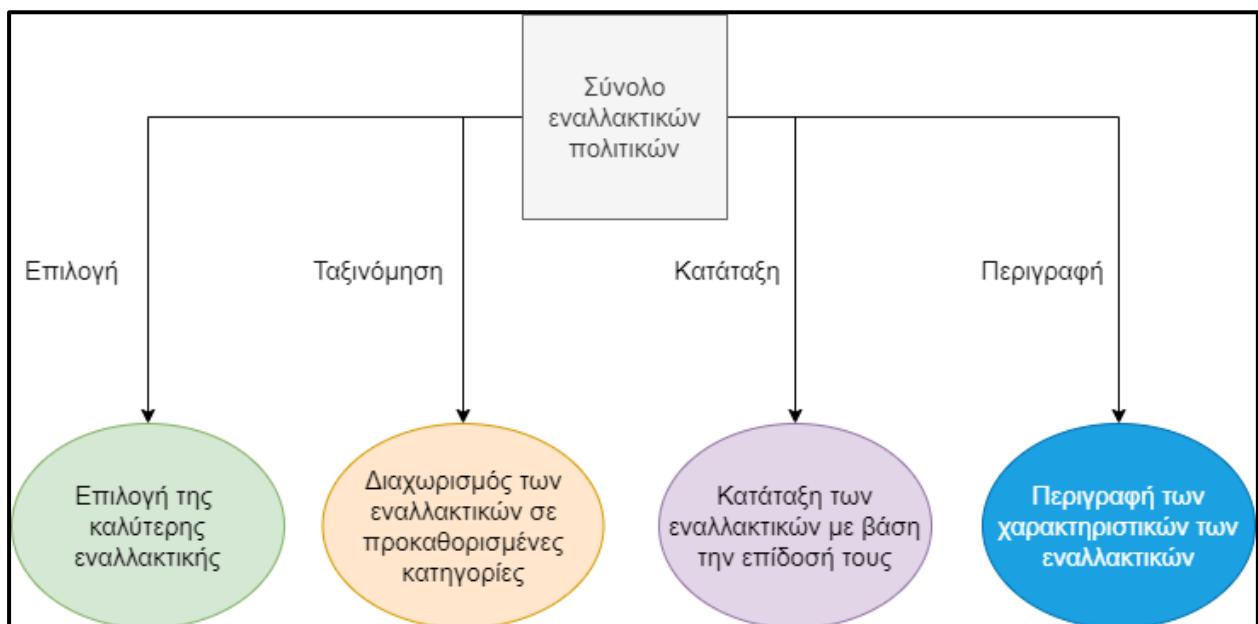
- Μέθοδοι «Θεωρίας Αξίας» ή «Θεωρίας Χρησιμότητας» (“*Multi Attribute Utility Theory – MAUT*”);
- Μέθοδοι «Θεωρίας Σχέσεων Υπεροχής» (“*Outranking Relations Theory*”);

- Μέθοδοι «Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης» (“Preference disaggregation approach”).

Οι μέθοδοι «Θεωρίας Αξίας» ή «Θεωρίας Χρησιμότητας», οι οποίες αναφέρονται στη βιβλιογραφία και σαν «Αμερικάνικη Σχολή», στοχεύουν στην κατασκευή ενός συστήματος αξιών το οποίο προκύπτει από τη σύνθεση των προτιμήσεων των ληπτών αποφάσεων στα κριτήρια της ανάλυσης. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, η βέλτιστη εναλλακτική, είναι αυτή που επιτυγχάνει τη μεγαλύτερη «χρησιμότητα» για τον αποφασίζοντα, υπό το πρίσμα της ικανοποίησης των προτιμήσεών του.

Στον αντίποδα, οι μέθοδοι «Αναλυτικής-Συνθετικής Προσέγγισης» παρουσιάζουν τα αντίθετα χαρακτηριστικά από τις μεθόδους «Θεωρίας Χρησιμότητας», καθώς στοχεύουν στην ανάπτυξη ενός γενικού μεθοδολογικού πλαισίου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση αποφάσεων, ώστε να καθοριστεί το κατάλληλο υπόδειγμα σύνθεσης των κριτηρίων, το οποίο ανταποκρίνεται στο σύστημα αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα. Τέλος, οι μέθοδοι της «Θεωρίας Σχέσεων Υπεροχής», οι οποίες καλούνται στην βιβλιογραφία και σαν «Γαλλική ή Ευρωπαϊκή Σχολή», στοχεύουν στην αντιμετώπιση του προβλήματος της μη-συγκρισιμότητας μεταξύ των εναλλακτικών του προβλήματος και στηρίζονται στη διενέργεια διμερών συγκρίσεων μεταξύ των εναλλακτικών του υπό εξέταση προβλήματος.

*Εικόνα 7: Κατηγοριοποίηση των διαθέσιμων μεθόδων ΠΑΑ, με βάση τα αποτελέσματα που παράγουν.*





### 2.2.3 Ορισμός και Αξιολόγηση Κριτηρίων Επίδοσης

Με βάση τα όσα έχουν αναφερθεί σε αυτό το κεφάλαιο, μία ηλεκτροπαραγωγική πολιτική επηρεάζει και συνδέεται με πολλές πτυχές του ενεργειακού συστήματος και της ευρύτερης οικονομίας μίας χώρας, οπότε και εκτείνεται κατά πολύ πέρα από τον ενεργειακό τομέα. Ως συνέπεια, ένα βασικό βήμα της ανάλυσης είναι η αναγνώριση των κριτηρίων που πρέπει να ληφθούν υπόψιν και με βάση τα οποία πρέπει να γίνει η αξιολόγηση των εξεταζόμενων εναλλακτικών. Για να είναι αυτή η αναγνώριση ποιοτική, θα πρέπει τα επιλεγμένα κριτήρια να ικανοποιούν τις ακόλουθες συνθήκες (Cohon, 2004):

- Να είναι **«πλήρη/επαρκή»**, να καλύπτουν δηλαδή όλες τις σημαντικές πτυχές του προβλήματος,
- Να είναι **«λειτουργικά»**, να είναι δηλαδή ουσίας για τη λήψη της απόφασης,
- Να είναι **«μονότονα»**, δηλαδή οι βαθμολογίες που αντιστοιχίζονται στα επίπεδα των κριτηρίων να εμφανίζουν μονοτονία,
- Να είναι **«μη-πλεοναστικά»**, δηλαδή με τη διαγραφή οποιουδήποτε κριτηρίου της ανάλυσης, να καταστρατηγείται μία από τις τρεις πρώτες συνθήκες.

Επίσης, ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό της ανάλυσης ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, είναι ότι οι αποφασίζοντες και οι χαράσσοντες πολιτική, δύναται να παρουσιάζουν διαφορετικές προτιμήσεις και στόχους ανά περίπτωση. Παραδείγματος χάριν, ένας αποφασίζων ο οποίος προέρχεται από μία χώρα με ασθενή οικονομία, είναι λογικό να θέτει σαν προτεραιότητα την απόδοση της πολιτικής στο οικονομικό κριτήριο, σε σχέση με τα υπόλοιπα κριτήρια της ανάλυσης. Σε αντίθεση, ένας αποφασίζων ο οποίος προέρχεται από μια χώρα η οποία βασίζεται σε μεγάλο βαθμό για να καλύψει την απαιτούμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, στις εισαγωγές από άλλες χώρες, είναι λογικό να θέτει ως προτεραιότητα το κριτήριο της αυτονομίας του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος. Θα πρέπει να τονιστεί, ότι οι προτιμήσεις του διενεργούντα την ανάλυση —οι οποίες δύναται να αντικατοπτρίζουν τις προτιμήσεις μίας σειράς από εμπλεκόμενους στη σχετική διαδικασία— δεδομένης της αντισταθμιστικότητας των θεωρούμενων κριτηρίων επίδοσης, επηρεάζουν σημαντικά τα εξαγόμενα αποτελέσματα.

Οπότε, κρίνεται απαραίτητη η αποδοτική μοντελοποίηση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα, οι οποίες δύναται να διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από περίπτωση σε περίπτωση. Οπότε, απαντάται το ερώτημα σχετικά με το *«ποιες είναι οι βαρύτητες που πρέπει να αποδοθούν στις επιμέρους διαδρομές;»*, ώστε να ληφθούν υπόψιν οι προτιμήσεις των εμπλεκόμενων και να γίνουν συνδιαμορφωτές της επιχειρούμενης μετάβασης του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος και του τελικού οδικού χάρτη που θα πρέπει να ακολουθηθεί.

Η μοντελοποίηση των προτεραιοτήτων του αποφασίζοντα, γίνεται μέσω της απονομής βαρών στα διάφορα κριτήρια της ανάλυσης. Με άλλα λόγια, αρχικά συλλέγονται οι προτεραιότητες του αποφασίζοντος ή της ομάδας εμπλεκομένων στην ανάλυση, και έπειτα, αυτές «μεταφράζονται» σε συγκεκριμένες βαρύτητες στα κριτήρια της ανάλυσης. Για το σκοπό αυτό, έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι μέχρι σήμερα στη βιβλιογραφία, όπου η κάθε μία προτείνει ένα μοναδικό τρόπο με τον οποίο οι προτιμήσεις του αποφασίζοντος μπορούν να «μεταφραστούν» σε βάρη στα κριτήρια της ανάλυσης, και οι οποίες συνήθως διακρίνονται ανάλογα με το επίπεδο πολυπλοκότητας που παρουσιάζουν. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί, ότι το βάρος ενός κριτηρίου θα πρέπει να ερμηνεύεται, ως ο βαθμός στον οποίο ένα κριτήριο επηρεάζει την υπόθεση ότι η εναλλακτική  $i$  προτιμάται από μία εναλλακτική  $j$ , όταν όλα τα κριτήρια της ανάλυσης λαμβάνονται υπόψιν (Tsoutsos et al., 2009).

Η πιο απλή από τις διαθέσιμες μεθόδους απονομής «βαρών», είναι αυτή των «ίσων βαρών» (“equal weighting”). Η εν λόγω μέθοδος απονέμει ίσα βάρη στα διάφορα κριτήρια της ανάλυσης με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{βάρος κριτηρίου} = \frac{1}{v} \quad (1)$$

όπου  $v$ : το πλήθος των κριτηρίων αξιολόγησης.

Οπότε, η εν λόγω μέθοδος κάνει τη θεώρηση, ότι όλα τα κριτήρια είναι ίσης σημασίας για τον αποφασίζοντα. Ωστόσο, λόγω του ότι η συγκεκριμένη θεώρηση δεν προσομοιάζει με την πραγματικότητα, η χρήση αυτής της μεθόδου στη βιβλιογραφία είναι περιορισμένης έκτασης.

Μία έτερη μέθοδος η οποία παρουσιάζει επίσης σημαντική απλότητα, είναι αυτή της «άμεσης εκτίμησης», η οποία περιλαμβάνει ερωτήσεις προς τον αποφασίζοντα, μέσω των οποίων, προσδιορίζεται η σημαντικότητα κάθε κριτηρίου σε μία οριζόμενη κλίμακα, π.χ. από 1 μέχρι το 10, όπου τα δύο άκρα της κλίμακας αντιστοιχούν στο πιο σημαντικό και στο λιγότερο-σημαντικό κριτήριο, αντίστοιχα. Έπειτα, η σχετική σημαντικότητα (“relative importance”) κάθε κριτηρίου, υπολογίζεται διαιρώντας την βαθμολογία που έχει απονεμηθεί στο κριτήριο από τον αποφασίζοντα, με το συνολικό άθροισμα των βαθμολογιών που έχουν απονεμηθεί σε όλα τα κριτήρια της ανάλυσης, ώστε το άθροισμα των βαρών να ισούται με 1.

Η «κεντροειδής σειρά κατάταξης» (“rank order centroid”) αποτελεί μία έτερη μέθοδο απονομής βαρών, η οποία βασίζεται στην υποκειμενική αντίληψη του αποφασίζοντα. Τα βάρη προκύπτουν με αριθμητική «μετάφραση» της κατάταξης των κριτηρίων από τον αποφασίζοντα. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο βήμα της ανάλυσης, ο αποφασίζων κατατάσσει τα εναλλακτικά κριτήρια με βάση την υποκειμενική του κρίση. Έπειτα το βάρος κάθε κριτηρίου υπολογίζεται με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{βάρος κριτηρίου} = \frac{1}{n} \sum_{j=i}^n \frac{1}{n}, \quad (2)$$

όπου  $n$ : το πλήθος των κριτηρίων αξιολόγησης και  $i$ : η θέση του κριτηρίου στην κατάταξη.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι η συγκεκριμένη μέθοδος αναγνωρίζεται ως μία από τις πλέον ακριβείς, σε σχέση με τις άλλες «μεθόδους αντικατάστασης» (“*surrogate methods*”) που υπάρχουν στην βιβλιογραφία.

Μία ακόμη μέθοδος απονομής βαρών, είναι αυτή της «μεθόδου των καρτών» (“*SIMOS*”), κατά την οποία η ιεράρχηση των κριτηρίων από τον αποφασίζοντα προσομοιάζει με ένα “παιχνίδι καρτών”. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, για κάθε κριτήριο της ανάλυσης αντιστοιχεί και μία κάρτα, η οποία αναγράφει το όνομα του κριτηρίου. Ο αποφασίζων καλείται να κατατάξει τις κάρτες από τις λιγότερο στις περισσότερες σημαντικές. Επίσης, ο αποφασίζων λαμβάνει και μία σειρά από λευκές κάρτες, τις οποίες καλείται να τοποθετήσει μεταξύ δύο κριτηρίων, εφόσον θεωρεί ότι η μεταξύ τους απόσταση είναι εκτεταμένου εύρους. Επίσης, τις κάρτες που, κατά την κρίση του, αφορούν ισοβαρή κριτήρια, καλείται να τις κατατάξει στην ίδια κλάση. Αξίζει να σημειωθεί, ότι ο συγκεκριμένος τρόπος απονομής βαρυτήτων στα κριτήρια, έχει ευρέως χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικά είδη προβλημάτων, καθώς παρουσιάζει μία απλότητα και ευκολία κατά την αποτύπωση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα, συνδυάζοντας επίσης μία σχετικά ρεαλιστική απεικόνιση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα.

Τέλος, άλλος ένας διαδεδομένος τρόπος απονομής βαρών, είναι αυτός της «Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου» (“*Analytical Hierarchy Process*”-AHP). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, η σχετική προτεραιότητα κάθε κριτηρίου, υπολογίζεται μέσω της διμερούς σύγκρισής του με τα υπόλοιπα κριτήρια της ανάλυσης, με τη χρήση μία αριθμητικής κλίμακας. Τα συγκριτικά πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου, αποτελούν η απλότητα, η σαφήνεια και η ευκολία υλοποίησης.

## 2.2.4 Κύριες Μέθοδοι Πολυκριτήριας Ανάλυσης Αποφάσεων

### 2.2.4.1 Μέθοδοι «θεωρίας αξίας» ή «θεωρίας χρησιμότητας»

Μία από τις πλέον διαδεδομένες και χρησιμοποιούμενες πολυκριτήριες μεθόδους αποτελεί η μέθοδος «Θεωρίας Αξίας» ή «Θεωρίας Χρησιμότητας» (“*Multi Attribute Utility Theory*” – MAUT). Σκοπός αυτής της μεθόδου, είναι η μοντελοποίηση του συστήματος αξιών που συνειδητά ή ασυνειδητά ακολουθεί ο αποφασίζων, μέσω της δημιουργίας μιας συνάρτησης χρησιμότητας, την οποία οι αποφασίζοντες επιδιώκουν να μεγιστοποιήσουν. Αυτή η συνάρτηση χρησιμότητας μπορεί να εκφραστεί ως εξής (Humphreys, 1977; Von Winterfeldt and Fischer, 1975):

$$U(g) = \sum_{i=1}^n p_i u_i(g_i) \quad (3)$$

Όπου  $u_i$ : είναι οι συναρτήσεις μερικών χρησιμοτήτων των κριτηρίων αξιολόγησης, και  $p_i$ : είναι σταθερές που υποδηλώνουν τη σημαντικότητα (βάρος) των κριτηρίων αξιολόγησης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη μέθοδος εκφυλίζεται στη μέθοδο σταθμισμένου μέσου ("Weighted Sum Method – WSM"), όταν πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις: (α) μονοτονία κριτηρίων, (β) γραμμικότητα των μονοκριτηριακών συναρτήσεων χρησιμότητας, (γ) προσθετική συνάρτηση πολυκριτήριας χρησιμότητας.

#### 2.2.4.2 Μέθοδοι «θεωρίας σχέσεων υπεροχής»

Όσον αφορά τις μεθόδους «Θεωρίας Σχέσεων Υπεροχής» ("Outranking Relations Theory"), οι σημαντικότερες από αυτές περιλαμβάνουν τις VIKOR ("ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje"), TOPSIS ("Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), PROMETHEE (Preference Ranking Optimization METHod for Enrichment Evaluation) και ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité). Με βάση αυτές τις μεθόδους πραγματοποιείται μία κατάταξη και επιλογή μεταξύ των εναλλακτικών επιλογών του προβλήματος και άρα προσφέρεται σημαντική πληροφορία και καθοδήγηση στον αποφασίζοντα.

Μεταξύ αυτών των μεθόδων, η πολυκριτήρια μέθοδος VIKOR (Opricovic, 1998; Opricovic and Tzeng, 2007, 2004), αποτελεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο για τη διαχείριση της εγγενούς αβεβαιότητας του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού. Αυτό συμβαίνει καθώς επιτρέπει την αντιστάθμιση μεταξύ διαφορετικών οπτικών των αποφασιζόντων, επί της βάσης του αν λαμβάνεται υπόψη η συνολική, ή μόνο η χειρότερη επίδοση των αξιολογούμενων εναλλακτικών. Οπότε, η εν λόγω μέθοδος παρέχει ένα επίπεδο ευελιξίας στον αναλυτή για το πως θέλει να αξιολογήσει το υπό εξέταση πρόβλημα.

Η συγκεκριμένη μέθοδος προσομοιάζει με την πολυκριτήρια μέθοδο TOPSIS, από την άποψη ότι υπολογίζει τη βέλτιστη λύση με βάση την απόσταση των εναλλακτικών του προβλήματος από ένα ιδεατό σημείο. Η βασική τους διαφορά, όμως, έγκειται στο γεγονός ότι η TOPSIS λαμβάνει υπόψη αμφότερες τη θετική και την αρνητική ιδεατή λύση, σε αντίθεση με τη VIKOR που εστιάζει μόνο στη θετική ιδεατή λύση. Επομένως, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι με βάση τη μέθοδο VIKOR, ο κίνδυνος μιας απόφασης θεωρείται λιγότερο σημαντικός, άρα τα αποτελέσματά της απευθύνονται σε λιγότερο επιφυλακτικούς αποφασίζοντες απέναντι στον κίνδυνο.

Οπότε, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα, ότι ο συγκερασμός των πολυκριτήριων μεθόδων VIKOR και TOPSIS επιτρέπει τη συμπερίληψη στην ανάλυση των διαφορετικών ιδιοσυγκρασιακών χαρακτηριστικών των αποφασιζόντων, με βάση τον τρόπο που προσλαμβάνουν και αντιμετωπίζουν την αβεβαιότητα. Οπότε, οι εν λόγω πολυκριτήριες μέθοδοι κρίνονται ως οι πλέον κατάλληλες για τους σκοπούς της παρούσας διατριβής. Για αυτό το λόγο, παρακάτω παρατίθενται τα αναλυτικά βήματα των δύο αυτών πολυκριτήριων μεθόδων.

Όσον αφορά τα βήματα της μεθόδου VIKOR, είναι τα ακόλουθα:

- i. Αρχικά σχηματίζεται ο πίνακας απόφασης, ο οποίος αποτελείται από ένα σύνολο διακριτών εναλλακτικών  $A = \{A_1, \dots, A_m\}$  και ένα σύνολο κριτηρίων  $C = \{C_1, \dots, C_n\}$ , όπου μπορεί να είναι κριτήρια οφέλους (στόχος η μεγιστοποίηση) ή κριτήρια κόστους (στόχος η ελαχιστοποίηση). Κάθε εναλλακτική λαμβάνει μια βαθμολογία σε κάθε κριτήριο, η οποία είναι μια τιμή  $f_{ij}$ ,  $i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$ . Το πρόβλημα αυτό αποτυπώνεται στον παρακάτω πίνακα απόφασης:

Κριτήρια	$C_1$	...	$C_n$
Εναλλακτικές			
$A_1$	$f_{11}$	...	$f_{1n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$A_m$	$f_{m1}$	...	$f_{mn}$

- ii. Προσδιορισμός της καλύτερης και της χειρότερης επίδοσης  $f_j^*$  και  $f_j^-$ , αντίστοιχα, για κάθε κριτήριο  $C_j, j = 1, \dots, n$ .

➤ Αν το κριτήριο εκφράζει κάποιο όφελος, τότε:

$$f_j^* = \max_i f_{ij} \text{ και } f_j^- = \min_i f_{ij}$$

➤ Αν το κριτήριο εκφράζει κάποιο κόστος, τότε:

$$f_j^* = \min_i f_{ij} \text{ και } f_j^- = \max_i f_{ij}$$

- iii. Υπολογισμός των τιμών  $S_i$  και  $R_i, i = 1, \dots, m$ , από τις σχέσεις:

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{|f_j^* - f_{ij}|}{|f_j^* - f_j^-|} \quad (4)$$

$$R_i = \max_j w_j \frac{|f_j^* - f_{ij}|}{|f_j^* - f_j^-|} \quad (5)$$

- iv. Υπολογισμός των τιμών  $Q_i, i = 1, \dots, m$ , από τη σχέση:

$$Q_i = v \frac{(S_i - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1 - v) \frac{(R_i - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (6)$$

Όπου:

$$S^* = \min_i S_i, S^- = \max_i S_i, \\ R^* = \min_i R_i \text{ και } R^- = \max_i R_i.$$

Η παράμετρος  $v \in [0,1]$  εκφράζει το βάρος της στρατηγικής του αποφασίζοντα (συνήθως επιλέγεται  $v = 0.5$ ).

- v. Διαμόρφωση τριών λιστών κατάταξης με βάση τις τιμές  $SS$ ,  $RR$  και  $QQ$  (στόχος η μικρότερη τιμή).
- vi. Η εναλλακτική  $AA'$  που αντιστοιχεί στη μικρότερη τιμή  $QQ$  προτείνεται ως «λύση συμβιβασμού» (“*compromise solution*”), εάν ικανοποιούνται οι ακόλουθες δύο συνθήκες:

- $C_1$  (Συγκριτικό Πλεονέκτημα):

$$Q(A'') - Q(A') \geq DQ \quad (7)$$

$$DQ = \frac{1}{m - 1} \quad (8)$$

Όπου  $AA''$  είναι η εναλλακτική που βρίσκεται στη δεύτερη θέση της κατάταξης ως προς τα  $Q$ , και  $m$  ο αριθμός των εναλλακτικών.

- $C_2$  (Ευστάθεια κατά τη Λήψη Απόφασης): Η εναλλακτική  $AA'$  πρέπει, επίσης, να έχει την καλύτερη επίδοση (minimum) ως προς την τιμή  $S$  ή/και  $R$ . Μια τέτοια λύση θεωρείται ότι είναι ευσταθής κατά τη διαδικασία λήψης απόφασης.
- Αν κάποια από τις παραπάνω συνθήκες δεν ικανοποιείται, πραγματοποιούνται τα ακόλουθα βήματα:
    - ❖ Αν μόνο η συνθήκη  $C_2$  δεν ικανοποιείται, τότε προτείνεται ως λύση συμβιβασμού το σύνολο:

$$\{A', A''\}$$

- ❖ Αν μόνο η συνθήκη  $C_1$  δεν ικανοποιείται, τότε προτείνεται ως λύση συμβιβασμού το σύνολο

$$\{A', A'', \dots, A^{(M)}\}$$

Όπου η εναλλακτική  $A^{(M)}$  προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$Q(A^{(M)}) - Q(A') < DQ \quad (9)$$

για το μέγιστο  $M$  για το οποίο ισχύει η παραπάνω ανισότητα. Δηλαδή, ως λύση λαμβάνονται οι εναλλακτικές που βρίσκονται στις  $M$  καλύτερες θέσεις τις λίστας  $Q$  (οι  $M$  μικρότερες τιμές) και οι οποίες απέχουν μεταξύ τους λιγότερο από  $DQ$ .

Όποτε, με βάση τα βήματα και τους τύπους της μεθόδου VIKOR, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η προκύπτουσα συμβιβαστική λύση είναι γενικά αποδεκτή, αφού εγγυάται τόσο τη μέγιστη συνολική χρησιμότητα (όπως εκφράζεται με την ελαχιστοποίηση του  $S$ ), όσο και τη διατήρηση σε χαμηλό επίπεδο του «βαθμού δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων ως προς κάθε κριτήριο ξεχωριστά (όπως εκφράζεται με την ελαχιστοποίηση του  $R$ ).

Όσον αφορά την πολυκριτήρια μέθοδο TOPSIS, η οποία αναπτύχθηκε ως εναλλακτική της οικογένειας ELECTRE, βασίζεται στην αρχή ότι η επιλεχθείσα εναλλακτική οφείλει να έχει την

ελάχιστη γεωμετρική απόσταση από τη θετική ιδεατή λύση και τη μέγιστη από την αρνητική. Όσον αφορά τα βήματα αυτής της μεθόδου, συνίστανται στα ακόλουθα (Chen, 2021; Lai et al., 1994):

- i. Υπολογισμός του κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης, ως εξής:

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m f_{ij}^2}} \quad (10)$$

- ii. Υπολογισμός του σταθμισμένου κανονικοποιημένου πίνακα απόφασης, ως εξής:

$$p_{ij} = w_j r_{ij} \quad (11)$$

- iii. Προσδιορισμός της θετικής ιδεατής λύσης  $P^+ = (p_1^+, \dots, p_n^+)$  και της αρνητικής ιδεατής λύσης  $P^- = (p_1^-, \dots, p_n^-)$ , ως εξής:

$$p_j^+ = \begin{cases} \max_i p_{ij}, & \text{αν } C_j \text{ κριτήριο οφέλους} \\ \min_i p_{ij}, & \text{αν } C_j \text{ κριτήριο κόστους} \end{cases} \quad (12)$$

$$p_j^- = \begin{cases} \max_i p_{ij}, & \text{αν } C_j \text{ κριτήριο κόστους} \\ \min_i p_{ij}, & \text{αν } C_j \text{ κριτήριο οφέλους} \end{cases} \quad (13)$$

- iv. Για κάθε εναλλακτική, υπολογισμός της απόστασής της από τη θετική ιδεατή λύση και από την αρνητική ιδεατή λύση, ως εξής:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - p_j^+)^2} \quad (14)$$

και

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (p_{ij} - p_j^-)^2} \quad (15)$$

- v. Για κάθε εναλλακτική, υπολογισμός της σχετικής εγγύτητάς της από τη θετική ιδεατή λύση, ως εξής:

$$D_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (16)$$

- vi. Υπολογισμός της λίστας κατάταξης ως προς D. Επιλογή της εναλλακτικής με το μεγαλύτερο D.

### 2.2.5 Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων και Διαχείριση Αβεβαιότητας

Οι μέθοδοι ΠΑΑ έχουν επεκταθεί κατάλληλα, με σκοπό την αντιμετώπιση του ζητήματος της αβεβαιότητας, αναφορικά με τις τιμές των παραμέτρων που ορίζονται στα χρησιμοποιούμενα μοντέλα υποστήριξης αποφάσεων. Αυτό καθώς οι αποφασίζοντες, δεν νιώθουν σίγουροι να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα που έχουν προέλθει από παραμέτρους οι οποίες παίρνουν ακριβείς τιμές (Aissi et al., 2009). Σε αυτό το πλαίσιο, το μέτρο της «ελαχιστοποίησης του κόστους ευκαιρίας» (“minimax regret”) αποτελεί μία κυρίαρχη προσέγγιση για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας (del Granado et al., 2019), καθώς επιτρέπει στους αποφασίζοντες να λάβουν ορθολογικές αποφάσεις, υπό το πρίσμα αβέβαιων δεδομένων εισόδου (Vincke, 1999).

Στο ίδιο πλαίσιο, η πολυκριτήρια μέθοδος υποστήριξης αποφάσεων VIKOR (Opricovic and Tzeng, 2007, 2004) λειτουργεί σαν ένα αποδοτικό εργαλείο αντιμετώπισης της δυσκολίας λήψης απόφασης σε προβλήματα που παρουσιάζουν μία ισχυρή στοχαστικότητα (Kim and Ahn, 2019), καθώς ενσωματώνει την έννοια της δυσαρέσκειας (“regret”) των αποφασιζόντων. Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου VIKOR, εδράζεται στο ότι μπορεί να αντισταθμίσει τη «συνολική χρησιμότητα» ως προς όλα τα κριτήρια, με τη «μέγιστη δυσαρέσκεια» απέναντι σε κάθε ένα κριτήριο της ανάλυσης ξεχωριστά, ενώ οι απαιτούμενοι υπολογισμοί που περιλαμβάνει χαρακτηρίζονται από μία απλότητα, είτε αυτό έχει να κάνει με την αντιμετώπιση σεναρίων, είτε με τα κριτήρια της ανάλυσης.

Επίσης, ο κλασικός αλγόριθμος της μεθόδου VIKOR, έχει επεκταθεί στο πλαίσιο του χειρισμού διαφόρων μορφών αβεβαιότητας και ανακρίβειας. Σε αυτό το πλαίσιο, οι Sayadi et al. (2009) επέκτειναν την κλασική μορφή της VIKOR, θεωρώντας διαστήματα αριθμών για τον πίνακα απόφασης αντί για διακριτούς αριθμούς. Οι Kim and Ahn (2019) επέκτειναν τη μέθοδο VIKOR ακόμη περισσότερο, θεωρώντας «μη ολοκληρωμένα βάρη» (“incomplete criteria weights”) για τα κριτήρια της ανάλυσης και παρουσιάζοντας έναν αλγόριθμο ο οποίος αντιμετωπίζει τόσο ακριβείς, όσο και ανακριβείς συνέπειες. Έτερες στοχαστικές προσεγγίσεις μπορούν να εντοπιστούν στους Tavana et al. (2016) και στους Tavana et al. (2018).

Συνοψίζοντας, μία προσέγγιση η οποία στηρίζεται στην πολυκριτήρια μέθοδο VIKOR, μπορεί να αντιμετωπίσει αποδοτικά την αβεβαιότητα του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, ενώ επίσης αποτελεί ένα αποδοτικό εργαλείο για την εύρεση συμβιβαστικών λύσεων, προς την κατεύθυνση της εύρεσης της ηλεκτροπαραγωγικής πολιτικής που παρουσιάζει τα καλύτερα χαρακτηριστικά για τους αποφασίζοντες, σε σχέση με τις ανταγωνιστικές πολιτικές με τις οποίες αντιπαραβάλλεται. Έτερο σημαντικό χαρακτηριστικό της μεθόδου VIKOR, αποτελεί το γεγονός ότι έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στη διεθνή βιβλιογραφία, σε προβλήματα που άπτονται του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, τόσο με γνώμονα την αξιολόγηση εναλλακτικών πολιτικών, όσο και με σκοπό τη διαχείριση της εγγενούς αβεβαιότητας αυτού του είδους της άσκησης.



### 2.2.6 Βιβλιογραφική Επισκόπηση Εφαρμογών Πολυκριτήριας Αξιολόγησης Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού

Η μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας υποδεικνύει την πληθώρα μελετών οι οποίες έχουν δημοσιευτεί μέχρι σήμερα και στις οποίες εφαρμόζεται μία μέθοδος ΠΑΑ στον τομέα του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, δηλαδή στο κομμάτι αναφορικά με την εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού των διαθέσιμων ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών, με σκοπό την ικανοποίηση της παρουσιαζόμενης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και με βάση τους υπάρχοντες περιορισμούς (π.χ. ανώτατο επιτρεπόμενο όριο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου). Επίσης, οι στόχοι αυτών των μελετών εκτείνονται σε ένα ευρύ φάσμα, για παράδειγμα από την επιλογή της βέλτιστης ηλεκτροπαραγωγικής πολιτικής, τεχνολογίας και ηλεκτροπαραγωγικού μίγματος, μέχρι την επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας για την κατασκευή κάποιας συγκεκριμένης κατηγορίας ηλεκτροπαραγωγικού εργοστασίου και την έναρξη της διαβούλευσης με τους εμπλεκόμενους φορείς.

Ακόμη, ένα ευρύ φάσμα πολυκριτήριων μεθόδων έχει χρησιμοποιηθεί σε αυτές τις μελέτες. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται, μεταξύ άλλων, η AHP (“Analytic Hierarchy Process”; González et al., 2019), PROMETHEE I και II (Tsoutsos et al., 2009), TOPSIS (Kaya and Kahraman, 2011), ELECTRE III (Georgoroulou et al., 1997), VIKOR (Kaya and Kahraman, 2010), REGIME (Mourmouris and Potolias, 2013), «Τακτική Παλινδρόμηση» (“Ordinal Regression”; Marinakis et al., 2017) and «Προσθετική Συνάρτηση της Αξίας» (“Additive Value Function”; Ribeiro et al., 2013). Οι περισσότερες πολυκριτήριες μέθοδοι έχουν εφαρμοστεί με ένα ποσοτικό τρόπο, μέσω της χρήσης των δεδομένων για τις ηλεκτροπαραγωγικές πολιτικές ενδιαφέροντος ή των αποτελεσμάτων ενός μοντέλου βελτιστοποίησης του προγραμματισμού της ηλεκτροπαραγωγής, ή με έναν ποιοτικό τρόπο, με βάση την αξιολόγηση που έλαβε χώρα ειδικούς ή εμπειρογνώμονες, ή με έναν υβριδικό τρόπο, συνδυάζοντας τους δύο προηγούμενους τρόπους.

Στον αντίποδα, τα κριτήρια με βάση τα οποία πραγματοποιείται η ανάλυση παρουσιάζουν μία σημαντική σύγκλιση, όπου στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η ανάλυση περιλαμβάνει οικονομικά, περιβαλλοντικά, τεχνικά και κοινωνικά κριτήρια.

Σε σχέση με τη γεωγραφική ανάλυση των εν λόγω μελετών, αρκετές έχουν εστιάσει στην περίπτωση της Ελλάδας είτε σε τοπικό είτε σε εθνικό επίπεδο. Ενδεικτικά, οι Diakoulaki και Karangelis (2007) αξιολόγησαν διάφορα σενάρια ηλεκτροπαραγωγής, κάθε ένα από τα οποία θεωρούσε ένα διαφορετικό ηλεκτροπαραγωγικό μίγμα και ένα διαφορετικό ποσοστό διείσδυσης ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή. Τα κριτήρια με βάση τα οποία διενεργήθηκε η αξιολόγηση είναι τα ακόλουθα:

- **Οικονομικό κριτήριο**, το οποίο αντικατοπτρίζει την ανάγκη να ενισχυθεί η ανταγωνιστικότητα της εθνικής οικονομίας, μέσω του βέλτιστου διαμοιρασμού των χρηματοοικονομικών πόρων και της μείωσης του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας για τους τελικούς καταναλωτές. Το εν λόγω κριτήριο αξιολογήθηκε με βάση τους ακόλουθους δείκτες:

- Συνολικό κόστος επένδυσης,
- Συνολικό κόστος παραγωγής ενέργειας.
- **Τεχνικό κριτήριο**, το οποίο απεικονίζει την ανάγκη για διαθεσιμότητα και ασφάλεια της ηλεκτροπαραγωγής. Το εν λόγω κριτήριο αξιολογήθηκε με βάση τους ακόλουθους δείκτες:
  - Το ύψος του ηλεκτρισμού που μπορεί να παραχθεί με απόλυτη βεβαιότητα σε χαμηλές υδρολογικές περιόδους και με βάση μία συντηρητική πρόβλεψη για την αιολική ενέργεια,
  - Την ικανότητα ανταπόκρισης του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος στο φορτίο αιχμής,
  - Την ασφάλεια του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο περιλαμβάνει γεωπολιτικούς παράγοντες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη διαθεσιμότητα των ορυκτών καυσίμων.
- **Περιβαλλοντικό κριτήριο**, το οποίο απεικονίζει την ανάγκη για προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, στο πλαίσιο συμμόρφωσης με τις δεσμεύσεις της χώρας. Το εν λόγω κριτήριο αξιολογήθηκε με βάση τους ακόλουθους δείκτες:
  - Την ποσοστιαία αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα,
  - Τις ετήσιες εκπομπές διοξειδίου του θείου και πρωτοξειδίου του αζώτου.

Τα παραπάνω σενάρια, αξιολογήθηκαν μέσω δύο μεθόδων υποστήριξης αποφάσεων, μία ΠΑΑ και μία ανάλυση κόστους-οφέλους, για το έτος 2010. Η ΠΑΑ στηρίζεται στην αξιολόγηση των διαφορετικών σεναρίων μέσω της απονομής μίας απόδοσης για κάθε σενάριο σε κάθε κριτήριο της ανάλυσης, ενώ, σε αντίθεση, η ανάλυση κόστους-οφέλους «μεταφράζει» όλες τις επιδόσεις σε νομισματικές μονάδες.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, η ανάλυση κόστους-οφέλους παρουσιάζει το μειονέκτημα, ότι η μετατροπή των επιπτώσεων των πολιτικών σε νομισματικές μονάδες είναι μία απαιτητική διαδικασία, που θέτει αρκετούς περιορισμούς στην ανάλυση. Όσον αφορά τη μέθοδο ΠΑΑ που χρησιμοποιήθηκε, αυτή είναι η PROMETHEE, ενώ η ευαισθησία των αποτελεσμάτων σε σχέση με τις μεταβαλλόμενες προτιμήσεις του αποφασίζοντος, αξιολογήθηκε μέσω ανάλυσης σεναρίων. Το κάθε ένα από αυτά τα σενάρια θεωρούσε διαφορετικά βάρη για τα κριτήρια της ανάλυσης. Σε κάθε περίπτωση, το βάρος που απονεμήθηκε σε κάθε κατηγορία κριτηρίων, διαχωρίστηκε με ένα συμμετρικό τρόπο μεταξύ των διαφορετικών υποκριτηρίων που περιελάμβανε.

Όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα της ανάλυσης, τα διάφορα σενάρια παρουσίαζαν σημαντική αντιφατικότητα στις επιδόσεις τους μεταξύ των διαφόρων κριτηρίων της ανάλυσης, με το κάθε σενάριο να παρουσιάζει τόσο ισχυρά σημεία, όσο και ασθενή. Το σενάριο που παρουσίαζε την καλύτερη απόδοση σε σχέση με τα υπόλοιπα της ανάλυσης, ήταν αυτό που προέβλεπε τη μεγαλύτερη διείσδυση ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή. Εν γένει, όσον αφορά τις ΑΠΕ, και ανάλογα με

τις απόψεις του διενεργούντος την ανάλυση, παράγουν σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη, αλλά συνήθως συνοδεύονται με ισχυρά οικονομικά κόστη.

Αντίστοιχα, οι Tsoutsos et al. (2009) αξιολόγησαν τέσσερα ηλεκτροπαραγωγικά σενάρια για την περίπτωση της Κρήτης υπό το πρίσμα πολλαπλών κριτηρίων και διαφορετικών εμπλεκομένων, κάνοντας χρήση της πολυκριτήριας μεθόδου PROMETHEE. Τα υπό αξιολόγηση σενάρια, επιλέχθηκαν με βάση διαφορετικές τεχνολογικές λύσεις οι οποίες ήταν διαθέσιμες και βρίσκονταν υπό διαβούλευση για την περίπτωση της Κρήτης. Τα κριτήρια στα οποία στηρίχτηκε η ανάλυση ταξινομήθηκαν σε δύο μεγάλες κατηγορίες κριτηρίων, όπου η κάθε κατηγορία περιελάμβανε συγκεκριμένους δείκτες, ως εξής:

- **Τεχνο-οικονομικό** κριτήριο, με βάση τους ακόλουθους δείκτες:
  - Κόστος επένδυσης, λειτουργίας και συντήρησης,
  - Εξοικονομήσεις συμβατικών καυσίμων,
  - Ωριμότητα της τεχνολογίας,
  - Ασφάλεια παροχής.
- **Περιβαλλοντικό και Κοινωνικό Κριτήριο**, με βάση τους ακόλουθους δείκτες:
  - Εξοικονομούμενες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα,
  - Συνεισφορά στην τοπική ανάπτυξη και ευημερία,
  - Κοινωνική αποδοχή και βιωσιμότητα των αναμενόμενων περιβαλλοντικών επιπτώσεων μετά την εφαρμογή της εκάστοτε πολιτικής.

Οι εμπλεκόμενοι φορείς που λήφθηκαν υπόψιν στο πλαίσιο της εν λόγω δημοσίευσης, ήταν οι ακόλουθοι: τοπικοί φορείς, δυνητικοί επενδυτές, τοπικές κοινωνίες, ακαδημαϊκά ιδρύματα, περιβαλλοντικές ομάδες, κυβέρνηση και ΕΕ.

Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης ταξινομήθηκαν ανά εμπλεκόμενο φορέα που λήφθηκε υπόψιν και παρουσίαζαν σημαντικές αποκλίσεις, κάτι το οποίο αποδίδεται στις αποκλίνουσες προτεραιότητες κάθε ομάδας εμπλεκομένων. Οπότε, η εν λόγω δημοσίευση στόχευε όχι τόσο στο να υποδείξει το βέλτιστο σενάριο, όσο να παράσχει μία προκαταρκτική πληροφόρηση στους εμπλεκόμενους φορείς, σχετικά με τα χαρακτηριστικά κάθε σεναρίου, τα ενδεχόμενα οφέλη και τους δυνητικούς κινδύνους που απορρέουν από την εφαρμογή τους.

Στο ίδιο πλαίσιο, οι Kaya and Kahraman, (2010) προσπάθησαν να εντοπίσουν τη βέλτιστη τεχνολογία ΑΠΕ μεταξύ των διαθέσιμων επιλογών που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την περίπτωση της Κωνσταντινούπολης, όπως επίσης, επιδίωξαν να εντοπίσουν τη βέλτιστη τοποθεσία για την κατασκευή αιολικού πάρκου στην Κωνσταντινούπολη. Η πολυκριτήρια μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο της εν λόγω μελέτης, αποτέλεσε μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία, η οποία περιελάμβανε τις πολυκριτήριες μεθόδους VIKOR και AHP.

Στην πρώτη αξιολόγηση, αυτής αναφορικά με τις τεχνολογίες ΑΠΕ, τα κριτήρια τα οποία λήφθηκαν υπόψιν, ήταν τα ακόλουθα:

- **Τεχνικό** Κριτήριο, το οποίο αξιολογήθηκε με βάση τους ακόλουθους δείκτες:
  - Τεχνική Αποδοτικότητα (δηλαδή πόση ενέργεια μπορεί να ανακτηθεί από μία ενεργειακή πηγή),
  - Εξέργεια (αποδοτικότητα) Συστήματος.
- **Οικονομικό** Κριτήριο, το οποίο αξιολογήθηκε με βάση τους ακόλουθους δείκτες:
  - Αποδοτικότητα Κόστους Επένδυσης,
  - Αποδοτικότητα κόστους λειτουργίας και συντήρησης.
- **Περιβαλλοντικό** Κριτήριο, το οποίο αξιολογήθηκε με βάση τους ακόλουθους δείκτες:
  - Εκπομπές πρωτοξείδιο του αζώτου,
  - Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα,
  - Έκταση Χρησιμοποιούμενης Γης,
- **Κοινωνικό** Κριτήριο, με βάση τους ακόλουθους δείκτες:
  - Κοινωνική Αποδοχή,
  - Δημιουργία θέσεων εργασίας.

Τα βάρη των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων, καθορίστηκαν μέσω της αλληλεπίδρασης με τρεις ειδήμονες στον ηλεκτροπαραγωγικό προγραμματισμό και με βάση μία εννιαβάθμια κλίμακα, όπου όλα τα κριτήρια της ανάλυσης λήφθηκαν υπόψιν ως κριτήρια βελτιστοποίησης. Ως τέτοια, παραδείγματος χάριν, στην περίπτωση των κριτηρίων που αφορούν εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η καλύτερη επίδοση των κριτηρίων συνδέεται με χαμηλότερο επίπεδο εκπομπών. Για τη δεύτερη κατηγορία αξιολόγησης της ανάλυσης, σχετικά με την επιλογή της καλύτερης τοποθεσίας για την κατασκευή αιολικού πάρκου, σε αντίθεση με την πρώτη περίπτωση, λήφθηκαν υπόψιν τα ακόλουθα κριτήρια:

- Τεχνική Αποδοτικότητα,
- Αποδοτικότητα Κόστους Επένδυσης,
- Αποδοτικότητα Κόστους Λειτουργίας και Συντήρησης,
- Κοινωνική Αποδοχή,
- Οπτική Όχληση,
- Ακουστική Όχληση,
- Επίδραση στα οικοσυστήματα.

Όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα της ανάλυσης, η αιολική ενέργεια ήταν η τεχνολογία ΑΠΕ που μπορούσε να επιφέρει τις θετικότερες επιδράσεις στην περιοχή της Κωνσταντινούπολης, με τη βιομάζα και τη γεωθερμία να ακολουθούν στη σειρά κατάταξης.

Σε σχέση με την τεχνολογική κάλυψη των μελετών που έχουν εφαρμόσει μία πολυκριτήρια ανάλυση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, ένα σημαντικό μέρος τους έχει εστιάσει στην περίπτωση του υδρογόνου. Ενδεικτικά, οι Feitosa και Costa (2021) αξιολόγησαν πέντε σενάρια με σκοπό την εύρεση της καλύτερης ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας (από τις ήδη υπάρχουσες) για την παραγωγή υδρογόνου από ηλεκτρόλυση, για τον τομέα των μεταφορών. Η πολυκριτήρια μέθοδος η οποία εφαρμόστηκε, ήταν η MACBETH (“Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique”; MACBETH, 2021). Η εν λόγω πολυκριτήρια μέθοδος, επιτρέπει την αξιολόγηση των εναλλακτικών και την απονομή βαρών στα κριτήρια της ανάλυσης, μέσω της χρήσης γλωσσικών μεταβλητών για τη διενέργεια διμερών συγκρίσεων, μεταξύ είτε των εναλλακτικών του προβλήματος είτε τα κριτηρίων της ανάλυσης, κάτι το οποίο διευκολύνει σημαντικά τον διενεργούντα τη αξιολόγηση.

Τα κριτήρια στα οποία στηρίχθηκε η ανάλυση ήταν τα εξής:

- **Οικονομικό και Χρηματοοικονομικό** Κριτήριο, το οποίο αξιολογήθηκε με βάση τους ακόλουθους δείκτες:
  - Κόστος Επένδυσης,
  - Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Περιβαλλοντικό Κριτήριο**, το οποίο αξιολογήθηκε με βάση τους ακόλουθους δείκτες:
  - Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα,
  - Θνησιμότητα.
- **Κοινωνικό Κριτήριο**, το οποίο αξιολογήθηκε με βάση τους ακόλουθους δείκτες:
  - Ενεργειακή αποδοτικότητα.

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης υπέδειξαν ότι τα φωτοβολταϊκά εκτός δικτύου (“*off grid*”) αποτελούσαν την πιο ελκυστική επιλογή, με τα φωτοβολταϊκά εντός δικτύου (“*on grid*”) να έπονται σε όρους ελκυστικότητας.

Αντίστοιχα, οι Pilavachi et al. (2009) αξιολόγησαν επτά διαδικασίες παραγωγής υδρογόνου, χρησιμοποιώντας την πολυκριτήρια μέθοδο AHP («Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδο») και δεκαπέντε σενάρια. Αυτές οι διαδικασίες περιλάμβαναν: (α) την αναμόρφωση του μεθανίου με ατμό (“*steam methane reforming*”), (β) τη μερική οξείδωση υδρογονανθράκων (“*partial oxidation of hydrocarbons*”), (γ) την αεριοποίηση άνθρακα (“*coal gasification*”), (δ) την αεριοποίηση βιομάζας (“*biomass gasification*”), (ε) το συνδυασμό φωτοβολταϊκών και ηλεκτρόλυσης, (ε) το συνδυασμό αιολικής ενέργειας και ηλεκτρόλυσης, (ζ) το συνδυασμό υδροηλεκτρισμού και ηλεκτρόλυσης, και (η) το συνδυασμό φωτοβολταϊκών και ηλεκτρόλυσης.

Τα δεκαπέντε σενάρια περιελάμβαναν το βασικό σενάριο, την περίπτωση ίσων βαρών, πέντε περιπτώσεις μονοκριτηριακής ανάλυσης και οκτώ περιπτώσεις πολυκριτήριας ανάλυσης. Τα κριτήριά τα οποία λήφθηκαν υπόψιν ήταν τα ακόλουθα:

- **Οικονομικό Κριτήριο**, το οποίο αξιολογήθηκε με βάση τους ακόλουθους δείκτες:
  - Κόστος Παραγωγής Υδρογόνου,
  - Κόστος λειτουργίας και συντήρησης,
  - Κόστος Κεφαλαίου (κόστος εξοπλισμού, μεταφορών και κατασκευής εργοστασίων),
  - Το κόστος Πρώτων Υλών (για παραγωγή υδρογόνου).
- **Περιβαλλοντικό Κριτήριο**, το οποίο αξιολογήθηκε με βάση τους ακόλουθους δείκτες:
  - Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης, οι διαδικασίες που συνδύαζαν τεχνολογίες ΑΠΕ με ηλεκτρόλυση, επιτύγχαναν την υψηλότερη βαθμολογία σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους και, ως εκ τούτου, κατατάσσονταν υψηλότερα στη σχετική βαθμολογία. Πιο συγκεκριμένα, στις 9 από τις 15 περιπτώσεις, η πρώτη στη βαθμολογία ήταν η επιλογή του συνδυασμού υδροηλεκτρισμού και ηλεκτρόλυσης, ενώ η χειρότερη ήταν η αεριοποίηση άνθρακα.

Οι d'Amore-Domenech et al. (2020) αξιολόγησαν τέσσερις διαφορετικές τεχνολογίες ηλεκτρόλυσης για παραγωγή υδρογόνου από θαλασσινό νερό και ΑΠΕ προερχόμενες από τη θάλασσα, ως εξής: (α) Άμεση ηλεκτρόλυση από το θαλασσινό νερό, (β) Αλκαλική ηλεκτρόλυση, (γ) Ηλεκτρόλυση με Μεμβράνη Ανταλλαγής Πρωτονίου και (δ) Ηλεκτρόλυση στερεών οξειδίων.

Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποίησαν πέντε πολυκριτήριες μεθόδους με σκοπό να ελεγχθεί η ευρωστία των αποτελεσμάτων και συγκεκριμένα η συνέπεια μεταξύ των αποτελεσμάτων διαφορετικών πολυκριτήριων μεθόδων. Οι πολυκριτήριες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι εξής: α) «Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδος», «Μέθοδος Σύγκρισης πλεονεκτημάτων», γ) «Μέθοδος σύνθετης αναλογικής αξιολόγησης» (“Complex proportional assessment”), δ) «Μέθοδος απλής Προσθετικής Στάθμισης» (“Simple additive weighting”) και (ε) TOPSIS. Η «μέθοδος σύγκρισης πλεονεκτημάτων» διαφέρει από την «Αναλυτική Ιεραρχική Μέθοδο», από την άποψη ότι τα σχετικά μειονεκτήματα μεταξύ των εναλλακτικών του προβλήματος δεν λαμβάνονται υπόψιν, ωστόσο και οι δύο αυτές μέθοδοι στηρίζονται στην ποιοτική αξιολόγηση που λαμβάνει χώρα από τους αποφασίζοντες. Στον αντίποδα, οι υπόλοιπες τρεις μέθοδοι διαφοροποιούνται στο ότι είναι πλήρως αναλυτικές, χρησιμοποιώντας κατευθείαν τις τιμές από τον πίνακα απόφασης, όποτε κατ’ αυτόν τον τρόπο μειώνουν ενδεχόμενες προκαταλήψεις του αποφασίζοντος.

Τα κριτήριά τα οποία λήφθηκαν υπόψιν ήταν τα ακόλουθα:

- **Οικονομικό Κριτήριο**, το οποίο σχετίζονταν με παράγοντες που δηλώνουν κόστος που συνδέεται άμεσα με την τεχνολογία ηλεκτρόλυσης και την λειτουργίας της, με βάση τους ακόλουθους δείκτες:

- Κόστος επένδυσης,
  - Κόστος λειτουργίας και συντήρησης,
  - Ονομαστική διάρκεια ζωής (τεχνολογίας ηλεκτρόλυσης),
  - Απαίτηση επιπέδου «καθαρότητας» του νερού που προέρχεται από τη θάλασσα,
  - Απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας για ηλεκτρόλυση,
  - Ταχύτητα προσαρμογής σε ξαφνικές αλλαγές ισχύος.
- **Περιβαλλοντικό Κριτήριο**, το οποίο σχετίζονταν με παράγοντες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν το περιβάλλον με οποιονδήποτε τρόπο, με βάση τον ακόλουθο δείκτη:
    - Ρίσκο δυσμενούς περιβαλλοντικής επίδρασης.
  - **Κοινωνικό Κριτήριο**, το οποίο σχετίζονταν με παράγοντες που θα μπορούσαν να επιφέρουν οποιοδήποτε τραυματισμό στους υπαλλήλους, με βάση τον ακόλουθο δείκτη:
    - Ρίσκο δυσμενούς επίπτωσης στους εργαζομένους.

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης απέδειξαν ότι η ηλεκτρόλυση με Μembrάνη Ανταλλαγής Πρωτονίου παρουσίαζε τις καλύτερες προοπτικές βραχυπρόθεσμα, ακολουθούμενη σε μικρή απόσταση από την Αλκαλική ηλεκτρόλυση. Επίσης, και οι πέντε μέθοδοι ΠΑΑ κατέληξαν στα ίδια αποτελέσματα, δείχνοντας ότι η καλύτερη επιλογή ήταν ανεξάρτητη της πολυκριτήριας μεθόδου που χρησιμοποιείται.

Με βάση τις μελέτες που επισκοπήθηκαν σε αυτή την ενότητα (Cavallaro and Ciraolo, 2005; D'Amore-Domenech et al., 2020; Diakoulaki and Karangelis, 2007; Feitosa and Costa, 2021a; Georgoroulou et al., 1997; Kaya and Kahraman, 2011, 2010; Marinakis et al., 2017; Mourmouris and Potolias, 2013; Pilavachi et al., 2009; Ribeiro et al., 2013; Tsoutsos et al., 2009), ο **Πίνακας 3** παρουσιάζει τις οικογένειες κριτηρίων —και τα επιμέρους κριτήρια στα οποία συντίθεται κάθε οικογένεια κριτηρίων—, οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κύριο λόγο σε μελέτες ΠΑΑ, στον τομέα του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στον εν λόγω πίνακα, μία πλειάδα κριτηρίων έχουν χρησιμοποιηθεί με σκοπό την αξιολόγηση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού από μία πολυκριτήρια σκοπιά.

**Πίνακας 3:** Ταξινόμια κριτηρίων επίδοσης σε μελέτες ΠΑΑ στον τομέα του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού.

Οικογένεια Κριτηρίου	Δείκτες
Οικονομικά	Κόστος επένδυσης <sup>[x]</sup> , Κόστος λειτουργίας και συντήρησης <sup>[x]</sup> , Επίδραση στην εθνική βιομηχανία <sup>[*]</sup> , Κόστος παραγωγής <sup>[x]</sup> , Κόστος καυσίμων <sup>[x]</sup> , Σταθμισμένο κόστος εξοικονομούμενης ενέργειας <sup>[x]</sup> , Χρόνος υλοποίησης <sup>[□]</sup> , Ονομαστική διάρκεια ζωής <sup>[□]</sup> , Περίοδος Αποπληρωμής <sup>[□]</sup>
Τεχνικά	Εγγυημένη ενέργεια <sup>[+]</sup> , Αποδοτικότητα <sup>[†]</sup> , Ποικιλομορφία εγκατεστημένης ισχύος <sup>[†]</sup> , Ρυθμός ενεργειακής εξάρτησης <sup>[†]</sup> , Διαθεσιμότητα <sup>[*]</sup> , Αξιοπιστία <sup>[*]</sup> , Εξέργεια <sup>[†]</sup> , Λειτουργικότητα <sup>[*]</sup> , Σταθερότητα του δικτύου <sup>[*]</sup> , Ωριμότητα τεχνολογίας <sup>[*]</sup> , Εξοικονομήσεις καυσίμων <sup>[x]</sup> , Ασφάλεια παροχής <sup>[*]</sup> , Διαθέσιμη ισχύς κατά τη διάρκεια του ανώτατου φορτίου <sup>[+]</sup> , Ισχύς ηλεκτροπαραγωγής <sup>[+]</sup>
Περιβαλλοντικά	Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (π.χ., διοξείδιο του άνθρακα, οξείδιο του αζώτου) <sup>[§]</sup> , Χρήση Γης <sup>[θ]</sup> , Οπτική όχληση <sup>[*]</sup> , Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα <sup>[*]</sup> , Ποιότητα αέρα <sup>[θ]</sup> , Φασαρία <sup>[*],[†]</sup> , Εξάντληση φυσικών πόρων <sup>[x]</sup> , Ρίσκο κλιματικής αλλαγής <sup>[†]</sup> , Ρίσκο περιβαλλοντικής επίδρασης <sup>[*]</sup> , Ρυθμός θνησιμότητας εξαιτίας της χρήσης της τεχνολογίας <sup>[⊗]</sup>
Κοινωνικο-Πολιτικά	Δημιουργία θέσεων εργασίας <sup>[*],[†]</sup> , Δημόσια υγεία <sup>[*]</sup> , Τοπικό εισόδημα <sup>[*]</sup> , Συνεισφορά στην τοπική ανάπτυξη και ευημερία <sup>[*]</sup> , Κοινωνικό κόστος <sup>[†]</sup> , Κοινωνική αποδοχή <sup>[*]</sup> , Κοινωνικά οφέλη <sup>[*]</sup> , Ρίσκο βλάβης ή τραυματισμού <sup>[*]</sup> , Συνοχή με τις τοπικές δραστηριότητες <sup>[*]</sup>

<sup>[x]</sup> χρηματικές μονάδες (ανά μονάδα ενέργειας), <sup>[\*]</sup> ποιοτική κλίμακα, <sup>[□]</sup> μονάδα χρόνου, <sup>[+]</sup> μονάδα ισχύος, <sup>[⊗]</sup> αριθμός θανάτων ανά μονάδα ενέργειας, <sup>[x]</sup> μονάδες ενέργειας (ανά μονάδα χρόνου), <sup>[†]</sup> αδιαστατό μέγεθος, <sup>[†]</sup> χρηματικές μονάδες ανά αριθμό ανθρώπων, <sup>[†]</sup> αριθμός ανθρώπων, <sup>[§]</sup> μονάδα μάζας (ανά μονάδα χρόνου), <sup>[†]</sup> μονάδα ακουστικής έντασης ανά αριθμό ανθρώπων, <sup>[θ]</sup> μονάδα γης (ανά μονάδα ενέργειας)

Ο **Πίνακας 4** εκθέτει το σκοπό, τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο και τη γεωγραφική κάλυψη, των μελετών που επισκοπήθηκαν και οι οποίες εφαρμόζουν μία προσέγγιση πολυκριτήριας ανάλυσης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού.



*Πίνακας 4. Βιβλιογραφική επισκόπηση μελετών που έχουν εφαρμόσει μία μέθοδο πολυκριτήριας ανάλυσης στον τομέα του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού.*

Μελέτη	Σκοπός	Μέθοδος	Γεωγραφική κάλυψη
Abreu Kang et al., (2018)	Επιλογή της βέλτιστης ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας	Flexible and Interactive Tradeoff	Βραζιλία
Ahmad et al., (2017)	Επιλογή των βέλτιστων τεχνολογιών ΑΠΕ	AHP	Καζακστάν
Al Garni et al., (2016)	Επιλογή των βέλτιστων τεχνολογιών ΑΠΕ	AHP	Σαουδική Αραβία
Alizadeh et al., (2020)	Επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας ΑΠΕ	Analytic Network Process	Ιράν
Beccali et al., (1998)	Επιλογή της βέλτιστης ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας	Fuzzy Sets, ELECTRE III	-
Bohanec et al., (2017)	Αξιολόγηση ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών/μιγμάτων/σεναρίων πολιτικής	Decision Expert	Σλοβενία

Μελέτη	Σκοπός	Μέθοδος	Γεωγραφική κάλυψη
Brand and Missaoui, (2014)	Επιλογή του βέλτιστου ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής	TOPSIS	Τυνησία
D'Amore-Domenech et al., (2020)	Επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας ηλεκτρόλυσης για παραγωγή πράσινου υδρογόνου	AHP, COPRAS, SAW, TOPSIS, CBA	-
Datta et al., (2011)	Επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας ΑΠΕ	AHP	-
Demirtas, (2013)	Επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας ΑΠΕ	AHP	-
Diakoulaki and Karangelis, (2007)	Επιλογή του βέλτιστου ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής	PROMETHEE	Ελλάδα
Feitosa and Costa, (2021b)	Επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας ΑΠΕ για παραγωγή πράσινου υδρογόνου	MACBETH	Βραζιλία
Georgopoulou et al., (1997)	Επιλογή του βέλτιστου ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής	ELECTRE <sup>2</sup> III	Κρήτη, Ελλάδα

<sup>2</sup> Elimination Et Choix Traduisant la REalit in French.

Μελέτη	Σκοπός	Μέθοδος	Γεωγραφική κάλυψη
Ghafghazi et al., (2010)	Αξιολόγηση ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών για το περιφερειακό σύστημα	PROMETHEE	Βανκούβερ, Καναδάς
Kaya and Kahraman, (2010)	Επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας ΑΠΕ	Fuzzy VIKOR, AHP	Κωνσταντινούπολη, Τουρκία
Kaya and Kahraman, (2011)	Επιλογή της βέλτιστης ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας	Fuzzy TOPSIS	-
Lerche et al., (2019)	Αξιολόγηση της βιωσιμότητας της βιοενέργειας	PROMETHEE	Αγροτική περιοχή της Κάτω Σαξονίας, Γερμανία
Malkawi et al., (2017)	Επιλογή των βέλτιστων ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών	AHP	Ιορδανία
Marinakis et al., (2017)	Επιλογή του βέλτιστου ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής	Τακτική Παλινδρόμηση	Ευρώτας, Ελλάδα
Mourmouris and Potolias, (2013)	Επιλογή της βέλτιστης ποσότητας παραγωγής ανά τεχνολογία ΑΠΕ	REGIME	Θάσος, Ελλάδα

Μελέτη	Σκοπός	Μέθοδος	Γεωγραφική κάλυψη
Papadopoulos and Karagiannidis, (2008)	Εύρεση της εφικτής κλίμακας διεξόδου ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή	ELECTRE III	Κάρπαθος, Κάσος, Ελλάδα
Pilavachi et al., (2009)	Επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας παραγωγής υδρογόνου	AHP	-
Ribeiro et al., (2013)	Επιλογή του βέλτιστου ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής	Προσθετική Συνάρτηση Αξίας	Πορτογαλία
Sadeghi and Larimian, (2018)	Επιλογή του βέλτιστου ηλεκτροπαραγωγικού μίγματος	Fuzzy Analytic Network Process	Ιράν
San Cristóbal, (2011)	Επιλογή επενδυτικού έργου ΑΠΕ	VIKOR, AHP	Ισπανία
Sánchez-Lozano et al., (2014)	Επιλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για εγκατάσταση ηλιακού πάρκου	ELECTRE-TRI	Νοτιοανατολική Ισπανία
Sindhu et al., (2017)	Επιλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για εγκατάσταση ηλιακού πάρκου	AHP, TOPSIS	Ινδία

Μελέτη	Σκοπός	Μέθοδος	Γεωγραφική κάλυψη
Sitorus and Brito-Parada, (2020)	Επιλογή της βέλτιστης ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας στην εξορυκτική βιομηχανία	Integrated Constrained Fuzzy Shannon Entropy	-
Streimikiene et al., (2012)	Επιλογή των πιο βιώσιμων ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών	MULTIMOORA, TOPSIS	-
Štreimikiene et al., (2016)	Επιλογή της βέλτιστης ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας	AHP, Additive Ratio Assessment	Λιθουανία
Talinli et al., (2010)	Επιλογή του βέλτιστου ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής	Fuzzy AHP	Τουρκία
Thushara et al., (2019)	Επιλογή του βέλτιστου ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής	ELECTRE III	Σρι Λάνκα
Trachanas et al., (2022)	Επιλογή της βέλτιστης ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας για αντικατάσταση της αποσυρόμενης λιγνιτικής μονάδας	VIKOR	Πτολεμαΐδα, Ελλάδα
Troldborg et al., (2014)	Επιλογή των βέλτιστων τεχνολογιών ΑΠΕ	PROMETHEE	Σκωτία

Μελέτη	Σκοπός	Μέθοδος	Γεωγραφική κάλυψη
Tsoutsos et al., (2009)	Επιλογή του βέλτιστου ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής	PROMETHEE	Κρήτη, Ελλάδα
Uyan, (2013)	Επιλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για εγκατάσταση ηλιακού πάρκου	AHP	Κόνιασπορ, Τουρκία
Yang et al., (2018)	Επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας ΑΠΕ για θέρμανση	TOPSIS	Νότια Δανία
Doukas et al., (2006)	Αξιολόγηση ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών ΑΠΕ	PROMETHEE II	Ελλάδα

*COPRAS: Complex Proportional Assessment, SAW: Simple Additive Weighting, Choosing By Advantages, MACBETH: Measuring, Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique, PROMETHEE: Preference Ranking Organization METHod for Enrichment, Evaluation, AHP: Analytic Hierarchy Process*

Η βιβλιογραφική επισκόπηση που παρουσιάστηκε παραπάνω, υποδεικνύει την ύπαρξη σημαντικών χασμάτων, όσον αφορά τον τρόπο με τον οποίο ο ηλεκτροπαραγωγικός προγραμματισμός έχει μελετηθεί μέχρι στιγμής στη σχετική βιβλιογραφία. Αρχικά, αρκετές μελέτες έχουν στηριχθεί στα επίσημα δεδομένα των υπό εξέταση ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών ή τεχνολογιών, μην εφαρμόζοντας μία προσέγγιση μοντελοποίησης στο πλαίσιο της διενεργούμενης ανάλυσης, και άρα μην ενσωματώνοντας τις σύνθετες αλληλεπιδράσεις του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, οι οποίες μπορεί να μοντελοποιηθούν με ακρίβεια από μοντέλα βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού. Αυτό είναι ιδιαίτερα συναφές, στις σχετικές εφαρμογές που έχουν πραγματοποιηθεί για την περίπτωση της Ελλάδας.

Επιπλέον, η αξιολόγηση έχει συνήθως στηριχθεί —μερικώς ή εξολοκλήρου— σε ποιοτικές προσεγγίσεις, οι οποίες εδράζονται σε υποκειμενικές απόψεις και προσωπικές πεποιθήσεις εμπειρογνομόνων ή εν γένει των εμπλεκόμενων φορέων, κάτι το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε μεροληπτικά αποτελέσματα και συνεπακόλουθα σε διαστρεβλωμένα συμπεράσματα και αποφάσεις πολιτικής.

Τέλος, αρκετές μελέτες στον τομέα του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, δεν έχουν συμπεριλάβει στη διενεργηθείσα ανάλυση —ή το έχουν κάνει με ένα μερικό τρόπο (δηλαδή κάθε σενάριο λαμβάνει υπόψιν έναν παράγοντα μεταβλητότητας)— την εγγενή αβεβαιότητα αυτού τους είδους των αναλύσεων. Κατ' αυτό τον τρόπο, όμως, και λαμβάνοντας υπόψιν την επίδραση των παραμέτρων του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος στα αποτελέσματα, τίθεται σε διακινδύνευση η ευρωστία των παραχθέντων αποτελεσμάτων και κατ' επέκταση η ποιότητα της πληροφορίας που επικοινωνείται στους αποφασίζοντες.

---

## Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογικό Πλαίσιο

---





### 3.1 Επισκόπηση Μεθοδολογίας

Στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής, προτείνεται μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού. Η εν λόγω μεθοδολογία στοχεύει στη δημιουργία υψηλής προστιθέμενης αξίας για τους αποφασίζοντες και διαμορφωτές ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, σε ολόκληρο τον κύκλο των σταδίων στα οποία συνίσταται. Αυτή η υψηλή προστιθέμενη αξία της μεθοδολογίας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την παροχή — άπλετης, δομημένης, ισορροπημένης, εύληπτης και εύκολα χρησιμοποιήσιμης— πληροφορίας στους αποφασίζοντες. Η εν λόγω πληροφορία δύναται να παράσχει σαφή κατεύθυνση και απτή υποστήριξη στους διαμορφωτές ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού σχετικά με τις αποφάσεις που πρέπει εκείνοι να λάβουν στο δρόμο προς την «απανθρακοποίηση» του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος και τον εξηλεκτρισμό της οικονομίας, αποκρυσταλλώνοντας τα πραγματικά διλήμματα που έχουν να αντιμετωπίσουν στο πλαίσιο αυτών των αποφάσεων.

Κύριο χαρακτηριστικό της προτεινόμενης μεθοδολογίας αποτελεί το γεγονός ότι εφαρμόζεται από «άκρη-σε-άκρη» με όρους διαφάνειας, υπό την έννοια ότι, αφενός, χρησιμοποιεί εργαλεία «ανοιχτού κώδικα», και αφετέρου, κάνει διαθέσιμα τα δεδομένα εισόδου και εμφανίζει τις κύριες υποθέσεις, που πραγματοποιούνται εντός του πλαισίου της. Ένα έτερο κυρίαρχο χαρακτηριστικό της, είναι η επίδραση των αποφασιζόντων —και εν γένει των εμπλεκομένων στην ανάλυση— στα παραγόμενα αποτελέσματα, υπό την έννοια ότι είναι σε θέση να ρυθμίσουν —κατά το δοκούν— τις παραμέτρους των χρησιμοποιούμενων εργαλείων που αποτελούν το μεθοδολογικό πλαίσιο, άρα να τα προσαρμόσουν στις ανάγκες και προτιμήσεις τους, όσο και στην ιδιοσυγκρασία τους. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό της μεθοδολογίας είναι προφανές ότι διευκολύνει την εμπλοκή τους στην ανάλυση.

Στις **Εικόνες 8-9** απεικονίζονται τα διαγράμματα ροής της προτεινόμενης μεθοδολογίας υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού από την παρούσα διδακτορική διατριβή: η **Εικόνα 8** απεικονίζει τις διαδικασίες αναφορικά με την «από τη βάση προς την κορυφή» εξέταση των τεχνολογικών λεπτομερειών, διαστάσεων και εξελίξεων του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, ενώ η **Εικόνα 9** τις διαδικασίες αναφορικά με την «από την κορυφή προς τη βάση» εξέταση του μακροοικονομικού και κοινωνικού αποτυπώματος του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί σε αυτές τις εικόνες, η προτεινόμενη μεθοδολογία στηρίζεται σε ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο διαμόρφωσης και συνολικής αξιολόγησης του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, το οποίο συνίσταται στην αποδοτική διασύνδεση ενός δυναμικού μοντέλου βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, με ένα μακροοικονομικό μοντέλο «γενικής ισορροπίας», λαμβάνοντας παράλληλα υπόψιν τις προτιμήσεις των αποφασιζόντων/εμπλεκομένων και την αβεβαιότητα σχετικά με τις τιμές των παραμέτρων εισόδου που ρυθμίζονται στα χρησιμοποιούμενα εργαλεία.

Οι βασικές εισοδοί της εν λόγω μεθοδολογίας, είναι οι στόχοι των υπό αξιολόγηση ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων πολιτικής, οι προβλέψεις για την εξέλιξη των κύριων ενεργειακών μεταβλητών (π.χ. τελική ενεργειακή ζήτηση) και των βασικών μακροοικονομικών και δημογραφικών μεγεθών (π.χ. ΑΕΠ, πληθυσμός), τα δεδομένα του υπό αξιολόγηση ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος —τόσο τα παρελθόντα (π.χ. ύψος παραγωγής και αποδοτικότητα ανά τύπο τεχνολογίας), όσο και αυτά σχετικά με τη δυνητική εξέλιξή του (π.χ. προγραμματισμένες επενδύσεις σε συγκεκριμένες ηλεκτροπαραγωγικές τεχνολογίες)— και οι προτιμήσεις των αποφασιζόντων, υπό τη μορφή βαρυτήτων σημαντικότητας στις επιμέρους δυνατές διαδρομές.

Πιο συγκεκριμένα, κατά το πρώτο βήμα της μεθοδολογίας (**Βήμα Α; Εικόνα 8**), αναπαρίσταται το ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα αναφοράς της υπό αξιολόγηση χώρας, με βάση το πλαίσιο ενεργειακής μοντελοποίησης OSeMOSYS, το οποίο προσφέρει ένα «ανοιχτού κώδικα» δυναμικό μοντέλο βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού. Προς την κατεύθυνση της ακριβούς αναπαράστασης του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος της εξεταζόμενης χώρας, συλλέγονται παρελθοντικά δεδομένα, αναφορικά με τις βασικές συνιστώσες του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, όπως η εγκατεστημένη ισχύς, οι συντελεστές χωρητικότητας (“*capacity factor*”), η παραγωγή και η αποδοτικότητα κλπ., ανά ηλεκτροπαραγωγική τεχνολογία του συστήματος.

Επίσης, η εν λόγω διαδικασία περιλαμβάνει τη συλλογή των προβλέψεων σχετικά με την εξέλιξη των βασικών συνιστωσών του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, για ολόκληρο το χρονικό ορίζοντα που εκτείνεται η διενεργούμενη ανάλυση (π.χ. εξέλιξη της τελικής ζήτησης ηλεκτρισμού, ανά τομέα και συνολικά). Ακόμη, λαμβάνονται υπόψιν και μοντελοποιούνται όλες οι τεχνολογίες που σχεδιάζεται να εισέλθουν μελλοντικά στο ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα, κάτι για το οποίο απαιτείται η συγκέντρωση των σχετικών δεδομένων με αυτές τις τεχνολογίες, όπως τα κόστη εγκατάστασης και λειτουργίας.

Άμα τη ολοκλήρωση της σχετικής διαδικασίας με την αναπαράσταση του υπό εξέταση ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, το μοντέλο βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, είναι σε θέση να υπολογίζει με ένα ακριβή τρόπο το βέλτιστο συνδυασμό των διαθέσιμων ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών, με γνώμονα την ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας του συστήματος, σε συνδυασμό με τον ακριβή προσδιορισμό των συνιστωσών αυτού του κόστους (π.χ. απαιτούμενες επενδύσεις, σταθερό και μεταβλητό κόστος λειτουργίας ανά τεχνολογία και έτος), λαμβάνοντας υπόψιν τις ιδιαιτερότητες, αλληλεπιδράσεις, τεχνολογικές εξελίξεις και περιορισμούς του υπό εξέταση ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος.

Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να λαμβάνεται ανάδραση από τους βασικούς εμπλεκόμενους των εξεταζόμενων πολιτικών, καθώς και από εμπειρογνώμονες και ειδικούς στον τομέα της ενεργειακής

πολιτικής, σχετικά με τα βασικά δεδομένα εισόδου και τις κύριες υποθέσεις που έχουν λάβει χώρα στο πλαίσιο της ανάλυσης. Η εν λόγω ανάδραση μπορεί να λάβει τη μορφή είτε επιβεβαίωσης της ορθότητας των θεωρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί, ή παροχής προτεινόμενων αλλαγών, ιδεών, γνώσης και τρόπων αντιμετώπισης δυνητικών προβλημάτων (π.χ. λήψη πληροφορίας σχετικά με το ποια είναι η μέγιστη δυναμικότητα μία τεχνολογίας ΑΠΕ από τη χρονική σκοπιά του 2050).

Είναι προφανές ότι το εν λόγω στάδιο αφενός διασφαλίζει, και αφετέρου αυξάνει σημαντικά την ευρωστία της ανάλυσης, όπως επίσης επικουρεί σημαντικά την εμπλοκή των αποφασιζόντων στην εφαρμοζόμενη μεθοδολογία και την αύξηση του επιπέδου κατανόησής τους για τη λογική που τη διέπει, κάτι το οποίο μπορεί να «κεφαλοποιηθεί» σε μελλοντικά στάδια της ανάλυσης. Είναι προφανές ότι με βάση την εν λόγω ανάδραση, δύναται να δημιουργηθούν διαφορετικά σενάρια προς εξέταση, είτε λόγω της αβεβαιότητας σχετικά με την εξέλιξη κάποιων μεγεθών της ανάλυσης, είτε λόγω της λήψης διαφορετικών «μονοπατιών» για κάποια μεγέθη, από έτερους εμπειρογνώμονες.

Στο επόμενο βήμα, υλοποιείται η κατασκευή σεναρίων σχετικά με την εξέλιξη των βασικών παραμέτρων του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, οι οποίες αποτελούν παράλληλα και τις βασικές εισόδους του χρησιμοποιούμενου μοντέλου βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού (**Βήμα Β; Εικόνα 8**). Αυτό λαμβάνει χώρα για τις παραμέτρους που χαρακτηρίζονται ως αβέβαιες από τον αναλυτή, και οι οποίες αποτελούν βασικά μεγέθη του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος —άρα και επηρεάζουν άμεσα και σημαντικά τα αποτελέσματα του χρησιμοποιούμενου μοντέλου για τον προγραμματισμό της ηλεκτροπαραγωγής. Μεταξύ αυτών συνήθως περιλαμβάνονται τα κόστη του συστήματος, οι τιμές δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και η τελική ζήτηση.

Η διαχείριση αυτού του είδους της αβεβαιότητας καθίσταται απαραίτητη, αρχικά, λόγω του γεγονότος ότι τα αποτελέσματα ενός μοντέλου βελτιστοποίησης του προγραμματισμού της ηλεκτροπαραγωγής εξαρτώνται σε έναν υψηλό βαθμό από αυτές τις παραμέτρους, και αφετέρου λόγω του γεγονότος ότι η εξέλιξη αυτών των παραμέτρων εμφανίζει μία υψηλή αβεβαιότητα, ως απόρροια τόσο του γεγονότος ότι ο ορίζοντας των εξεταζόμενων ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών εκτείνεται κατά μήκος πολλαπλών ετών στο μέλλον, όσο και λόγω της εγγενούς στοχαστικής φύσης τους (εξαρτώνται από εξωγενείς δυνάμεις και συνθήκες της αγοράς, παρουσιάζουν ευαισθησία σε εξωγενείς διαταραχές και απρόβλεπτα γεγονότα). Οπότε, καθίσταται αναγκαίος ο εντοπισμός του ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής, μεταξύ αυτών που αντιπαραβάλλονται, το οποίο εμφανίζει όχι μόνο τα καλύτερα χαρακτηριστικά, αλλά και που παρουσιάζει έναν υψηλό βαθμό ευρωστίας έναντι της αβεβαιότητας.

Λόγω της αδυναμίας εύρεσης των κατανομών πιθανότητας με βάση τις οποίες μεταβάλλονται οι κύριες παράμετροι του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, στην παρούσα διδακτορική διατριβή

προτείνεται η διαχείριση της αβεβαιότητας μέσω της δημιουργίας διακριτών σεναρίων, με το καθένα από αυτά να θεωρεί διαφορετικές τιμές για τις θεωρούμενες αβέβαιες παραμέτρους, με βάση τις ακόλουθες συνθήκες:

- Κάθε σενάριο λαμβάνει υπόψιν την ταυτόχρονη μεταβλητότητα όλων των θεωρούμενων αβέβαιων παραμέτρων,
- Λαμβάνονται υπόψιν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί των αβέβαιων παραμέτρων.

Έπειτα, οι εξεταζόμενες ηλεκτροπαραγωγικές πολιτικές είναι σε θέση να προσομοιωθούν κατά μήκος των θεωρούμενων σεναρίων, είτε μέσω της μεταβολής των αντίστοιχων μεταβλητών του μοντέλου ή την εισαγωγή των απαραίτητων περιορισμών σε αυτό (**Βήμα Γ; Εικόνα 8**). Παραδείγματος χάριν, μία πολιτική μπορεί να αποτελέσει η εισαγωγή ενός νέου καθαρού καυσίμου στο ηλεκτροπαραγωγικό μίγμα (π.χ. υδρογόνο), ή η ταχύτερη απόσυρση ενός ορυκτού καυσίμου από την ηλεκτροπαραγωγή, σε σχέση με το βασικό σενάριο εξέλιξης —το οποίο διαμορφώνεται συνήθως με βάση τους αναληφθέντες στόχους από την εκάστοτε κυβέρνηση, όπως αυτοί περιγράφονται σε επίσημα κυβερνητικά έγγραφα (π.χ. στο ΕΣΕΚ).

Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι μεταξύ των εξεταζόμενων σεναρίων περιλαμβάνεται συνήθως και σενάριο αναφοράς, δηλαδή το «μονοπάτι» του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος με βάση τους ήδη αναληφθέντες στόχους της εκάστοτε κυβέρνησης, όπως αυτοί περιγράφονται σε επίσημα κυβερνητικά έγγραφα, όπως στο ΕΣΕΚ. Το εν λόγω σενάριο χρησιμεύει, αφενός, σαν μέτρο σύγκρισης, και, αφετέρου, για τον εντοπισμό των επιδράσεων των εξεταζόμενων ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών (π.χ. σε όρους απαραίτητων επενδύσεων πλέον του σεναρίου αναφοράς).

Αφού έχουν ολοκληρωθεί τα παραπάνω βήματα, συλλέγονται τα αποτελέσματα για κάθε μία ηλεκτροπαραγωγική πολιτική, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψιν, όπως αυτά έχουν προκύψει από το χρησιμοποιούμενο μοντέλο ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, οι πολιτικές ενδιαφέροντος αξιολογούνται, αρχικά, επί της βάσης της ευρωστίας τους έναντι της αβεβαιότητας, μέσω της ποσοτικοποίησης των «βαθμών-δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων κατά μήκος των διαμορφούμενων σεναρίων, με βάση τα μέτρα «συνολικής χρησιμότητας» και «μέγιστης δυσαρέσκειας», τα οποία εμπεριέχονται στον τύπο της πολυκριτηρίας μεθόδου VIKOR (**Βήμα Δ; Εικόνα 8**). Με βάση αυτή την προσέγγιση δημιουργούνται δύο διαφορετικά πολυκριτηριακά προβλήματα, στα οποία εφαρμόζονται οι πολυκριτηρίες μέθοδοι VIKOR και TOPSIS (**Βήμα Δ; Εικόνα 8**). Με βάση τον εν λόγω συνδυασμό μέτρων ποσοτικοποίησης των «βαθμών δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων και πολυκριτηριακών μεθόδων, η μεθοδολογία ενσωματώνει και απεικονίζει τρία προφίλ αποφασιζόντων, με βάση τη συμπεριφορά τους έναντι της αβεβαιότητας,

ως εξής: «ριψοκίνδυνοι», «ουδέτεροι» και «συντηρητικοί», εξάγοντας τα αποτελέσματά της κατά μήκος και συναρτήσει αυτών.

Σε αυτό το στάδιο της ανάλυσης, υπεισέρχονται στην ανάλυση οι προτιμήσεις του αποφασίζοντος, είτε αυτές εκφράζουν τις δικές του απόψεις, είτε αντικατοπτρίζουν τις προτεραιότητες μίας σειράς εμπλεκομένων. Η ενσωμάτωση αυτών των προτιμήσεων στην ανάλυση, υλοποιείται μέσω της «μετάφρασής» τους σε σχετικές —υπό την έννοια ότι αξιολογούνται συγκριτικά με τα άλλα κριτήρια της ανάλυσης— βαρύτητες στα κριτήρια της ανάλυσης. Οπότε, με βάση αυτή τη διαδικασία, οι αποφασίζοντες καλούνται να δώσουν προτεραιότητα στις πτυχές της ανάλυσης τις οποίες θεωρούν ως —κατά τη γνώμη τους— πιο σημαντικές, και ως εκ τούτου, μία υψηλότερη επίδοση σε αυτές, θα πρέπει να λαμβάνεται κατά έναν υψηλότερο βαθμό με βάση τα επιλεχθέντα κριτήρια. Οπότε, το συγκεκριμένο στάδιο αποτελεί το δεύτερο σημείο της μεθοδολογίας στο οποίο πραγματοποιείται ανάδραση με τους αποφασίζοντες, με τη μεταβολή των σχετικών βαρυτήτων των κριτηρίων να οδηγεί σε διαφορετικά αποτελέσματα.

Η εν λόγω στρατηγική επιτρέπει τον εντοπισμό του ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής το οποίο ικανοποιεί καλύτερα τους σκοπούς και τις προτιμήσεις των αποφασιζόντων, λαμβάνοντας συγχρόνως υπόψιν το βαθμό της ευρωστίας που παρουσιάζουν οι αξιολογούμενες ηλεκτροπαραγωγικές πολιτικές έναντι της αβεβαιότητας σχετικά με την εξέλιξη των βασικών παραμέτρων εισόδου του μοντέλου βελτιστοποίησης του προγραμματισμού της ηλεκτροπαραγωγής. Οπότε, με βάση αυτή την προσέγγιση, η εύρεση του ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής με τις «υποκειμενικά» υψηλότερες προοπτικές και επιδόσεις, στηρίζεται όχι μόνο στα αποτελέσματα που προκύπτουν από το πιο πιθανό σενάριο εξέλιξης του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, αλλά στα αποτελέσματα που εξάγονται από μία σειρά σεναρίων σχετικά με τη δυνητική εξέλιξή του. Με άλλα λόγια, μία από τις παραμέτρους αξιολόγησης, είναι το βάθος της αβεβαιότητας που περιλαμβάνει το κάθε ηλεκτροπαραγωγικό σενάριο πολιτικής.

Ακολούθως, λόγω της αλληλεπίδρασης του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα με την ευρύτερη οικονομία, για την πολιτική η οποία ικανοποιεί καλύτερα τις προτιμήσεις και τους σκοπούς κάθε προφίλ αποφασιζόντων με βάση τη συμπεριφορά έναντι του κινδύνου, αξιολογούνται οι κοινωνικές και μακροοικονομικές επιπτώσεις όπου αναμένεται να επιφέρει κατά το χρονικό ορίζοντα που εκτείνεται η εμβέλειά της (**Εικόνα 9**). Για το σκοπό αυτό, δηλαδή τη μακροοικονομική ανάλυση των υπό εξέταση ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων πολιτικής, γίνεται χρήση της συμβατικής έκδοσης του μακροοικονομικού μοντέλου GTAP, το οποίο είναι στατικό, παγκόσμιο, και «γενικής ισορροπίας» μοντέλο, και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για την αξιολόγηση ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών ή σαν βάση για την ανάπτυξη έτερων μακροοικονομικών μοντέλων «γενικής ισορροπίας».

Για να προσομοιωθούν οι μακροοικονομικές επιπτώσεις των υπό εξέταση πολιτικών, λαμβάνονται υπόψιν οι αλλαγές σε οποιαδήποτε πτυχή που άπτεται της ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίες πυροδοτούνται από την υλοποίησή τους —όπως αυτές εξάγονται από το χρησιμοποιούμενο «από τη βάση προς την κορυφή» ενεργειακό μοντέλο της ανάλυσης— και οι οποίες αποτελούν και τις «διαταραχές» για την ευρύτερη οικονομία οι οποίες αξιολογούνται από το μακροοικονομικό μοντέλο GTAP. Λόγω της διαφορετικής φύσης των χρησιμοποιούμενων μοντέλων, θα πρέπει αυτή η πληροφορία να μετατραπεί στην κατάλληλη μορφή, και δη σε αυτή με την οποία μπορεί να εισέλθει στο μακροοικονομικό μοντέλο GTAP. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει να αναγνωρισθούν οι σχετικές μεταβλητές του μοντέλου και —στην περίπτωση που δεν αποτελούν εξωγενείς μεταβλητές για αυτό— να ρυθμιστεί κατάλληλα η δομή του μοντέλου, ώστε οι μεταβλητές ενδιαφέροντος να μπορούν να «διαταραχθούν» εξωγενώς από το μελετητή.

Στο αρχικό στάδιο της εν λόγω διαδικασίας, το μακροοικονομικό μοντέλο GTAP ρυθμίζεται κατάλληλα στην ιδιοσυγκρασία της εξεταζόμενης οικονομίας, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που περιγράφουν τη συγκεκριμένη οικονομία (**Βήμα A; Εικόνα 9**). Για την περίπτωση των μακροοικονομικών μοντέλων «γενικής ισορροπίας», αυτό πραγματοποιείται μέσω ενός ΠΚΛ, ο οποίος παρέχει ένα αντιπροσωπευτικό στιγμιότυπο για την εξεταζόμενη οικονομία για το έτος αναφοράς, δηλαδή για το έτος που αναφέρονται τα δεδομένα. Μέσω του παρεχόμενου ΠΚΛ, υπολογίζονται οι παράμετροι ελαστικότητας του μοντέλου, έτσι ώστε το μοντέλο να αναπαράγει τον εν λόγω πίνακα για το έτος αναφοράς του, ενσωματώνοντας κατ' αυτό τον τρόπο την ιδιοσυγκρασία και τις ιδιαιτερότητες της εξεταζόμενης οικονομίας, όπως παραδείγματος χάριν τις συμπεριφορικές ιδιαιτερότητες των παραγόντων της (για παράδειγμα πως αλλάζουν τις καταναλωτικές τους συνήθειες όταν μεταβάλλεται το εισόδημά τους).

Για το σκοπό αυτό, λαμβάνονται τα δεδομένα της τελευταίας έκδοσης της βάσης δεδομένων GTAP (έκδοση 11). Λόγω της αναδρομικότητας αυτών των δεδομένων, και με γνώμονα την —όσο το δυνατόν πιο— αντιπροσωπευτική απεικόνιση της οικονομίας ενδιαφέροντος, εφαρμόζεται μία μεθοδολογία με βάση την οποία το έτος αναφοράς των δεδομένων της οικονομίας ανανεώνεται στον παρόντα χρόνο της ανάλυσης, μέσω της χρήσης επιπλέον δεδομένων, κυρίως από τους εθνικούς λογαριασμούς.

Στο επόμενο στάδιο της μεθοδολογίας, αξιολογούνται η ορθότητα και ο βαθμός αντιπροσωπευτικότητας των παρεχόμενων δεδομένων για την εξεταζόμενη οικονομία, και άρα — κατ' επέκταση— ο βαθμός της ακρίβειας με την οποία το μακροοικονομικό μοντέλο της ανάλυσης αναπαριστά την οικονομία ενδιαφέροντος. Η εν λόγω διαδικασία πραγματοποιείται μέσω της εφαρμογής ασκήσεων “backcasting” (**Βήμα B; Εικόνα 9**). Κατά την εν λόγω διαδικασία, το μοντέλο GTAP χρησιμοποιείται κατά τον τρόπο που ρυθμίστηκε στο προηγούμενο βήμα, για να προβλέψει

την οικονομία σε κάποιο παρελθοντικό έτος. Για το σκοπό αυτό επιλέγονται οι εξωγενείς μεταβλητές μέσω των οποίων θα υλοποιηθεί η προεκβολή της οικονομίας στο παρελθόν, όπως και οι ενδογενείς μεταβλητές επί της βάσης των οποίων θα αξιολογηθεί η ακρίβεια του μοντέλου. Η διαδικασία αυτή τερματίζεται όταν προκύπτουν αποτελέσματα του μοντέλου συμφωνούν με τα πραγματικά ιστορικά δεδομένα της εξεταζόμενης οικονομίας, εντός του προκαθορισμένου εύρους σφάλματος του 2%. Εάν αυτό δεν συμβαίνει (έλλειψη συμφωνίας), το μοντέλο αναπροσαρμόζεται (μέσω της μεταβολής των παραμέτρων ελαστικότητάς του) και η εν λόγω διαδικασία επανекτελείται, έως ότου επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο ακρίβειας. Στον αντίποδα, στην περίπτωση ύπαρξης συμφωνίας, ο τρόπος που έχει παραμετροποιηθεί το μοντέλο, χρησιμοποιείται για την προσομοίωση των «διαταραχών» ενδιαφέροντος, καθώς έχει ελεγχθεί το επίπεδο αποδοτικότητας με το οποίο αναπαριστά την οικονομία ενδιαφέροντος.

Έπειτα, παρέχονται οι βασικές προβλέψεις σχετικά με την εξέλιξη των βασικών μακροοικονομικών και δημογραφικών μεγεθών της εξεταζόμενης και της παγκόσμιας οικονομίας, καθώς και για τους συντελεστές παραγωγής της οικονομίας, για το χρονικό διάστημα που αναφέρεται η ανάλυση. Μέσω αυτής της διαδικασίας, δημιουργείται το βασικό σενάριο αναφοράς για την εξεταζόμενη και την παγκόσμια οικονομία (**Βήμα Γ; Εικόνα 9**), δηλαδή σκιαγραφείται το «μονοπάτι» κατά μήκος του οποίου αναμένεται να διέλθει η οικονομία με βάση την επικρατούσα τάξη πραγμάτων και χωρίς κάποια εξωγενή αλλαγή.

Στη συνέχεια, εφαρμόζονται πλέον των «διαταραχών» που δημιουργούν το βασικό σενάριο εξέλιξης, οι «διαταραχές» που εκπηγάζουν από την εφαρμογή των εξεταζόμενων ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών (**Βήμα Δ; Εικόνα 9**). Όπως και στην περίπτωση του μοντέλου βελτιστοποίησης του προγραμματισμού της ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιείται, σε αυτό το στάδιο εξετάζεται ο βαθμός ευαισθησίας των αποτελεσμάτων του μοντέλου GTAP στη μεταβλητότητα των τιμών των παραμέτρων ελαστικότητας που χρησιμοποιούνται σε αυτό. Θα πρέπει να τονιστεί ότι τα αποτελέσματα ενός μακροοικονομικού μοντέλου «γενικής ισορροπίας», εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις τιμές των παραμέτρων ελαστικότητας που τίθενται σε αυτό, κάτι το οποίο αποτέλεσε την αφορμή για τον έλεγχο της ορθότητάς τους μέσω ασκήσεων “backcasting”.

Παρ’ όλα αυτά, λόγω του ευρέως χρονικού ορίζοντα της ανάλυσης, κατά μήκος του οποίου εκτείνεται ένα ηλεκτροπαραγωγικό σενάριο πολιτικής, υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με την ακριβή τιμή τους, η οποία παρότι έχει εξασφαλισθεί μέσω των ασκήσεων “backcasting” ότι περιγράφει αποδοτικά την παρούσα συμπεριφορά των κύριων παραγόντων της εξεταζόμενης οικονομίας, δύναται να μεταβληθεί με την πάροδο του χρόνου —ως απόρροια συμπεριφορικών μεταβολών των παραγόντων της οικονομίας. Γι’ αυτό το λόγο, σε αυτό το στάδιο, εφαρμόζεται μία ανάλυση

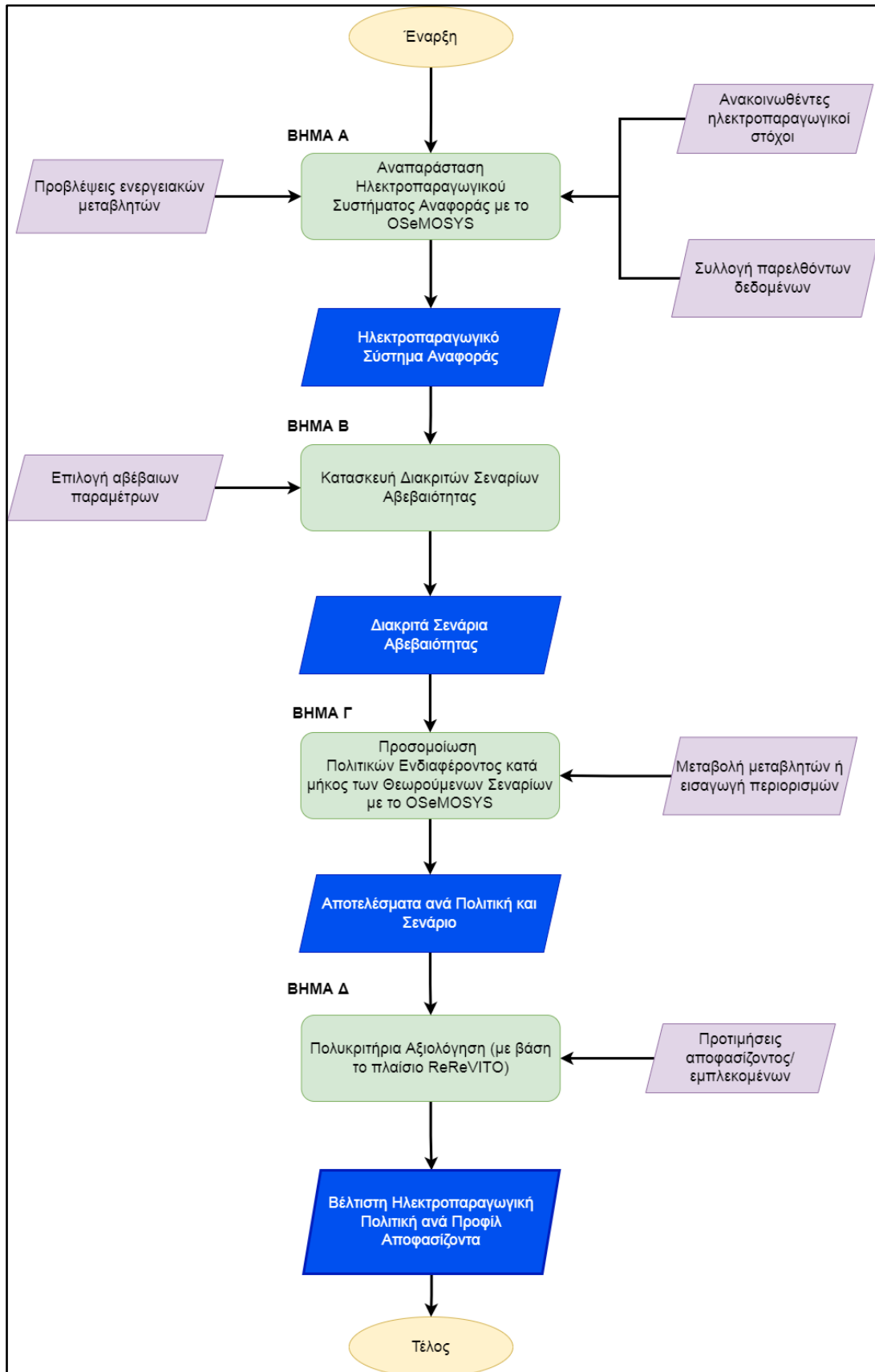


ευαισθησίας των αποτελεσμάτων του μοντέλου, επί της μεταβλητότητας των κύριων παραμέτρων ελαστικότητας που ορίζονται σε αυτό, εντός του εύρους της τάξεως του 20%, το οποίο αποτελεί το σύνηθες ποσοστό που χρησιμοποιείται σε αυτού του είδους τις ασκήσεις (Burfisher, 2017). Οπότε, η εν λόγω προσέγγιση μπορεί να δώσει μία πιο αντιπροσωπευτική και ευρεία πληροφόρηση στους εμπλεκομένους σχετικά με τις πραγματικές μακροοικονομικές και κοινωνικές προεκτάσεις των εξεταζόμενων ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών.

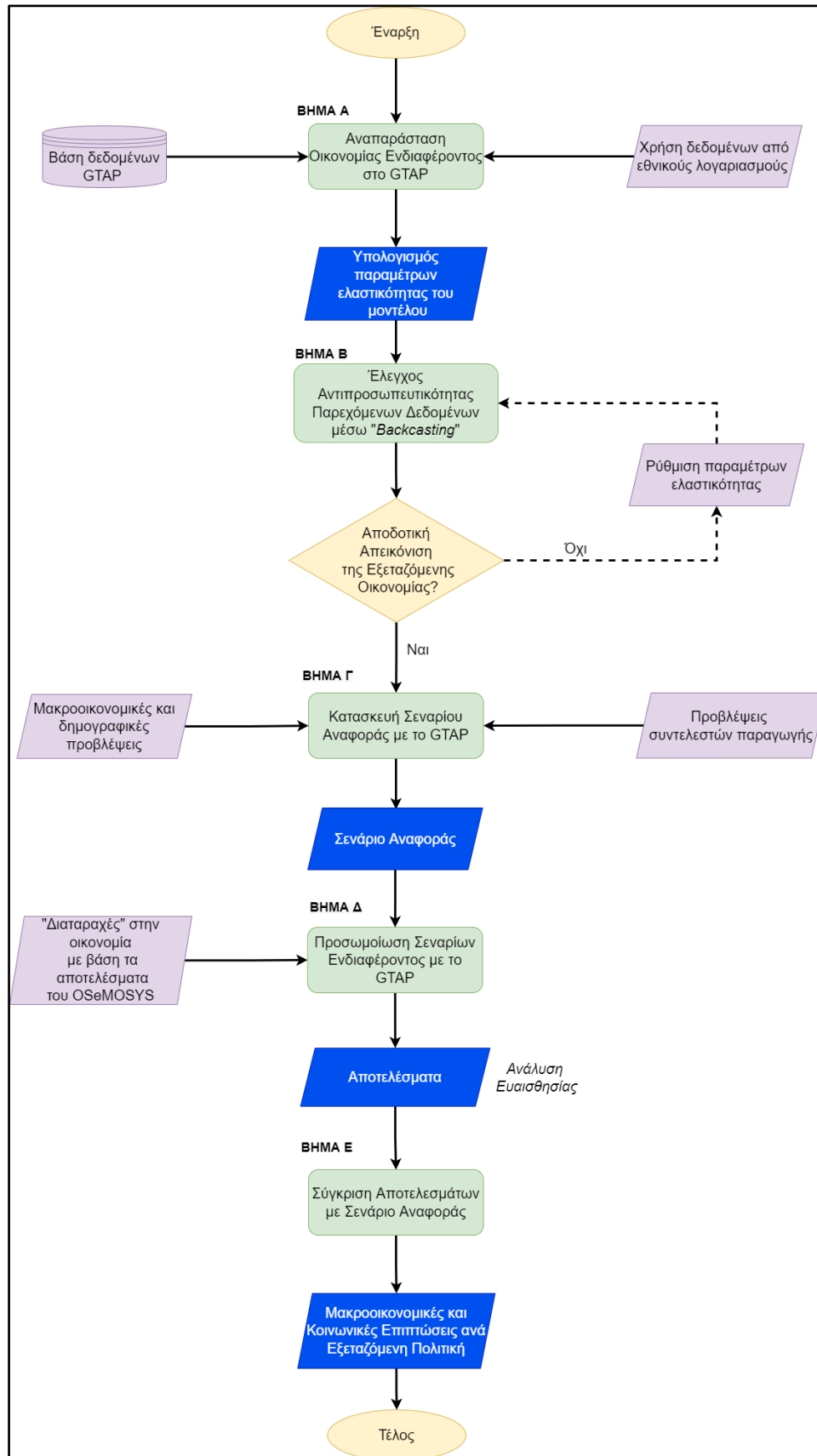
Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τις εξεταζόμενες πολιτικές συγκρίνονται με τα αποτελέσματα του βασικού σεναρίου εξέλιξης της εξεταζόμενης οικονομίας (**Βήμα Ε; Εικόνα 9**). Τα ευρήματα αυτής της σύγκρισης (η καθαρή ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο σεναρίων) υποδηλώνουν και την επίδραση των ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών που αξιολογούνται στην ευρύτερη οικονομία. Τα αποτελέσματα που παράγονται από το μακροοικονομικό μοντέλο της ανάλυσης, αφορούν κυρίως τις βασικές μακροοικονομικές μεταβλητές όπως το ΑΕΠ, το επίπεδο των μισθών, η ζήτηση και το εισόδημα των νοικοκυριών, οι εισαγωγές και οι εξαγωγές, ο πληθωρισμός κλπ. Οπότε, στο τελικό στάδιο της ανάλυσης και αφότου τα αποτελέσματα έχουν επικοινωνηθεί στους εμπλεκομένους, ο αναλυτής θα πρέπει να αποφασίσει αν θα υλοποιήσει την εξεταζόμενη/ες πολιτική/ές. Αυτό πραγματοποιείται, στη βάση του κατά πόσο η μακροοικονομική επίδοση της πολιτικής καλύπτει τους στόχους και τις ανάγκες του. Στην περίπτωση που αυτό δεν συμβαίνει, ή αν ο αναλυτής επιθυμεί να προχωρήσει σε κάποια αναθεώρηση στόχων ή αλλαγή των παραμέτρων που προβλήματος, η ανάλυση επανεκτελείται, με τον αναλυτή να πρέπει να διαλέξει μία έτερη ηλεκτροπαραγωγική πολιτική, για την οποία θα ενημερωθεί στη συνέχεια για τις δυνητικές μακροοικονομικές επιδράσεις που αναμένεται να έχει.

Η εν λόγω διαδικασία αναμένεται να συνεχιστεί, έως ότου ο αναλυτής αναγνωρίσει την κατάλληλη ηλεκτροπαραγωγική πολιτική που καλύπτει τις ανάγκες του, οπότε και η διαδικασία τερματίζεται επιτυχώς. Μέχρι να λάβει η χώρα όμως αυτή η συνθήκη, η μεθοδολογία θα συνεχίσει να επανεκτελείται —εφόσον το επιθυμεί ο αναλυτής ή ο αποφασίζων— από κάποιο πρότερο στάδιό της.

*Εικόνα 8: Διάγραμμα ροής της προτεινόμενης από την παρούσα διδακτορική διατριβή μεθοδολογίας για την —«από τη βάση προς την κορυφή»— εξέταση των τεχνολογικών λεπτομερειών, αλληλεπιδράσεων και εξελίξεων του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού.*



**Εικόνα 9:** Διάγραμμα ροής της προτεινόμενης από την παρούσα διδακτορική διατριβή μεθοδολογίας για την «από την κορυφή προς τη βάση» εξέταση του μακροοικονομικού και κοινωνικού αποτυπώματος του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού.



Παρακάτω αναλύονται —διεξοδικά και εις βάθος— κάθε μία από τις συνιστώσες από τις οποίες αποτελείται η παρουσιαζόμενη μεθοδολογία, όπως επίσης και συζητούνται εκτενώς οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις και διασυνδέσεις, παραδείγματος χάριν το πως τα δεδομένα εξόδου ενός σταδίου της μεθοδολογίας, ενημερώνουν ένα έτερο στάδιό της. Η περιγραφή των δομικών στοιχείων της μεθοδολογίας, λαμβάνει χώρα με σειριακό τρόπο, κατά τον τρόπο που υλοποιούνται.

## 3.2 Μοντέλο Βελτιστοποίησης Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού

### 3.2.1 Χαρακτηριστικά

Η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτελείται, αρχικά, από ένα μοντέλο βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, με βάση το οποίο μπορούν να μοντελοποιηθούν τα ηλεκτροπαραγωγικά σενάρια πολιτικής ενδιαφέροντος. Σε αυτό το στάδιο της ανάλυσης, δύναται να αξιολογηθεί αρχικά η εφικτότητά τους, παραδείγματος χάριν να εξεταστεί κατά πόσον η δυναμικότητα του συστήματος σε όρους εγκατεστημένης ισχύος, επαρκεί για την επίτευξη των τεθέντων στόχων (π.χ. στόχος διείσδυσης των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή) στο πλαίσιο των εξεταζόμενων πολιτικών. Αφετέρου, δύναται να ποσοτικοποιηθούν οι ανάγκες σε επενδύσεις κεφαλαίου, και να αξιολογηθεί το πως επηρεάζεται η συμμετοχή κάθε τεχνολογίας στο ηλεκτροπαραγωγικό μίγμα, από την υλοποίηση των εφαρμοζόμενων πολιτικών. Οπότε, ερωτήσεις πολιτικής που μπορούν να απαντηθούν στο παρών στάδιο της ανάλυσης, είναι οι ακόλουθες:

- *Είναι εφικτή η **υλοποίηση** της εξεταζόμενης πολιτικής;*
- *Σε τι είδους **τεχνολογίες** πρέπει να πραγματοποιηθεί **επένδυση**;*
- ***Πότε** πρέπει να πραγματοποιηθούν οι απαιτούμενες **επενδύσεις**;*
- *Ποιο είναι το απαιτούμενο **ύψος** αυτών των **επενδύσεων**;*
- *Πόσο πρέπει να **λειτουργήσει** η κάθε μία από αυτές τις **τεχνολογίες**;*
- *Πότε πρέπει να **αποσυρθεί** μία **τεχνολογία** από το σύστημα;*
- *Ποιο είναι το **ανθρακικό αποτύπωμα** μίας πολιτικής;*
- *Ποια είναι η **καθαρά παρούσα αξία** των συνολικών **κεφαλαιακών** αναγκών για τις εξεταζόμενες πολιτικές;*

Το μοντέλο βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού που προτείνεται από την παρούσα διδακτορική διατριβή, στηρίζεται στο «ανοιχτού κώδικα» πλαίσιο ενεργειακής μοντελοποίησης OSeMOSYS. Το εν λόγω πλαίσιο ενεργειακής μοντελοποίησης, προσφέρει ένα δυναμικό, ντετερμινιστικό, υψηλής τεχνολογικής λεπτομέρειας, «από τη βάση στην κορυφή», γραμμικού προγραμματισμού, μοντέλο βελτιστοποίησης του προγραμματισμού της ηλεκτροπαραγωγής, με χρονικό ορίζοντα ο οποίος κυμαίνεται από μεσοπρόθεσμο σε μακροπρόθεσμο επίπεδο (Howells et al., 2011). Ως απόρροια τούτου, το εν λόγω μοντέλο στοχεύει να αναγνωρίσει τον πιο αποδοτικό τρόπο —σε όρους συνδυασμού των διαθέσιμων τεχνολογιών— με τον οποίο μπορεί να καλυφθεί η εξωγενώς οριζόμενη τελική ζήτηση ενέργειας, υπό το πρίσμα των χαρακτηριστικών του εξεταζόμενου συστήματος (π.χ. κόστη ή διάρκεια ζωής ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών) και των περιορισμών που το διέπουν (π.χ. περιορισμοί εκπομπών ΑτΘ, στόχοι ΑΠΕ).

Η τελική ζήτηση ηλεκτρισμού στο μοντέλο, καθορίζεται από τη ζήτηση των τελικών τομέων (π.χ. νοικοκυριά), συν την καθαρή διαφορά των ροών ηλεκτρικής ενέργειας στα σημεία διασύνδεσης με άλλες χώρες, ήτοι τη διαφορά των εξαγωγών ηλεκτρικής ενέργειας από τις εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας. Η αντικειμενική συνάρτηση του OSeMOSYS, η οποία περιγράφει την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας του συστήματος, είναι η ακόλουθη:

$$\text{Min ΚΠΑ Συνολικού Κόστους Λειτουργίας} = \text{Min} \sum_{\Pi, X} (\text{ΚΠΑ Κόστους Λειτουργίας}) \quad (17)$$

όπου:

- $\Pi$ : μία γεωγραφική περιοχή μεταξύ αυτών που μοντελοποιούνται στην ανάλυση,
- $X$ : μία συγκεκριμένη χρονιά εντός του εύρους του χρονικού ορίζοντα μοντελοποίησης,
- $\text{ΚΠΑ Κόστους Λειτουργίας}$ : Η καθαρά παρούσα αξία του κόστους λειτουργίας του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των επενδύσεων κεφαλαίου, του σταθερού και μεταβλητού κόστους λειτουργίας του συστήματος, των χρηματοοικονομικών επιβαρύνσεων από τα διάφορα είδη εκπομπών, και της χρηματοοικονομικής αξίας της υπολειπόμενης δυναμικότητας του συστήματος, με βάση το οριζόμενο επιτόκιο προεξόφλησης στο μοντέλο.

Το OSeMOSYS αποτελείται από μία σειρά από δομικά στοιχεία λειτουργικότητας (Howells et al., 2011), όπου καθένα από αυτά τα δομικά στοιχεία συσχετίζεται με κάποια συγκεκριμένη διάσταση της μοντελοποίησης, όπως, παραδείγματος χάριν, με τα κόστη του συστήματος, την επάρκεια της απαιτούμενης δυναμικότητας του συστήματος, την ικανοποίηση της τελικής ζήτησης, το στόχο επίτευξης του ποσοστού των τεχνολογιών ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή ή στην τελική κατανάλωση, τα όρια και τις ποινές εκπομπών, τα αποθεματικά του συστήματος κλπ.

Κάθε δομικό μέρος χαρακτηρίζεται από παραμέτρους (τις οποίες ρυθμίζει ο αναλυτής), από ενδιάμεσες μεταβλητές, εξισώσεις και περιορισμούς. Επίσης, κάθε δομικό στοιχείο περιλαμβάνει έναν κύριο στόχο, όπως αυτός εκφράζεται μέσω ενός περιορισμού. Παραδείγματος χάριν, ο περιορισμός της κάλυψης της εξωγενώς οριζόμενης τελικής ζήτησης ηλεκτρισμού, ο οποίος αποτελεί και τη βασική κινητήρια δύναμη στον τρόπο που παράγονται τα αποτελέσματα του μοντέλου, μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\text{παραγωγή}_{\Pi, X\Delta, K, X} \geq \text{ζήτηση}_{\Pi, X\Delta, K, X} + \text{χρήση}_{\Pi, X\Delta, K, X} \quad (18)$$

όπου:

- $\Pi$ : μία γεωγραφική περιοχή μεταξύ αυτών που μοντελοποιούνται στην ανάλυση,
- $X\Delta$ : ένα χρονικό διάστημα (π.χ. ημέρα Ιανουαρίου), κατά μήκος των οποίων κατηγοριοποιείται ένα χρονικό έτος,

- *X*: μία συγκεκριμένη χρονιά εντός του εύρους του χρονικού ορίζοντα μοντελοποίησης,
- *K*: ένα συγκεκριμένο καύσιμο μεταξύ των οριζόμενων στο σύστημα, το οποίο χρησιμοποιείται ή παράγεται από μία τεχνολογία του συστήματος,
- *Παραγωγή*: η ποσότητα που παράγεται από το καύσιμο *K*, με σκοπό την ικανοποίηση της ζήτησης της περιοχής *Π*, για το χρονικό διάστημα *ΧΔ* της χρονιάς *Χ*,
- *Ζήτηση*: το ύψος τα τελικής ζήτησης για το καύσιμο *K*, στην περιοχή *Π*, για το χρονικό διάστημα *ΧΔ* της χρονιάς *Χ*,
- *Χρήση*: Η ποσότητα που χρησιμοποιείται από το καύσιμο *K*, σαν καύσιμο εισόδου σε μία τεχνολογία του συστήματος, στην περιοχή *Π*, για το χρονικό διάστημα *ΧΔ* της χρονιάς *Χ*.

Με βάση το συγκεκριμένο μοντέλο, δύναται να αποτυπωθεί ο ηλεκτροπαραγωγικός τομέας, στον οποίο εστιάζει η παρούσα διδακτορική διατριβή. Ωστόσο, πέραν του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, δύναται να μοντελοποιηθεί ολόκληρος ο ενεργειακός τομέας της περιοχής ενδιαφέροντος, ή να μοντελοποιηθούν πέρα από τον ενεργειακό τομέα, και οι τομείς με τους οποίους αλληλεπιδρά (π.χ. χρήση γης, υδάτινοι πόροι), μετατρέποντάς κατ' αυτό τον τρόπο το OSeMOSYS, σε ένα «Μοντέλο Ολοκληρωμένης Αποτίμησης» (“Integrated Assessment Model”—IAM).

Η ίδια ευελιξία παρατηρείται και όσον αφορά τη γεωγραφική κάλυψη του μοντέλου, καθώς η περιοχή ενδιαφέροντος μπορεί να αποτελείται από μία (συγκεκριμένη περιοχή μίας) χώρα(ς), ή πολλαπλές χώρες, αποτυπώνοντας στο μοντέλο στη δεύτερη περίπτωση τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χωρών ενδιαφέροντος. Θα πρέπει να τονιστεί, όμως, ότι ακόμη και όταν θεωρείται την ανάλυση μία μόνο περιοχή, δύναται και συνίσταται, να μοντελοποιηθούν οι ενεργειακές εισροές από άλλες περιοχές (εισαγωγές), όπως επίσης και οι εκροές προς άλλες περιοχές (εξαγωγές). Οι εν λόγω εισροές και εκροές ενέργειας, δύναται είτε να ορισθούν εξωγενώς από το μοντέλο, είτε να καθορισθούν ενδογενώς από το μοντέλο, δηλαδή να προκύψουν σαν αποτέλεσμα των εξισώσεών του.

Όπως γίνεται σαφές με βάση τα παραπάνω, το εν λόγω πλαίσιο μοντελοποίησης παρέχει στον αναλυτή ένα υψηλό επίπεδο ευελιξίας, να το χειριστεί, ρυθμίσει και προσαρμόσει κατά το δοκούν και ανάλογα με τις ανάγκες του. Αυτός είναι και ένας από τους λόγους που στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής, επιλέχθηκε το συγκεκριμένο μοντέλο έναντι των υπολοίπων διαθέσιμων μοντέλων βελτιστοποίησης του προγραμματισμού της ηλεκτροπαραγωγής, κάτι στο οποίο συμβάλλει το γεγονός ότι δομείται σε μέρη κώδικα, όπως επίσης και η «ανοιχτού-κώδικα» φύση του. Έτερα σημαντικά πλεονεκτήματα του συστήματος ενεργειακής μοντελοποίησης OSeMOSYS, αποτελούν η ευρεία κοινότητα υποστήριξης που έχει αναπτυχθεί γύρω από αυτό, όπως επίσης και η εκτεταμένη κλίμακα των εφαρμογών του στη διεθνή βιβλιογραφία έως σήμερα.

Πιο συγκεκριμένα, το OSeMOSYS έχει χρησιμοποιηθεί σε πολυάριθμες αναλύσεις που εκτείνονται από την παγκόσμια γεωγραφική κλίμακα (Löffler et al., 2017) και αυτή των ηπείρων (Sridharan et al.,

2019), μέχρι την εθνική (Rocco et al., 2020) και τοπική (Lyseng et al., 2016) γεωγραφική κλίμακα. Ο σκοπός αυτών των εφαρμογών, κυμαίνεται από την εξέταση των μακροχρόνιων επιδράσεων της τιμολόγησης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή (Lyseng et al., 2016), και των απαιτήσεων σε όρους χρήσης γης ως απόρροια της ανάπτυξης της καθαρής ηλεκτροπαραγωγής (Palmer-Wilson et al., 2019), μέχρι την αξιολόγηση του μακροοικονομικού και κοινωνικού αποτυπώματος της εφαρμογής των εθνικά καθορισμένων συνεισφορών (Taliotis et al., 2020). Στην τελευταία περίπτωση, γίνεται αξιοποίηση της διασύνδεσης του OSeMOSYS με μακροοικονομικά μοντέλα «γενικής ισορροπίας», τα οποία αναφέρονται σε ολόκληρη την οικονομία και, ως εκ τούτου, απεικονίζουν αποδοτικότερα από το OSeMOSYS τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κύριων παραγόντων και μερών της οικονομίας.

Το OSeMOSYS μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσω μίας πληθώρας τρόπων, όπως μέσω της χρήσης μίας σχετικής διεπαφής χρήστη (π.χ. “Model Management Infrastructure” — MoManI ή clicSAND), είτε μέσω της χρήσης κάποιας γλώσσας προγραμματισμού (π.χ. Python ή GAMS). Σε όλες τις περιπτώσεις, ωστόσο, χρειάζεται κάποιο πρόγραμμα (“solver”) το οποίο θα επιλύσει το διαμορφούμενο πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού, με το πακέτο GLPK (“GNU Linear Programming Kit”) να είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο για αυτό το σκοπό, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση του δε συνεπάγεται κάποια οικονομική επιβάρυνση για το μελετητή. Μεταξύ των διαθέσιμων τρόπων χρήσης του OSeMOSYS, η χρήση της διεπαφής χρήστη MoManI, συνίσταται στην περίπτωση ενός άπειρου ερευνητή, ενώ για ερευνητές που παρουσιάζουν ένα υψηλότερο επίπεδο εξοικείωσης με το εν λόγω μοντέλο, συνίσταται η χρήση κάποιας γλώσσας προγραμματισμού, λόγω της υψηλότερης ευελιξίας και ταχύτερης υλοποίησης αλλαγών που προσφέρεται σε αυτή την περίπτωση, όπως την επέκταση του κώδικα του μοντέλου (π.χ. μέσω της ενσωμάτωσης επιπλέον περιορισμών).

Οπότε, συνοψίζοντας τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, γίνεται προφανές ότι το OSeMOSYS παρέχει στους αναλυτές μία χαμηλή καμπύλη εκμάθησης και ένα ευρύ σύστημα υποστήριξης, ενώ η χρήση του δε συνδέεται με οιασδήποτε μορφής οικονομική επιβάρυνση ή περιορισμό. Για αυτό το λόγο, χρησιμοποιείται ευρέως σαν εργαλείο εκπαίδευσης, κάτι που σχετίζεται και με το γεγονός ότι υπάρχει σημαντική ένδεια από ενεργειακά μοντέλα «ανοιχτού κώδικα» για αυτό το σκοπό. Πιο συγκεκριμένα, τα περισσότερα από τα διαθέσιμα μοντέλα ενεργειακού προγραμματισμού, απαιτούν σημαντικό χρόνο εκπαίδευσης ή/και κόστος αγοράς αδειών χρήσης, για να μπορέσει κάποιος να τα χρησιμοποιήσει ή να τα αναπτύξει περαιτέρω. Ακόμη, η δομή τους είναι τέτοια, που η επέκτασή τους ή η ενσωμάτωσή τους σε άλλα μοντέλα, καθίσταται μία ιδιαίτερος δύσκολη διαδικασία. Επίσης, το OSeMOSYS παρουσιάζει ένα υψηλό επίπεδο ευελιξίας, όντας σε θέση να προσαρμοστεί στις ανάγκες και απαιτήσεις του αναλυτή και των βασικών εμπλεκόμενων στην ανάλυση.



### 3.2.2 Αποτύπωση Ηλεκτροπαραγωγικού Συστήματος

Στον πυρήνα της αποτύπωσης ενός ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος με το OSeMOSYS, το οποίο παράλληλα αποτελεί και το πρωταρχικό βήμα της σχετικής διαδικασίας, εντοπίζεται η σχεδίαση του «Ενεργειακού Συστήματος Αναφοράς» (“Reference Energy System” – RES), το οποίο είναι μία σχηματική αναπαράσταση του πραγματικού ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος της εκάστοτε γεωγραφικής περιοχής ενδιαφέροντος η οποία μοντελοποιείται, με έναν αφηρηματικό τρόπο.

Το εν λόγω σχήμα απεικονίζει ολόκληρο το εύρος —και τη ροή— των διαδικασιών που ακολουθούνται —με έναν συνοπτικό τρόπο— από τη συλλογή των κύριων ενεργειακών πόρων (αριστερό άκρο του σχήματος), διαμέσου των ενεργειακών τεχνολογιών μετασχηματισμού, μέχρι την κάλυψη της τελικής ζήτησης ηλεκτρισμού (δεξί άκρο του σχήματος).

Αυτή η ροή της ενέργειας, από την συλλογή των πρωτογενών φυσικών πόρων (εξόρυξη ή/και εισαγωγές), μέχρι την παροχή της στον τελικό καταναλωτή, περιλαμβάνει συνήθως 4 στάδια, εντός των οποίων λαμβάνει χώρα ο συνολικός κύκλος παραγωγής και διάθεσης ηλεκτρισμού, ως εξής: (α) το *πρωτογενές*, (β) το *δευτερογενές*, (γ) το *τριτογενές* και (δ) την *τελική ζήτηση*. Το κάθε ένα από αυτά αναφέρεται σε μία διαφορετική μορφή ενέργειας, η οποία χρησιμοποιείται από —και απευθύνεται σε— διαφορετικούς εμπλεκόμενους ανά περίπτωση.

Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο επίπεδο (*πρωτογενές*), αναφέρεται στους τρόπους με τους οποίους ανακτώνται τα απαραίτητα πρωτογενή καύσιμα για την ηλεκτροπαραγωγή, όπου αυτό συμβαίνει μέσω εισαγωγών ή εξόρυξης για τα ορυκτά καύσιμα. Τα συγκεκριμένα καύσιμα εισέρχονται στη *δευτερογενή* παραγωγή (*δευτερογενές* στάδιο), σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Εξάιρεση αποτελούν οι τεχνολογίες ΑΠΕ, για τις οποίες δεν απαιτείται η υλοποίηση του πρώτου βήματος, καθώς χρησιμοποιούν σαν πρώτη ύλη κάποια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (π.χ. τον άνεμο ή τον ήλιο), για την ανάκτηση της οποίας δεν απαιτείται η υλοποίηση κάποιας συγκεκριμένης διαδικασίας. Κατά το *τριτογενές* στάδιο, η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται μέσω των δικτύων μετάδοσης, στα δίκτυα διανομής, ή εξάγεται σε άλλες χώρες, ενώ στο εν λόγω στάδιο συγκεντρώνονται και οι εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας, από τα σημεία διασύνδεσης με τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας άλλων χωρών. Κατά το τελικό στάδιο (*τεταρτογενές*), η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους τελικούς τομείς ζήτησης.

Ωστόσο, υπάρχουν και κάποιες τεχνολογίες, οι οποίες παρακάμπτουν το συμβατικό τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που αναφέρθηκε παραπάνω, όπως, παραδείγματος χάριν, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά στέγης στον οικιακό τομέα, απ’ όπου η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται κατευθείαν από του τελικούς οικιακούς καταναλωτές, χωρίς τη χρήση δικτύων μετάδοσης και διανομής. Οπότε, στη συγκεκριμένη περίπτωση, η παραχθείσα ενέργεια από το *δευτερογενές* στάδιο, μεταφέρεται κατευθείαν στους τελικούς τομείς ζήτησης, παρακάμπτοντας το *τριτογενές* και το *τεταρτογενές* στάδιο.

Σε ένα «Ενεργειακό Σύστημα Αναφοράς», όλες οι ηλεκτροπαραγωγικές τεχνολογίες αναπαριστώνται σαν τετράγωνα, όπου σαν τεχνολογία θεωρείται οτιδήποτε μετατρέπει κάποια μορφής πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Από την άλλη μεριά, τα βέλη αναπαριστούν τα χρησιμοποιούμενα ενεργειακά καύσιμα (π.χ. φυσικό αέριο, άνθρακας), τα οποία εισέρχονται σαν πρώτη ύλη στις ηλεκτροπαραγωγικές τεχνολογίες του συστήματος, ή εξέρχονται (παράγονται) από αυτές. Το εν λόγω σχήμα, θα πρέπει να αναπαριστά αποδοτικά την τωρινή κατάσταση του υπό εξέταση ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, αλλά και να παρουσιάζει την απαραίτητη ευελιξία σχετικά με την ενσωμάτωση των τάσεων σχετικά με τη μελλοντική εξέλιξή του, π.χ. την εισαγωγή νέων καυσίμων ή/και τεχνολογιών. Σε αυτό το πλαίσιο, σε αυτό το σχήμα σχεδιάζονται και οι ηλεκτροπαραγωγικές τεχνολογίες που δύναται ή σχεδιάζεται να εισέλθουν μελλοντικά το σύστημα, συνήθως σαν τετράγωνα που φέρουν κάποιο διακριτικό (π.χ. παραμορφωμένα τετράγωνα, ή με διακεκομμένη γραμμή), για να διακρίνονται από τις υπάρχουσες τεχνολογίες του συστήματος.

Το εν λόγω σχήμα, είτε αντλείται από τον αναλυτή κατευθείαν με βάση το διάγραμμα “Sankey”, το οποίο εκδίδεται από έγκριτους οργανισμούς παγκόσμιας εμβέλειας, όπως παραδείγματος χάριν από το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας<sup>3</sup>, είτε κατασκευάζεται από τον αναλυτή με βάση το ενεργειακό ισοζύγιο της εξεταζόμενης χώρας, για το πιο πρόσφατο έτος για το οποίο είναι διαθέσιμο. Θα πρέπει να τονιστεί, ότι το ενεργειακό ισοζύγιο μίας χώρας εκδίδεται αναδρομικά με κάποια έτη καθυστέρηση, οπότε συνήθως το ισοζύγιο που χρησιμοποιείται έχει έτος αναφοράς ετεροχρονισμένο (παλαιότερο) σε σχέση με τον πραγματικό χρόνο της ανάλυσης. Ωστόσο, η εν λόγω στρατηγική, δηλαδή να ξεκινάει ο ορίζοντας μοντελοποίησης από έναν παρελθοντικό χρόνο, είναι κάτι που συμβάλει στη ευρωστία της ανάλυσης, υπό τη έννοια ότι στα πρώτα χρόνια της ανάλυσης χρησιμοποιούνται ιστορικά —πραγματικά— δεδομένα, παρά προβλέψεις, κάτι το οποίο κάνει πιο αποδοτική τη ρύθμιση του μοντέλου.

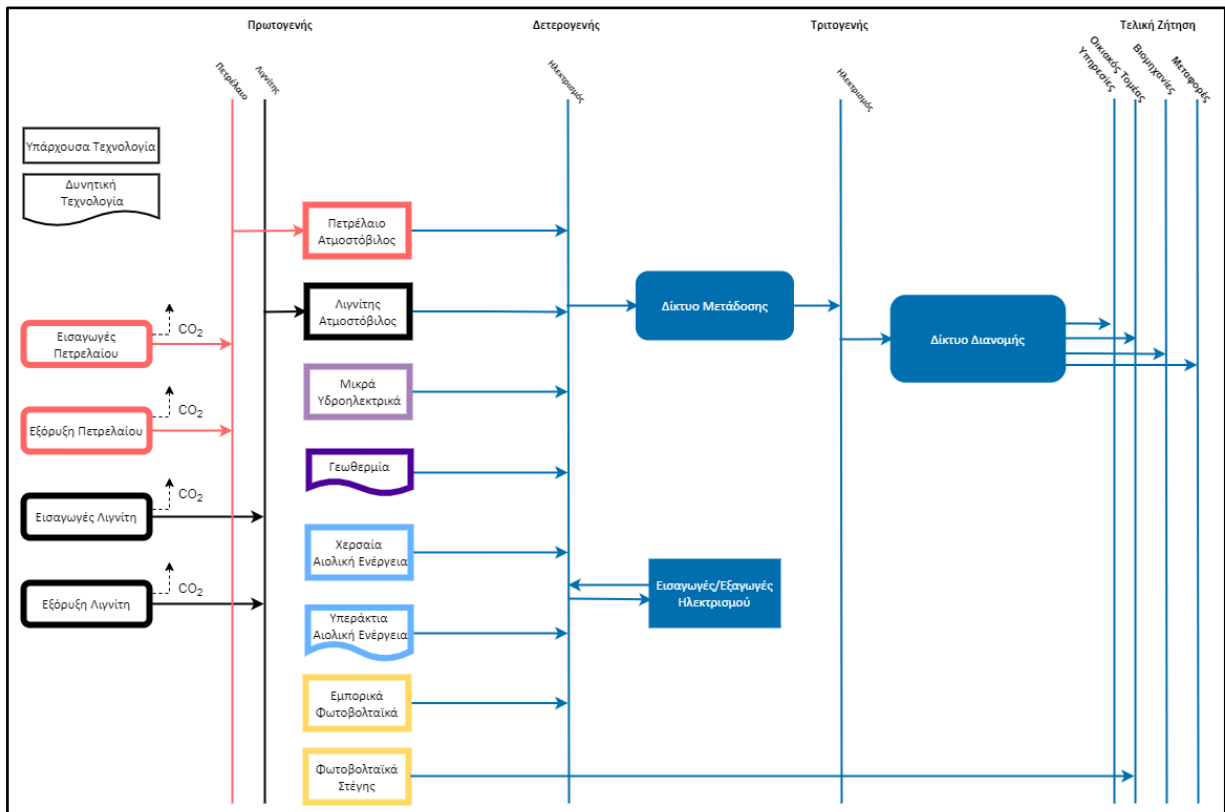
Επίσης, για το σκοπό της σχεδίασης του «Ενεργειακού Συστήματος Αναφοράς» μίας χώρας, είναι απαραίτητη η επισκόπηση επίσημων εγγράφων που εμπεριέχουν τους στόχους και τις προθέσεις των φορέων χάραξης πολιτικής για την εξεταζόμενη χώρα, όπως παραδείγματος χάρις το ΕΣΕΚ ή η Μακροχρόνια Στρατηγική, με σκοπό να εντοπιστούν οι μελλοντικές τεχνολογίες που σχεδιάζονται να εισέλθουν στο σύστημα, όπως και τα δεδομένα του συστήματος αυτά καθεαυτά.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός «Ενεργειακού Συστήματος Αναφοράς» παρέχεται στην **Εικόνα 10**, όπου απεικονίζεται το ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα μίας υποθετικής χώρας που χρησιμοποιεί πρωτογενείς φυσικές ενεργειακές πηγές πετρελαίου και λιγνίτη —οι οποίες προέρχονται από εισαγωγές και εξορύξεις. Αντίστοιχα, ο δευτερογενής της τομέας περιλαμβάνει πετρελαϊκά και λιγνιτικά ηλεκτροπαραγωγικά εργοστάσια, 4 υπάρχουσες τεχνολογίες (μικρά

<sup>3</sup> Διαθέσιμα διαδικτυακά μέσω της ιστοσελίδας <https://www.iea.org/sankey/>

υδροηλεκτρικά, εμπορικά φωτοβολταϊκά, φωτοβολταϊκά στέγης και χερσαία αιολικά) ΑΠΕ και 2 είδη τεχνολογιών ΑΠΕ που αναμένεται να εισέλθουν μελλοντικά στο σύστημα, ήτοι τη γεωθερμία και τα υπεράκτια αιολικά. Τέλος, η τελική ζήτηση συνίσταται στη ζήτηση τεσσάρων τομέων, ήτοι του οικιακού τομέα, των βιομηχανιών, των μεταφορών και των υπηρεσιών.

*Εικόνα 10: Παράδειγμα Ενεργειακού Συστήματος Αναφοράς.*



Τα βασικά βήματα για την κατασκευή ενός μοντέλου, με βάση το πλαίσιο ενεργειακής μοντελοποίησης OSeMOSYS, μπορούν να συνοψισθούν στα ακόλουθα στάδια:

- Αρχικοποίηση μοντέλου,
- Ορισμός χρονικού ορίζοντα (έτη της ανάλυσης) και κατηγοριοποίηση έτους και ημέρας σε επιμέρους χρονικά διαστήματα (ανάλογα με το είδος της πληροφορίας που επιθυμεί να ανακτήσει ο αναλυτής ως συνάρτηση του χρόνου),
- Ορισμός των ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών και καυσίμων του συστήματος (υπαρχόντων και δυνητικών),
- Ορισμός της τελικής ζήτησης ηλεκτρισμού καθ' όλο το χρονικό ορίζοντα μοντελοποίησης, συνολικά και ανά τομέα,

- Ορισμός κόστους (κόστος επένδυσης, σταθερά και μεταβλητά κόστη λειτουργίας), απόδοσης και τεχνικών χαρακτηριστικών των δηλωθέντων στο μοντέλο τεχνολογιών (π.χ. εγκατεστημένη ισχύς, λειτουργικός χρόνος ζωής),
- Ορισμός περιορισμών σχετικά με την ελάχιστη και μέγιστη λειτουργία των ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών (π.χ. απόσυρση τεχνολογίας από το σύστημα, ορισμός ελάχιστης ή μέγιστης λειτουργίας μίας νέας τεχνολογίας),
- Ορισμός εκπομπών (αέρια του θερμοκηπίου, ένταση εκπομπών ανά τεχνολογία, χρηματική ποινή ανά μονάδων εκπομπών, περιορισμοί εκπομπών ανά έτος),
- Ορισμός λειτουργίας αποθήκευσης του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος (προαιρετικό βήμα),
- Ορισμός στόχων σχετικά τις τεχνολογίες ΑΠΕ (ορισμός καυσίμων και τεχνολογιών που συνεισφέρουν στο στόχο, ορισμός ελάχιστου ποσοστού συμμετοχής ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή),
- Ορισμός αποθεματικών ηλεκτρισμού (“reserve margin”, ύψος πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με την απαιτούμενη ενέργεια στην περιοχή υπό εξέταση και ορισμός τεχνολογιών που συνεισφέρουν στο αποθεματικό ενέργειας).

### 3.2.3 Παράμετροι και Δεδομένα

Είναι προφανές, ότι η εκτέλεση των παραπάνω βημάτων για τη ρύθμιση και παραμετροποίηση του OSeMOSYS, απαιτούν τη συλλογή μίας ευρείας γκάμας δεδομένων, των οποίων η συλλογή μάλιστα παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες. Για τη συλλογή τους, συνίσταται η χρήση μελετών που παρουσιάζουν μία εστίαση στην εξεταζόμενη περιοχή, όπως π.χ. το ΕΣΕΚ της χώρας ενδιαφέροντος, ή δεδομένα από του επίσημους Διαχειριστές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας της συγκεκριμένης περιοχής.

Ωστόσο, στην περίπτωση ένδειας τέτοιου είδους μελετών, θα πρέπει να γίνεται χρήση μελετών με έναν περισσότερο παγκόσμιο γεωγραφικό προσανατολισμό (π.χ., Carlsson et al., 2014; EC, 2021; IEA, 2021d). Οπότε, με βάση αυτές τις μελέτες, δύναται να καθορισθούν οι τεχνοοικονομικές παράμετροι που ορίζονται στο μοντέλο, όπως επίσης και τα παρελθοντικά δεδομένα του υπό εξέταση συστήματος, για την απεικόνιση της τωρινής του κατάστασης. Επίσης, οι εν λόγω μελέτες μπορούν να συμβάλουν και στον καθορισμό των προβλέψεων σχετικά με τις βασικές μεταβλητές του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος που απαιτούνται να ορισθούν στο μοντέλο.

Ακόμη, προς την κατεύθυνση της εξασφάλισης της συλλογής των απαραίτητων δεδομένων από τον αναλυτή, καίρια είναι η συμβολή πρωτοβουλιών, που επιχειρούν να καταστήσουν εμφανή τα δεδομένα των ηλεκτροπαραγωγικών συστημάτων και να διευκολύνουν ασκήσεις μοντελοποίησης ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών· ενώ είναι προφανές ότι συμβάλουν παράλληλα στην επικοινωνία

μεταξύ των μελών της ακαδημαϊκής κοινότητας και των αναλυτών, δρώντας σαν ένα κοινό σημείο αναφοράς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πλατφόρμα “ENTSO-E” του Ευρωπαϊκού Δικτύου Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς (Hirth et al., 2018), το οποίο εκπροσωπεί 39 διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από 35 χώρες σε όλη την Ευρώπη. Ωστόσο, θα πρέπει να τονιστεί, ότι συνίσταται η διασταύρωση αυτών των δεδομένων με επίσημες πηγές της εξεταζόμενης χώρας, καθώς σημαντικές αποκλίσεις μπορούν να παρατηρηθούν στην πράξη, όπως εντοπίστηκε και στο πλαίσιο της παρούσης διδακτορικής διατριβής.

Από την εν λόγω βάση, δύναται να εξαχθούν πληροφορίες όπως το προφίλ της τελικής ζήτησης ηλεκτρισμού της εξεταζόμενης χώρας, δηλαδή πως εξελίσσεται η τελική ζήτηση κατά μήκος των μηνών ενός έτους και κατά τη διάρκεια της ημέρας (διατίθενται ωριαία δεδομένα). Επίσης, ένα έτερο σημαντικό κομμάτι της ανάλυσης που απαιτεί τη χρήση εξειδικευμένων δεδομένων, αποτελεί η ενσωμάτωση των κλιματικών χαρακτηριστικών των επιμέρους περιοχών της εξεταζόμενης χώρας. Αυτό γίνεται στο OSeMOSYS μέσω της μοντελοποίησης διαφορετικών ειδών από κάθε τεχνολογία ΑΠΕ που η λειτουργία της υπόκειται στα τοπικά κλιματικά χαρακτηριστικά, ήτοι οι ΑΠΕ που στηρίζονται στον άνεμο και στον ήλιο. Για το σκοπό αυτό, έχουν αναπτυχθεί διαδικτυακά εργαλεία, (π.χ., Staffell and Pfenniger, 2016), τα οποία παρέχουν αυτού του είδους την πληροφορία και, ως εκ τούτου, συμβάλουν καθοριστικά σε ασκήσεις μοντελοποίησης ηλεκτροπαραγωγικών συστημάτων· ενώ είναι προφανές ότι τα διαφορετικά κλιματικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής, μεταφράζονται σε διαφορετικούς «συντελεστές χωρητικότητας» για τις σχετιζόμενες με τα κλιματικά χαρακτηριστικά ΑΠΕ, κατά μήκος των χρονικών διαστημάτων που συνίσταται ένα έτος, με βάση τις θεωρήσεις που πραγματοποιούνται στην ανάλυση.

Ακόμα, θα πρέπει τονιστεί, ότι όλα τα δεδομένα που εισέρχονται στο μοντέλο και αφορούν κόστη, ήτοι χρηματικές μονάδες, συνιστάται να εκφράζονται σε σταθερές τιμές του έτους βάσης, δηλαδή του πρώτου έτους της μοντελοποίησης. Για αυτό το σκοπό, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται τα επίσημα δεδομένα για τον πληθωρισμό της εξεταζόμενης χώρας, με τα οποία μπορούν να μετατραπούν στις τιμές του έτους βάσης, όλα τα δεδομένα που είναι εκπεφρασμένα σε νομισματικές μονάδες.

Ύστερα από την αποτύπωση του εξεταζόμενου ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος και τον ορισμό των χαρακτηριστικών των τεχνολογιών και των περιορισμών που το διέπουν, μπορεί να λάβει χώρα η προσομοίωση των πολιτικών ενδιαφέροντος και να παραχθεί σημαντική πληροφορία για τους αποφασίζοντες, μέσω των αποτελεσμάτων του μοντέλου. Μία πολιτική δύναται να προσομοιωθεί, είτε μέσω του ορισμού ενός επιπλέον περιορισμού στο μοντέλο, π.χ. συγκεκριμένο έτος απόσυρσης μίας τεχνολογίας, ελάχιστο ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, ή ανώτατο όριο

εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, είτε μέσω της αλλαγής των τιμών μίας σειράς παραμέτρων του μοντέλου.

### 3.3 Διαχείριση Αβεβαιότητας Δεδομένων Εισόδου για το Μοντέλο Βελτιστοποίησης Ηλεκτροπαραγωγικού Προγραμματισμού

Όπως έχει αναφερθεί έως τώρα στην παρούσα διδακτορική διατριβή, ένα εγγενές χαρακτηριστικό του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, είναι η εγγενής αβεβαιότητα που παρουσιάζει. Τα ηλεκτροπαραγωγικά σενάρια πολιτικής συνήθως εκτείνονται κατά μήκος ενός ευρέως χρονικού διαστήματος στο μέλλον, κάτι το οποίο ανοίγει ένα ευρύ φάσμα σεναρίων, σχετικά με την πιθανή εξέλιξη των βασικών συνιστωσών του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος (π.χ., κόστη, τιμές, ζήτηση), ενώ περικλείουν μία ευρεία κλίμακα ευμετάβλητων παραμέτρων, οι οποίες δύναται να επηρεάσουν σημαντικά την εξέλιξή τους.

Οπότε, η μη ενσωμάτωση αυτής της αβεβαιότητας, περιορίζει σημαντικά την ποιότητα της ανάλυσης και θέτει σε διακινδύνευση την ορθή επιλογή του ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής που ικανοποιεί καλύτερα τους σκοπούς των αποφασιζόντων, σε σχέση με τα ανταγωνιστικά σενάρια με τα οποία αντιπαρατίθεται. Αυτού του είδους η αβεβαιότητα, έχει ονομαστεί ως παραμετρική αβεβαιότητα, κάτι το οποίο αναφέρεται στη δυσκολία να οριστεί η τιμή των παραμέτρων των μοντέλων βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού (Edenhofer et al., 2006), οι οποίες απεικονίζουν τα χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος.

Γι' αυτό το λόγο, η παρούσα μεθοδολογία στοχεύει να αναγνωρίσει την πιο εύρωστη ηλεκτροπαραγωγική πολιτική, ή αλλιώς τη “no regret” πολιτική, μεταξύ αυτών που διαγωνίζονται στην παρούσα ανάλυση, υπό το πρίσμα της αβεβαιότητας σχετικά με τις τιμές που μπορεί να λάβουν οι παράμετροι εισόδου του μοντέλου. Θα πρέπει να τονιστεί ότι μία “no regret” πολιτική, είναι αυτή που ο αποφασίζοντας δεν πρόκειται να μετανιώσει μελλοντικά για την υλοποίησή της.

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι κατανομές πιθανότητας, οι οποίες περιγράφουν τη μεταβλητότητα των παραμέτρων εισόδου του μοντέλου δεν είναι διαθέσιμες, στο πλαίσιο της παρούσας ανάλυσης, προτείνεται η διαχείριση της αβεβαιότητας μέσω της θεώρησης πολλαπλών διακριτών σεναρίων σχετικά με τις μεταβλητές των οποίων η εξέλιξη θεωρείται αβέβαιη (π.χ. τα κόστη του συστήματος). Ωστόσο, σε αντίθεση με το τι συμβαίνει συνήθως σε παρόμοιες ασκήσεις οι οποίες διαχειρίζονται την αβεβαιότητα μέσω διακριτών σεναρίων, η παρούσα διδακτορική διατριβή προτείνει την ταυτόχρονη θεώρηση όλων των παραμέτρων αβεβαιότητας ανά περίπτωση. Κατ' αυτό τον τρόπο, το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο δύναται να απεικονίσει πιο ρεαλιστικά την πραγματικότητα και τις πολυδαίδαλες αλληλεπιδράσεις που λαμβάνουν χώρα τόσο εντός του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, όσο και μεταξύ αυτού και της ευρύτερης οικονομίας.

Πιο συγκεκριμένα, για κάθε αβέβαιη παράμετρο —όπως αυτή αναγνωρίζεται από τον εκάστοτε αναλυτή— προτείνεται η θεώρηση τριών σεναρίων. Το πρώτο σενάριο απεικονίζει τη μέση περίπτωση, και προκύπτει μέσω της πραγματοποίησης μιας βιβλιογραφικής επισκόπησης σχετικά με

την πιο πιθανή εξέλιξη της τιμής της εξεταζόμενης μεταβλητής. Πλέον αυτού του σεναρίου, προτείνεται η θεώρηση δύο επιπλέον σεναρίων, τα οποία περιγράφουν δύο ακραίες περιπτώσεις, για την εξέλιξη της μεταβλητής ενδιαφέροντος, μέσω της θεώρησης ενός εύρους μεταβλητότητας 30%. Με άλλα λόγια, ένα επιπλέον σενάριο περιγράφει την αυξημένη τιμή της μεταβλητής κατά 30%, και ένα έτερο σενάριο την αντίστοιχη μειωμένη τιμή της, στο επίπεδο του 30%. Είναι προφανές, ότι σε αυτά τα σενάρια, η τιμή που προβλέπεται για την εξεταζόμενη μεταβλητή σε κάθε έτος του ορίζοντα μοντελοποίησης, θεωρείται κατά 30% αυξημένη ή μειωμένη, αντίστοιχα, σε σχέση με το σενάριο μέσης περίπτωσης. Αυτή η προσέγγιση θα πρέπει να λαμβάνει χώρα για κάθε αβέβαιη παράμετρο που λαμβάνεται υπόψιν, κάτι που οδηγεί στη θεώρηση ενός εύρους σεναρίων με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$3^v \quad (19)$$

όπου  $v$ , ο αριθμός των αβέβαιων παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψιν.

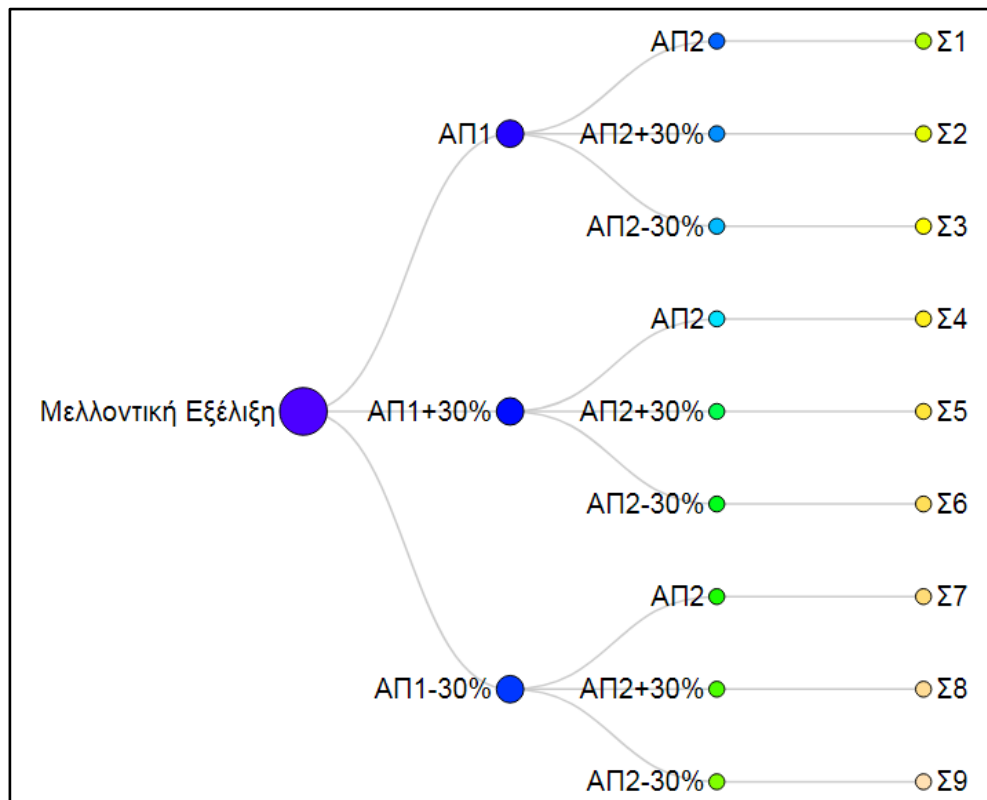
Παραδείγματος χάριν, με βάση αυτή την προσέγγιση, όταν λαμβάνονται υπόψιν 4 αβέβαιες παράμετροι, δημιουργούνται 81 σενάρια, όπου κάθε ένα από αυτά θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν και να προσομοιώνεται ξεχωριστά με το χρησιμοποιούμενο μοντέλο βελτιστοποίησης της ηλεκτροπαραγωγής, ήτοι το OSeMOSYS στην προκειμένη περίπτωση. Η λογική με βάση την οποία συνδυάζονται τα επιμέρους σενάρια, μπορεί να φανεί ευκρινέστερα στην [Εικόνα 11](#), όπου απεικονίζονται τα σενάρια που λαμβάνονται υπόψιν για δύο αβέβαιες παραμέτρους ( $AP_1$  και  $AP_2$ ), και το οποίο με βάση τον παραπάνω τύπο οδηγεί στη θεώρηση 9 σεναρίων.

Θα πρέπει να αναφερθεί, ότι ο λόγος που επιλέγεται η κλίμακα του 30% για το εύρος εντός του οποίου μπορεί να κυμανθεί η μεταβλητότητα μίας παραμέτρου προς κάθε κατεύθυνση (αύξηση ή μείωση), οφείλεται στην υψηλή αβεβαιότητα που υπάρχει για αυτού του είδους τις παραμέτρους (Yue et al., 2018). Οπότε, επιλέγοντας αυτή την κλίμακα, εισέρχεται στην ανάλυση το μεγαλύτερο μέρος της αβεβαιότητας που μπορεί να παρουσιάσουν αυτού του είδους οι παράμετροι, και άρα αυξάνεται το επίπεδο ευρωστίας των παραγόμενων αποτελεσμάτων.

Επίσης, λόγω του γεγονότος ότι το OSeMOSYS είναι μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού, τα συμπεράσματα που εξαγονται για κάθε σενάριο που προβλέπει την αυξημένη ή μειωμένη εξέλιξη των αβέβαιων παραμέτρων, ισχύουν και για όλες τις ενδιάμεσες τιμές, καθώς αυτό εξασφαλίζεται από τη γραμμικότητα των εξισώσεων του μοντέλου. Με άλλα λόγια, παραδείγματος χάριν, η αύξηση του κόστους λειτουργίας του συστήματος κατά 30%, θα οδηγούσε στο ίδιο είδος αποτελεσμάτων με την περίπτωση που ήταν αυξημένα κατά 20% (προτεραιοποίηση μίας πολιτικής A έναντι μίας άλλης πολιτικής B), αλλά σε μεγαλύτερη ένταση (αύξηση του βαθμού υπεροχής της πολιτικής A έναντι της ανταγωνιστικής πολιτικής B), κάτι το οποίο δε θα ίσχυε στην περίπτωση ενός μη γραμμικού μοντέλου.



**Εικόνα 11:** Παράδειγμα διάκρισης σεναρίων ( $\Sigma_i$ ) για την περίπτωση δύο αβέβαιων παραμέτρων ( $ΑΠ_1$  και  $ΑΠ_2$ ).



Για κάθε ένα από τα παραπάνω διακριτά σενάρια που σχηματίζονται, πραγματοποιείται μία διαφορετική προσομοίωση με το OSeMOSYS και συλλέγονται ξεχωριστά τα αποτελέσματα, καθώς τα επιμέρους αποτελέσματα χρησιμοποιούνται μετέπειτα στην πολυκριτήρια μεθοδολογία που εφαρμόζεται, και η οποία περιγράφεται ενδελεχώς στην παρακάτω ενότητα. Με βάση τα αποτελέσματα ανά σενάριο, οι εξεταζόμενες πολιτικές αξιολογούνται επί της βάσης της ευρωστίας τους απέναντι στην αβεβαιότητα, όπως επίσης και σε όρους απόδοσης επί των κριτηρίων που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση.

### 3.4 Πολυκριτήρια Αξιολόγηση Ηλεκτροπαραγωγικού Σχεδιασμού

Όπως έχει αναφερθεί μέχρι στιγμής, η εμπέλεια ενός ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής, εκτείνεται σε ένα ευρύ εύρος διαστάσεων, όπου συνηθώς μεταξύ αρκετών από αυτές τις διαστάσεις παρατηρούνται ισχυρές αντισταθμίσεις και ανταγωνιστικές δυνάμεις. Οπότε, μία τεκμηριωμένη και αποδοτική αξιολόγηση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, θα πρέπει να περιλαμβάνει το συγκερασμό και την ενσωμάτωση όλων αυτών διαστάσεων στην ανάλυση, απονέμοντάς τους μάλιστα διαφορετικές βαρύτητες, με βάση τις προτιμήσεις και ανάγκες του αποφασίζοντος. Με αυτό τον τρόπο, δύναται να δημιουργηθεί η απαραίτητη συναίνεση μεταξύ των βασικών εμπλεκομένων, για τη διενέργεια των απαραίτητων μετασχηματισμών του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος.

Για τον σκοπό αυτό στην παρούσα διδακτορική διατριβή, προτείνεται το πολυκριτηριακό μεθοδολογικό πλαίσιο **ReReVITO** (“**Regret Regret VIKOR TOPSIS**”), με σκοπό την εύρεση του ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής που ικανοποιεί καλύτερα τους σκοπούς και τις ανάγκες του διενεργούντος την ανάλυση ή των εμπλεκομένων σε αυτήν, υπό το πρίσμα αβέβαιων συνθηκών. Το εν λόγω μεθοδολογικό πλαίσιο, επιτρέπει την αποδοτική διαχείριση της αβεβαιότητας του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, μέσω της ποσοτικοποίησης των «βαθμών δυσaréσκειας» των αποφασιζόντων κατά μήκος των διαμορφούμενων σεναρίων —τα οποία κατασκευάζονται κατά τον τρόπο που περιγράφηκε στην **Ενότητα 3.3**— με βάση τη χρήση των δύο μέτρων ποσοτικοποίησης των «βαθμών δυσaréσκειας» που εμπεριέχονται στην πολυκριτήρια μέθοδο VIKOR. Επίσης, η εν λόγω μεθοδολογία, χρησιμοποιεί για την αξιολόγηση των ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων πολιτικής, τόσο την πολυκριτήρια μέθοδο VIKOR, όσο και την TOPSIS, επιτρέποντας κατ’ αυτό τον τρόπο την κατηγοριοποίηση των αποτελεσμάτων με βάση το προφίλ του αποφασίζοντα απέναντι στον κίνδυνο.

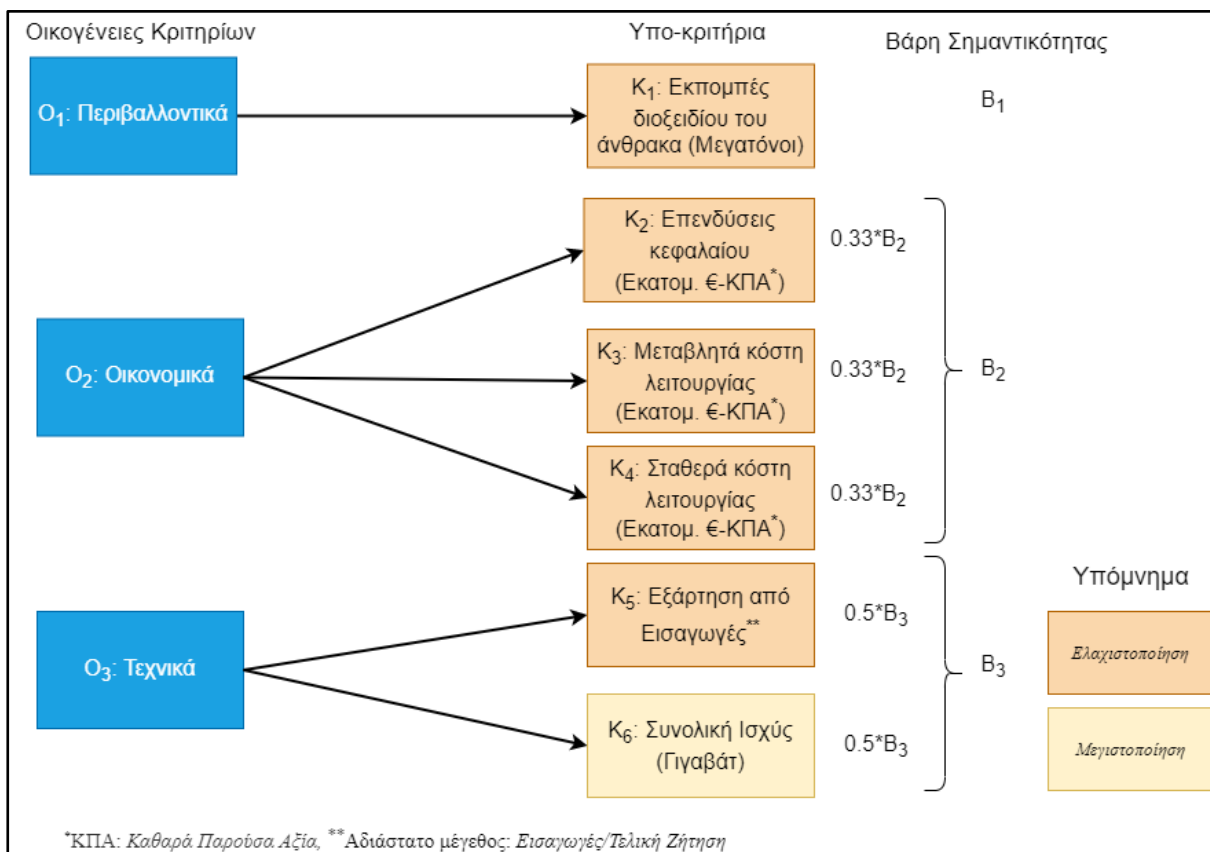
Το πρώτο βήμα για την αξιολόγηση ενός ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής από μία πολυκριτήρια σκοπιά, είναι η επιλογή των κριτηρίων επίδοσης, επί της βάσης των οποίων το σενάριο πολιτικής ενδιαφέροντος θα αξιολογηθεί. Αυτό θα πρέπει να γίνεται με γνώμονα τη συμπερίληψη στην ανάλυση των καίριων διαστάσεων που άπτονται του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού. Άρα, κατ’ αυτό τον τρόπο, εξασφαλίζονται οι αρχές της «επάρκειας» και της «λειτουργικότητας» για τα κριτήρια της ανάλυσης. Επίσης, η επιλογή των κριτηρίων θα πρέπει να πραγματοποιείται με βάση την αυτονομία των κριτηρίων, σε σχέση με τα έτερα κριτήρια της ανάλυσης, δηλαδή μία διάσταση θα πρέπει να εμπεριέχει και εξετάζεται από μονό ένα κριτήριο, καθώς σε αντίθετη περίπτωση καταστρατηγείται μία βασική αρχή της πολυκριτήριας ανάλυσης, αυτή της «μη πλεοναστικότητας».

Ωστόσο, σε αντίθεση με το τι συμβαίνει σε αντίστοιχες ασκήσεις, το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο από την παρούσα διδακτορική διατριβή, εστιάζει σε διαστάσεις οι οποίες μπορούν να αξιολογηθούν ποσοτικά, με βάση τα εξαγόμενα αποτελέσματα από το χρησιμοποιούμενο μοντέλο ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού. Αυτό καθώς όταν μια πολιτική αξιολογείται σε συγκεκριμένες διαστάσεις, με βάση τη γνώμη εμπειρογνώμων ή των κύριων εμπλεκομένων, η

ανάλυση περιλαμβάνει ισχυρή υποκειμενικότητα και προκατάληψη, κάτι το οποίο μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ευρωστία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης. Οπότε, προτείνεται η εστίαση στις οπτικές εκείνες, για τις οποίες μπορούν να αντληθούν συγκεκριμένα ποσοτικά στοιχεία για κάθε πολική ενδιαφέροντος.

Στην **Εικόνα 12**, απεικονίζονται οι επιλεγόμενες οικογένειες κριτηρίων που λαμβάνονται υπόψιν στο πλαίσιο του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, οι οποίες συνίστανται σε περιβαλλοντικά κριτήρια (εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα), οικονομικά κριτήρια (επενδύσεις κεφαλαίου, σταθερά και μεταβλητά κόστη λειτουργίας), και τεχνικά κριτήρια (βαθμός εξάρτησης σε εισαγωγές, συνολική ισχύς του συστήματος). Κάθε μία κατηγορία κριτηρίων περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα υποκριτήρια, επί της βάσης των οποίων αξιολογείται το εκάστοτε σενάριο πολιτικής. Στο εν λόγω σημείο της μεθοδολογίας υπεισέρχονται στην ανάλυση οι προτιμήσεις του αποφασίζοντος, υπό τη μορφή βαρών σημαντικότητας στις οικογένειες κριτηρίων που λαμβάνονται υπόψιν. Οι απονεμηθείσες βαρύτητες διαμοιράζονται συμμετρικά μεταξύ των υπο-κριτηρίων στα οποία συντίθεται η κάθε οικογένεια κριτηρίων.

**Εικόνα 12:** Δομή και χαρακτηριστικά των κριτηρίων επίδοσης της ανάλυσης.



Ύστερα από τον ορισμό των κριτηρίων επίδοσης, περιγράφονται τα βήματα της μεθοδολογίας με βάση την οποία δύναται να αξιολογηθούν τα διαφορετικά ηλεκτροπαραγωγικά σενάρια πολιτικής,

έναντι των παραπάνω κριτηρίων και υπό την παρουσία αβεβαιότητας. Το εν λόγω μεθοδολογικό πλαίσιο, στηρίζεται στη μέτρηση των «βαθμών δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων έναντι των διαστάσεων της ανάλυσης και έχει εμπνευστεί από την πολυκριτήρια μέθοδο VIKOR. Η εν λόγω μέθοδος επιλέχτηκε ως κύριος πυλώνας της διαμορφούμενης πολυκριτήριας μεθοδολογίας, λόγω της ικανότητας που προσφέρει να ποσοτικοποιηθεί η αντιστάθμιση μεταξύ της στρατηγικής της «συνολικής χρησιμότητας» (*“group utility”*) και αυτής της «μέγιστης δυσαρέσκειας» (*“individual regret”*; Moradi et al., 2020).

Θα πρέπει να αναφερθεί, ότι η αβεβαιότητα μοντελοποιείται με βάση τα σενάρια που σχηματίστηκαν παραπάνω, σχετικά με την εξέλιξη των βασικών παραμέτρων του εξεταζόμενου ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά υπολογίζεται ξεχωριστά το άθροισμα των «βαθμών δυσαρέσκειας» κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψιν, σε κάθε κριτήριο της ανάλυσης. Αυτό λαμβάνει χώρα με βάση τη χρήση δύο μέτρων ποσοτικοποίησης των «βαθμών δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων, όπως αυτά χρησιμοποιούνται από τη μέθοδο VIKOR. Πιο αναλυτικά, χρησιμοποιείται το μέτρο «συνολικής χρησιμότητας» (μέτρο  $S$ ), όπως επίσης και το μέτρο του μέγιστου «βαθμού δυσαρέσκειας» (μέτρο  $R$ ), με σκοπό την αξιολόγηση της ευρωστίας των πολιτικών ενδιαφέροντος.

Οι συνέπειες του πίνακα απόφασης θεωρούνται ότι μεταβάλλονται μεταξύ των διακριτών σεναρίων  $\{\Sigma, \dots, \Sigma_l\}$ . Οπότε, σε αυτό το πλαίσιο, οι συνέπειες των εναλλακτικών κατά μήκος των κριτηρίων τη ανάλυσης, παίρνουν την ακόλουθη μορφή:

$$f_{ij}^k, i = 1, \dots, \mu, j = 1, \dots, \nu, k = 1, \dots, \lambda \quad (20)$$

Τούτων δοθέντων, οι τύποι με βάση τους οποίους υπολογίζονται τα δύο μέτρα ποσοτικοποίησης των «βαθμών δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων, τα οποία εκφράζουν τη «συνολική δυσαρέσκεια» και τη «μέγιστη δυσαρέσκεια» των αποφασιζόντων κατά μήκος των διαμορφούμενων σεναρίων, μπορούν να εκφραστούν ως εξής (με βάρη  $\beta_j = 1, j = 1, \dots, \nu$ ):

$$R_{ij} = \max_k \left| \frac{f_k^{+,j} - f_{ij}^k}{f_k^{+,j} - f_k^{-,j}} \right| \quad (21)$$

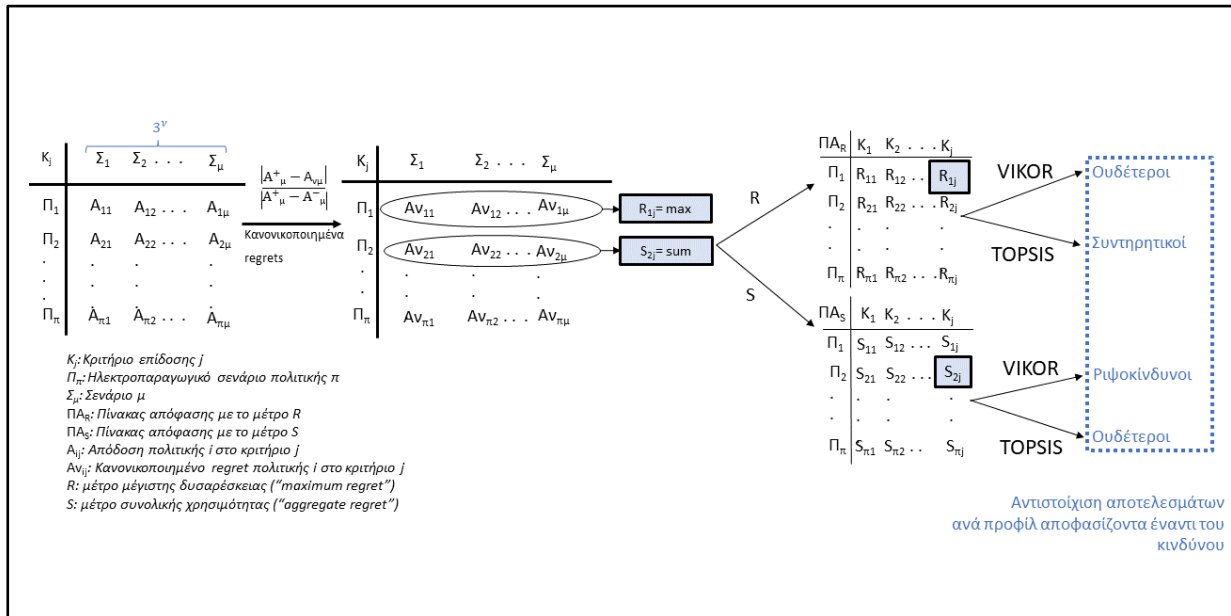
Και

$$S_{ij} = \sum_{k=1}^l \left| \frac{f_k^{+,j} - f_{ij}^k}{f_k^{+,j} - f_k^{-,j}} \right| \quad (22)$$

Σε κάθε μία από αυτές τις περιπτώσεις, είτε γίνεται χρήση του μέτρου «συνολικής χρησιμότητας», είτε του μέτρου «μέγιστης δυσαρέσκειας», δημιουργείται ένα κλασσικό πολυκριτήριο πρόβλημα,

όπου όλα τα κριτήρια είναι κόστους (τιμές «δυσaréσκειας»), δηλαδή επιδιώκεται η ελαχιστοποίησης τους. Η εν λόγω διαδικασία περιγράφεται σχηματικά στην **Εικόνα 13**.

**Εικόνα 13:** Διαδικασία κατασκευής πίνακα απόφασης, με βάση το μέτρο που χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση των «βαθμών δυσaréσκειας» των αποφασιζόντων, κατά μήκος των διαμορφούμενων σεναρίων.



Τα πολυκριτήρια προβλήματα που προκύπτουν ανά περίπτωση, ανάλογα με το μέτρο που έχει χρησιμοποιηθεί για την ποσοτικοποίηση των «βαθμών δυσaréσκειας» των αποφασιζόντων, επιλύονται τόσο με την πολυκριτήρια μέθοδο VIKOR, όσο και με την TOPSIS, οι οποίες στηρίζονται στην απόσταση από ένα σημείο αναφοράς (από μία ιδεατή κατάσταση), για την εύρεση μίας συμβιβαστικής λύσης (τα αναλυτικά βήματα των οποίων παρουσιάστηκαν ενδελεχώς στην **Ενότητα 2.2.4**). Με βάση αυτή την προσέγγιση, επιτρέπεται η εύρεση της συμβιβαστικής λύσης υπό διαφορετικές οπτικές γωνίες του αποφασίζοντος, όπως επίσης και η απόκτηση μίας εύρωστης προτεραιοποίησης των λύσεων που παράγονται ανά περίπτωση, με βάση το προφίλ του αποφασίζοντα έναντι του κινδύνου (Hwang and Yoon, 1981). Επίσης, κατ' αυτό τον τρόπο επιτρέπεται η εξέταση της ευρωστίας των αποτελεσμάτων έναντι της πολυκριτήριας μεθόδου που χρησιμοποιείται.

Σε αυτές τις ενέργειες συμβάλουν τα διαφορετικά ιδιοσυστατικά χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων μεθόδων, τα οποία απεικονίζουν μία διαφορετική προσέγγιση του αποφασίζοντα απέναντι στον κίνδυνο. Πιο συγκεκριμένα, η TOPSIS είναι και αυτή μία πολυκριτήρια μέθοδος που — όπως και η VIKOR— στηρίζεται στην απόσταση από ένα σημείο αναφοράς, και η οποία έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για την αξιολόγηση ενεργειακών πολιτικών (Doukas and Nikas, 2020; Labella

et al., 2020; Nikas et al., 2018). Σε σύγκριση με τη VIKOR, όμως, η TOPSIS λαμβάνει επίσης υπόψιν την αρνητική ιδεατή λύση, πλέον από την απόσταση από τη θετική ιδεατή λύση. Ως εκ τούτου, μπορεί να θεωρηθεί πιο κατάλληλη για την μοντελοποίηση περισσότερο συντηρητικών αποφασιζόντων απέναντι στον κίνδυνο (Orlicovic and Tzeng, 2004).

Μία παρόμοια ταξινόμηση προφίλ κινδύνων, μπορεί να υλοποιηθεί και για την περίπτωση των δύο μέτρων για την ποσοτικοποίηση των «βαθμών δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων, που χρησιμοποιούνται στο πρώτο στάδιο της ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, η διαχείριση της αβεβαιότητας στο πρώτο στάδιο με το μέτρο «μέγιστης δυσαρέσκειας» ( $R$ ), ταιριάζει καλύτερα σε αποφασίζοντες που προτεραιοποιούν τη διάσταση του κόστους. Αυτό καθώς, κατ' αυτό τον τρόπο, η αβεβαιότητα διαχειρίζεται μόνο με την αποφυγή της χειρότερης επίδοσης, χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν η συνολική επίδοση (δηλαδή το κέρδος). Αντιθέτως, το μέτρο «συνολικής χρησιμότητας» ( $S$ ) είναι περισσότερο πρόσφορο για αποφασίζοντες οι οποίοι επιδεικνύουν μία αισιοδοξία έναντι της αβεβαιότητας, καθώς λαμβάνεται υπόψιν η συνολική επίδοση, κατά μήκος ολόκληρου τους εύρους των σεναρίων που σχηματίζονται στην εκάστοτε ανάλυση.

Οπότε, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, τα αποτελέσματα που εξάγονται από το προτεινόμενο πολυκριτηριακό μεθοδολογικό πλαίσιο υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, ανάλογα με το μέτρο που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των «βαθμών δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων και την πολυκριτήρια μέθοδο που εντοπίζει τη συμβιβαστική λύση, μπορούν να αντιστοιχισθούν στα εξής προφίλ αποφασιζόντων, με βάση τη συμπεριφορά τους απέναντι στον κίνδυνο: «ριψοκίνδυνοι», «ουδέτεροι» και «συντηρητικοί» αποφασίζοντες (**Εικόνα 13**).

Οι «ριψοκίνδυνοι» αποφασίζοντες είναι εκείνοι οι οποίοι προτεραιοποιούν τη διάσταση της απόδοσης, ακόμη και αν η πλήρη υλοποίησή της είναι αβέβαιη και ισχυρές διαφοροποιήσεις δύναται να παρατηρηθούν στην πραγματικότητα. Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, σε αυτούς τους αποφασίζοντες αντιστοιχούν τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας όταν χρησιμοποιούνται το μέτρο «συνολικής χρησιμότητας» και η μέθοδος VIKOR.

Στον αντίποδα, οι «συντηρητικοί» αποφασίζοντες αποφεύγουν τις ισχυρές διαφοροποιήσεις μεταξύ της προβλεπόμενης και της πραγματικής απόδοσης των επισκοπούμενων πολιτικών, ανεξαρτήτου του βαθμού της απόδοσης που ενδεχομένως θυσιάζουν κατ' αυτό τον τρόπο. Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας που περιγράφουν καλύτερα αυτή την κατηγορία αποφασιζόντων, πρέπει να χρησιμοποιούνται το μέτρο «μέγιστης δυσαρέσκειας» και η μέθοδος TOPSIS.

Τέλος, οι «ουδέτεροι» αποφασίζοντες, τοποθετούνται στη μέση της κλίμακας, μη επιδεικνύοντας κάποια προτίμηση έναντι της ανάληψης ή αποφυγής κινδύνου. Σε αυτούς τους αποφασίζοντες

αντιστοιχούν τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας όταν χρησιμοποιούνται το μέτρο «συνολικής χρησιμότητας» και η μέθοδος TOPSIS ή το μέτρο «μέγιστης δυσαρέσκειας και η μέθοδος VIKOR.

Οπότε, με βάση την ανωτέρω κατηγοριοποίηση που πραγματοποιείται για τους αποφασίζοντες, αναφορικά με τη συμπεριφορά τους απέναντι στον κίνδυνο, εκείνοι μπορούν να διαλέξουν τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας που αντιστοιχούν καλύτερα στην ιδιοσυγκρασία τους και τη συμπεριφορά τους έναντι της αβεβαιότητας. Ωστόσο, πέρα από την επιλογή των αποτελεσμάτων αυτών καθ' εαυτών, που αντιστοιχούν καλύτερα στη συμπεριφορά των αποφασιζόντων ανά περίπτωση, επιτρέπεται και η εξαγωγή μίας ευκρινέστερης και πιο σφαιρικής εικόνας για τις προεκτάσεις και τα χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων πολιτικής, εν γένει.

### 3.5 Διασύνδεση Μοντέλων

Όπως έχει αναφερθεί ήδη στην παρούσα διδακτορική διατριβή, η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτελείται από δύο κατηγορίες συμπληρωματικών μοντέλων —υπό την έννοια ότι το ένα απαντάει σε ερωτήματα και καλύπτει διαστάσεις της ανάλυσης που δεν μπορεί να απαντήσει και να καλύψει το άλλο μοντέλο—, με σκοπό την εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων του καθενός από αυτά τα μοντέλα και την απάντηση ερωτήσεων ευρείας και διαφορετικής φύσης, ανά περίπτωση.

Πιο συγκεκριμένα, αν και το OSeMOSYS εξετάζει ενδελεχώς τις τεχνολογικές διαστάσεις και λεπτομέρειες του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, δεν μπορεί να απαντήσει σε ερωτήσεις που αφορούν σε ολόκληρη την οικονομία, όπως επίσης και να μελετήσει τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων και τομέων της οικονομίας. Αυτό το κενό έρχεται να καλύψει ένα μακροοικονομικό μοντέλο «γενικής ισορροπίας», μέσω του οποίου υπεισέρχονται στην ανάλυση οι συνολικές αλληλεπιδράσεις ολόκληρης της οικονομίας, αλλά και οι διατομεακές αλληλεπιδράσεις και οι δυνάμεις ανταγωνισμού της οικονομίας, οι οποίες «παραμελούνται» από ένα μοντέλο βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού.

Θα πρέπει να αναφερθεί, ότι η χρήση του μακροοικονομικού μοντέλου γίνεται για τα ηλεκτροπαραγωγικά σενάρια πολιτικής που έχουν εντοπιστεί μέσω της πολυκριτήριας μεθοδολογίας, που παρουσιάστηκε στην παραπάνω ενότητα αυτού του κεφαλαίου, ότι παρουσιάζουν τις καλύτερες προδιαγραφές για τους αποφασίζοντες. Πιο συγκεκριμένα, η πολυκριτήρια προσέγγιση που παρουσιάστηκε παραπάνω, συνήθως οδηγεί σε τρία τέτοια σενάρια πολιτικής, ένα για τους αποφασίζοντες που παρουσιάζουν ένα υψηλό επίπεδο ανοχής απέναντι στον κίνδυνο, ένα για εκείνους που επιθυμούν να ελαχιστοποιήσουν τον κίνδυνο —ακόμη και αν αυτό συνεπάγεται τη «θυσία» κάποιου βαθμού δυνητικού κέρδους που θα είχαν, αν αναλάμβαναν υψηλότερα επίπεδα κινδύνου— και ένα για τους «ουδέτερους» αποφασίζοντες απέναντι στον κίνδυνο.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί, ότι ο λόγος που η μακροοικονομική επίδοση ενός ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής δε συμπεριλαμβάνεται σαν κριτήριο στην πολυκριτήρια αξιολόγηση που πραγματοποιείται, αλλά διενεργείται μεμονωμένα σε ένα ύστερο στάδιο της ανάλυσης, οφείλεται σε μία σειρά από λόγους. Αρχικά, για την εύρεση του μακροοικονομικού αποτυπώματος των εξεταζόμενων πολιτικών, χρησιμοποιούνται τα δεδομένα που παράγονται από το OSeMOSYS αναφορικά με το κόστος των εξεταζόμενων πολιτικών, δηλαδή σχετικά με τις απαιτούμενες επενδύσεις κεφαλαίου, και το σταθερό και μεταβλητό κόστος του συστήματος, τα οποία όμως περιλαμβάνονται ήδη σαν ξεχωριστά κριτήρια στην ανάλυση. Με άλλα λόγια, αν υπεισέρχονταν η διάσταση της μακροοικονομικής επίδοσης στην πολυκριτήρια αξιολόγηση σαν ξεχωριστό κριτήριο, θα καταστρατηγούνταν η αρχή τη «μη πλεοναστικότητας».



Επίσης, για την εύρεση του μακροοικονομικού αποτυπώματος των εξεταζόμενων ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων πολιτικής, χρησιμοποιείται ένα έτερο μοντέλο, με διαφορετικά χαρακτηριστικά και παραμετρικές αβεβαιότητες. Ως εκ τούτου, όπως συμβαίνει και με το OSeMOSYS, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μία ανάλυση για αυτούς τους είδους την αβεβαιότητα, και το βαθμό στον οποίο μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα του μοντέλου. Οπότε, θα μπορούσε να μελετηθούν οι αβεβαιότητες και των δύο μοντέλων σε ένα στάδιο, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματά τους για την πολυκριτήρια αξιολόγηση των εξεταζόμενων σεναρίων πολιτικής. Ακόμη, μία βασική παράμετρος της αξιολόγησης του μακροοικονομικού αποτυπώματος μίας ηλεκτροπαραγωγικής πολιτικής, είναι η θεώρηση σχετικά με το ποιος παράγοντας της οικονομίας επωμίζεται το κόστος υλοποίησής της, με τα αποτελέσματα να διαφοροποιούνται ανάλογα με αυτή τη θεώρηση. Οπότε σε αυτή την περίπτωση, μία εμπειριστατωμένη ανάλυση θα απαιτούσε τη λήψη διαφορετικών σεναρίων, επί αυτής της διάστασης.

Πέρα όμως από την σύνδεση των δύο μοντέλων αυτή καθ' εαυτή, καίριας σημασίας είναι η πραγματοποίηση αυτής της διασύνδεσης με έναν αποδοτικό τρόπο, κάτι το οποίο θα εξασφαλίσει ότι το κάθε είδος μοντέλου ενημερώνει —αποδοτικά και πλήρως— το έτερο μοντέλο τη ανάλυσης. Επίσης, μία αποδοτική διασύνδεση των μοντέλων συμβάλλει στην αυτοματοποίηση της διαδικασίας και στην ελαχιστοποίηση του χρόνου που απαιτείται κάθε φορά για την ανταλλαγή δεδομένων από το ένα μοντέλο στο άλλο. Για το σκοπό αυτό, καθοριστικής σημασίας αποτελούν οι ακόλουθες ενέργειες:

- Αναγνώριση του είδους των δεδομένων των οποίων θα γίνει ανταλλαγή μεταξύ των δύο μοντέλων,
- Προσδιορισμός των διαδικασιών αρμονοποίησης των δεδομένων μεταξύ των δύο μοντέλων,
- Προσδιορισμός των διαστάσεων επί των οποίων θα πραγματοποιηθεί η αρμονοποίηση, και αναγνώριση των κρίσιμων μεταβλητών και υποθέσεων,
- Ορισμός του κοινωνικοοικονομικού σεναρίου το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως βάση για τη σύνδεση των δύο μοντέλων.

Η διασύνδεση των δύο μοντέλων μπορεί να χωριστεί σε δύο στάδια. Αρχικά, στην κοινή ρύθμιση (καλιμπράρισμα) των δύο μοντέλων, με σκοπό να περιγράψουν το ίδιο σενάριο αναφοράς και η — όσο το δυνατόν— κοινή χρήση των ίδιων παραμέτρων (όπου αυτό καθίσταται δυνατό). Έπειτα, κατά τη προσομοίωση των πολιτικών ενδιαφέροντος, στη «μετάφραση» των αποτελεσμάτων του OSeMOSYS —τα οποία περιγράφουν τις αλλαγές που συντελούνται στον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα— σε «διαταραχές» στην οικονομία μέσω του μακροοικονομικού μοντέλου GTAP.

Πιο συγκεκριμένα, δεδομένου ότι κάθε ένα από αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιεί μία διαφορετική βάση δεδομένων, είναι σημαντικές οι ακόλουθες ενέργειες στον τρόπο ρύθμισης της βάσης δεδομένων καθενός από αυτά τα μοντέλα:

- Διάκριση του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα στη βάση δεδομένων GTAP, σαν ξεχωριστός τομέας,
- Κοινή γεωγραφική ρύθμιση μεταξύ των δύο μοντέλων. Όσον αφορά το GTAP, δεδομένου του γεγονότος ότι είναι παγκόσμιο μοντέλο (περιγράφει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ όλων των οικονομιών του κόσμου), θα πρέπει οι περιοχές των οποίων το ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα εξετάζεται με το OSeMOSYS, να αποτελούν ξεχωριστές περιοχές, με σκοπό να μπορεί να επικοινωνηθεί η πληροφορία που εξάγεται από το OSeMOSYS, ενώ όλες οι υπόλοιπες περιοχές θα πρέπει να σχηματίζουν μία ενιαία τη γεωγραφική περιοχή («Υπόλοιπο του Κόσμου»).

Η διασύνδεση των μοντέλων, μέσω της κοινής ρύθμισης με το ίδιο σενάριο αναφοράς περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενέργειες:

- Κοινές υποθέσεις για τις μακροοικονομικές κινητήριες δυνάμεις για το κοινωνικό-οικονομικό σενάριο (π.χ., εξέλιξη του πληθυσμού, ΑΕΠ, προστιθέμενη αξία ανά τομέα, τιμές καυσίμων),
- Κοινός χρονικός ορίζοντας της ανάλυσης.

Θα πρέπει να τονιστεί, ότι παρά το γεγονός ότι στο OSeMOSYS δεν υπεισέρχονται άμεσα δεδομένα αναφορικά με το ΑΕΠ ή τον πληθυσμό, αυτά ουσιαστικά περιλαμβάνονται στη ζήτηση ηλεκτρισμού των τελικών τομέων που ορίζεται σε αυτό. Αυτό καθώς διαφορετικά μακροοικονομικά ή δημογραφικά μεγέθη, συνεπάγονται μία διαφορετική ζήτηση για ένα δεδομένο επίπεδο ενεργειακής αποδοτικότητας και ενεργειακής έντασης της οικονομίας.

Έπειτα από την απεικόνιση του βασικού σεναρίου αναφοράς και στα δύο μοντέλα ("bau"), ακολουθεί η προσομοίωση των πολιτικών ενδιαφέροντος. Για το σκοπό αυτό, και με βάση τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων τρόπων διασύνδεσης που αναφέρθηκαν στην [Ενότητα 2.1.2](#), η παρούσα διδακτορική διατριβή προτείνει τη χρήση μίας «χαλαρής» σύνδεσης μίας κατεύθυνσης, από το OSeMOSYS προς το GTAP. Πιο συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα σχετικά με το κόστος υλοποίησης των πολιτικών ενδιαφέροντος από το OSeMOSYS, θα πρέπει να «μεταφραστούν» σε «διαταραχές» για την οικονομία, οι οποίες θα εφαρμοσθούν μέσω του μοντέλου GTAP.

Για να γίνει αυτό, θα πρέπει να εντοπιστούν οι μεταβλητές οι οποίες τεκμηριώνουν την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των δύο μοντέλων. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να εντοπιστούν οι μεταβλητές του GTAP που θα χρειαστεί να «διαταραχθούν», ενσωματώνοντας την πληροφορία από το OSeMOSYS. Το γεγονός αυτό επιτάσσει, ότι αυτές οι μεταβλητές θα πρέπει να αποτελούν εξωγενείς μεταβλητές για το GTAP, ώστε να μπορούν να μεταβληθούν από τον αναλυτή. Το στοιχείο αυτό υποδηλώνει την αλλαγή της δομής του μοντέλου, στην περίπτωση που οι μεταβλητές που χρειάζεται

να «διαταραχθούν», δεν αποτελούν εξαρχής εξωγενείς μεταβλητές, αλλά αντίθετα προκύπτουν ως αποτέλεσμα των εξισώσεων του μοντέλου.

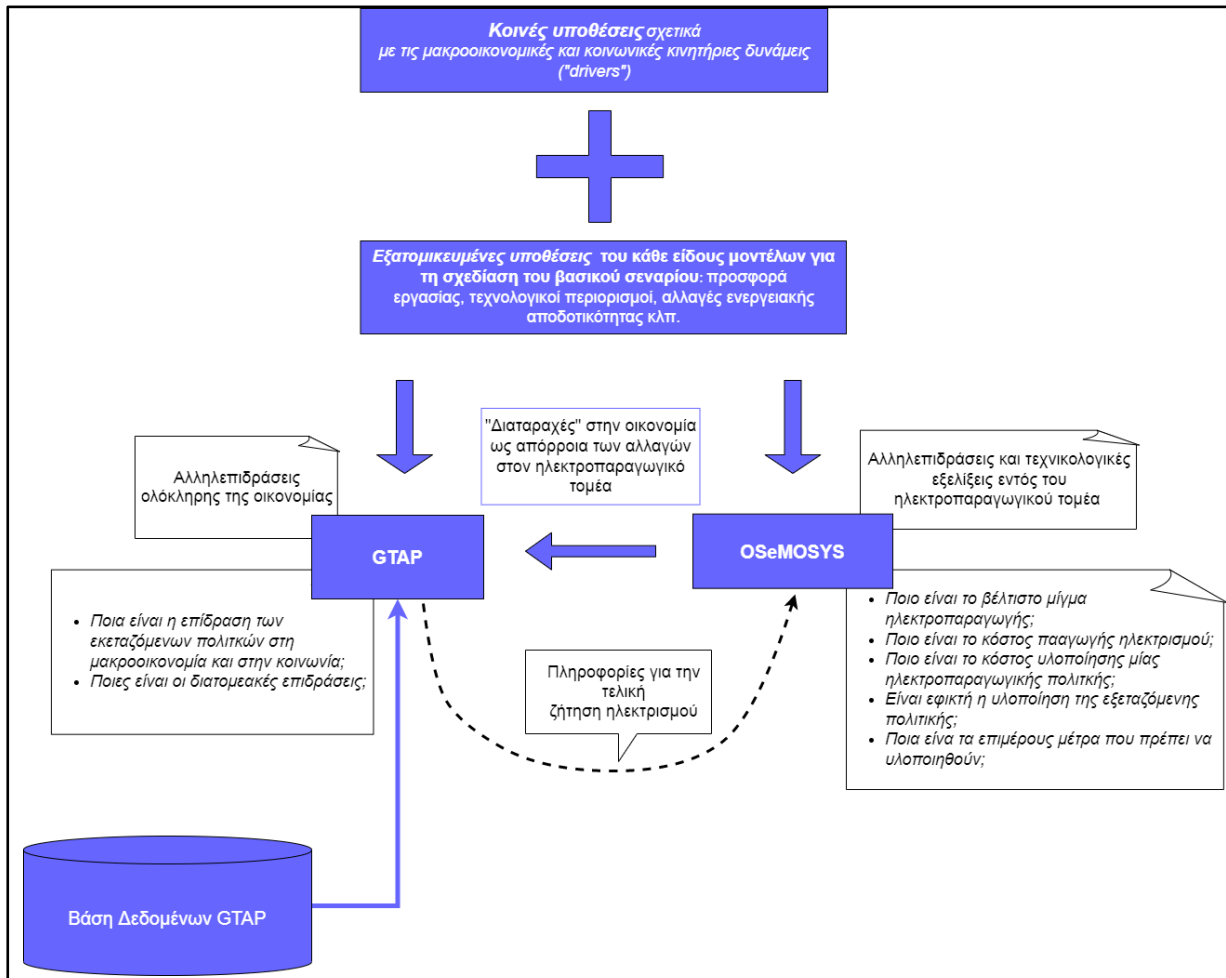
Συνήθως οι μεταβλητές του GTAP που χρησιμοποιούνται ως «όχημα» για να ενσωματώσουν την πληροφορία από το OSeMOSYS, είναι οι μεταβλητές για το ύψος των επενδύσεων, τα έξοδα νοικοκυριών και τα έξοδα των επιχειρήσεων. Ένα σημαντικό στοιχείο, όμως, για την εν λόγω ανταλλαγή πληροφοριών, είναι το ποιος παράγοντας της οικονομίας, παραδείγματος χάριν τα νοικοκυριά ή η κυβέρνηση, αναμένεται να καλύψει το κόστος υλοποίησης των εξεταζόμενων πολιτικών, εκτός αν πρόκειται να λάβει χώρα εξωγενής χρηματοδότηση υπό τη μορφή επιδοτήσεων. Είναι προφανές, ότι μπορούν να εξεταστούν και υβριδικές προσεγγίσεις, οι οποίες συνδυάζουν τις προαναφερθείσες πηγές χρηματοδότησης. Οπότε ένα πρωταρχικό στάδιο στην ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των δύο μοντέλων, είναι η θεώρηση για το ποιος ή ποιοι πρόκειται να καλύψουν το κόστος των εξεταζόμενων πολιτικών.

Για το σκοπό της αποδοτικής διασύνδεσης των δύο μοντέλων, καίριας σημασίας αποτελεί η χρήση μίας φιλικής προς το χρήστη διεπαφής, για την ανταλλαγή δεδομένων και οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων. Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι πέρα από τις κοινές υποθέσεις μεταξύ των δύο μοντέλων, το κάθε ένα από αυτά ακολουθεί κάποιες επιπλέον υποθέσεις, οι οποίες δεν μπορεί να διαμοιραστούν μεταξύ αυτών των μοντέλων.

Επίσης, παρά το γεγονός ότι η παρούσα διδακτορική διατριβή επικεντρώνεται στην ενημέρωση του GTAP από το OSeMOSYS, δηλαδή η ροή πληροφορίας είναι από το OSeMOSYS προς το GTAP, δύναται να υλοποιηθεί ένα πρότερο στάδιο, για τον υπολογισμό της τελικής ζήτησης ηλεκτρισμού και της σύνθεσής της. Για το σκοπό αυτό, οι βασικοί μακροοικονομικοί και δημογραφικοί δείκτες του σεναρίου αναφοράς, θα εισέλθουν στο GTAP για τον υπολογισμό της τελικής ζήτησης ηλεκτρισμού, η οποία στη συνέχεια θα εισέλθει στο OSeMOSYS για την προσομοίωση των σεναρίων ενδιαφέροντος.

Οπότε, με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, η **Εικόνα 14** απεικονίζει το είδος και τη ροή πληροφορίας που μπορεί να μεταφερθεί από το ένα μοντέλο, στο έτερο μοντέλο της ανάλυσης, όπως επίσης και τα βήματα που θα πρέπει να υλοποιούνται στο πλαίσιο μίας αποδοτικής διασύνδεσης, του «από τη βάση προς την κορυφή» ενεργειακού μοντέλου OSeMOSYS, με το «από την κορυφή προς τη βάση» μακροοικονομικό μοντέλο GTAP. Επίσης, στην εν λόγω εικόνα, απεικονίζονται το είδος και η φύση των ερωτήσεων που μπορούν να απαντηθούν από καθένα από αυτά τα μοντέλα.

**Εικόνα 14:** Σχηματική απεικόνιση των διασυνδέσεων μεταξύ του μακροοικονομικού μοντέλου «γενικής ισορροπίας» GTAP και του μοντέλου βελτιστοποίησης του προγραμματισμού της ηλεκτροπαραγωγής OSeMOSYS.



## 3.6 Μακροοικονομικό Μοντέλο «Γενικής Ισορροπίας»

### 3.6.1 Βάση Δεδομένων

Το πρώτο βήμα στη χρήση ενός μοντέλου «γενικής ισορροπίας» είναι η ρύθμιση του —κατά τέτοιο τρόπο— ώστε να αναπαριστά την οικονομία ενδιαφέροντος με έναν ακριβή τρόπο. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της χρήσης ενός σετ δεδομένων, τα οποία αντιπροσωπεύουν την οικονομία αναφοράς για ένα συγκεκριμένο διάστημα —συνήθως για ένα έτος. Με την παροχή αυτού του σετ δεδομένων, το μοντέλο υπολογίζει τις τιμές των παραμέτρων του με τέτοιο τρόπο, ώστε να αναπαράγει το σετ δεδομένων που του χορηγήθηκε. Όσον αφορά τα μοντέλα «γενικής ισορροπίας», το ρόλο αυτού του σετ δεδομένων διαδραματίζει συνήθως ο ΠΚΛ της εξεταζόμενης οικονομίας.

Το χαρακτηριστικό ενός ΠΚΛ, όπως περιγράφηκε αναλυτικά και στην ενότητα 2.1, εντοπίζεται στο ότι εκτός από το να παράσχει ποσοτικά δεδομένα για την εξεταζόμενη οικονομία, προσφέρει πληροφορία για τη δομή της και του μηχανισμούς που τη διέπουν, για το συγκεκριμένο έτος στο οποίο αναφέρεται. Λόγω της ένδειας που παρατηρείται για αυτού του είδους τα δεδομένα, σε συνδυασμό με την αναδρομικότητα με την οποία εκδίδονται, χρησιμοποιούνται κυρίως τα δεδομένα της βάσης δεδομένων GTAP.

Όπως περιγράφηκε λεπτομερώς και στην [Ενότητα 2.1.1](#), η εν λόγω βάση δεδομένων περιγράφει τις διμερείς εμπορικές σχέσεις, την παραγωγή, κατανάλωση και ενδιάμεση χρήση των αναπαραριστώμενων προϊόντων και υπηρεσιών. Η τελευταία έκδοσή της, της οποίας τα δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής, παράσχει δεδομένα για την παγκόσμια οικονομία, συμπεριλαμβανομένων συνολικά 456 χωρών, για τα ακόλουθα έτη αναφοράς: 2004, 2007, 2011, 2014 και 2017, και διαθέτει πάνω από 17000 χρήστες παγκοσμίως. Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων, έχει ευρέως χρησιμοποιηθεί από οργανισμούς και θεσμούς σε όλο τον κόσμο για την αξιολόγηση ενεργειακών πολιτικών. Η χρήση της συνεπάγεται την πληρωμή κάποιου αντιτίμου, το οποίο διαφοροποιείται ανάλογα με την περιοχή που προέρχεται ο αναλυτής και την ιδιότητά του (π.χ. προβλέπεται έκπτωσή για την περίπτωση των φοιτητών). Διατίθεται ωστόσο δωρεάν, για όσους έχουν συνεισφέρει δεδομένα στη βάση.

Θα πρέπει να τονιστεί, ότι στην περίπτωση που η χώρα ενδιαφέροντος δεν περιλαμβάνεται στη βάση δεδομένων GTAP, είναι σημαντικό να εισαχθεί από τον ερευνητή σε αυτή και στη συνέχεια να εξάγει τα δεδομένα της χώρας από την εν λόγω βάση, παρά να τα χρησιμοποιήσει κατευθείαν. Η ενέργεια αυτή συνιστάται, καθώς θα οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων σε όρους ακρίβειας και λεπτομέρειας, ενώ θα δώσει στο μελετητή την άδεια σχετικά με τη δωρεάν χρήση της βάσης δεδομένων GTAP. Η εν λόγω βάση δεδομένων χρησιμοποιείται ευρέως και αποτελεί την κύρια πηγή δεδομένων σε ασκήσεις μακροοικονομικής ανάλυσης ενεργειακών πολιτικών, κάτι το οποίο θα προσφέρει στον ερευνητή τη δυνατότητα να επανεκτελέσει κατά τον ίδιο ή παραπλήσιο

τρόπο έτερες ασκήσεις παραπλήσιας φύσης, ή, αντίστοιχα, τα πειράματά του να επανεκτελεστούν από άλλους μελετητές του ίδιου αντικειμένου, και άρα θα έχει τη δυνατότητα να δώσει ή να λάβει κάποιο είδος ανάδρασης και —εν γένει— να δημιουργηθούν συνθήκες εμπλοκής με τα μέλη της κοινότητας ανάλυσης πολιτικών.

Επιπλέον, όμως, το εγχείρημα αυτό είναι σημαντικό όχι μόνο από την οπτική της βελτίωσης των δεδομένων εισόδου για του σκοπούς της εκάστοτε ανάλυσης, αλλά και σαν βήμα ανάπτυξης των ικανοτήτων για μελλοντικές μακροοικονομικές αναλύσεις ενεργειακών πολιτικών για την ίδια χώρα. Τα σχετικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται ευρέως για αξιολόγηση ενεργειακών πολιτικών ανά το κόσμο, χρησιμοποιούν τη βάση δεδομένων GTAP για να αντλήσουν τα δεδομένα τους. Άρα, με την εισαγωγή της εξεταζόμενης χώρας στη βάση δεδομένων GTAP, δύναται να μειωθούν σημαντικά τα μελλοντικά κόστη παρόμοιων ασκήσεων για την ίδια χώρα.

Για το σκοπό αυτό, δηλαδή για την εισαγωγή μία χώρα στη βάση δεδομένων GTAP, απαιτείται μία σειρά ενεργειών, από την εξαγωγή των δεδομένων από την επίσημη στατιστική υπηρεσία, μέχρι τη μετατροπή τους στην κατάλληλη μορφή για εισαγωγή στη βάση δεδομένων GTAP (Huff et al., 2000). Αυτές οι ενέργειες, σχετίζονται με τον έλεγχο της ποιότητας των δεδομένων και τη επίλυση οιασδήποτε μορφής κακής συλλογής δεδομένων. Στο [Παράρτημα Β](#) της διατριβής, περιγράφονται αναλυτικά οι ενέργειες που έλαβαν χώρα για τη μετατροπή του πίνακα «Εισόδου-Εξόδου» της Δημοκρατίας της Σερβίας, στην κατάλληλη μορφή για να εισαχθεί στη βάση δεδομένων GTAP για πρώτη φορά σαν ξεχωριστή χώρα, οι οποίες έλαβαν χώρα από τον γράφοντα την παρούσα διδακτορική διατριβή.

Κατά την κατασκευή της βάσης δεδομένων GTAP, οι πίνακες «Εισόδου-Εξόδου» των χωρών οι οποίες εμπεριέχονται σε αυτή, αποτελούν το σημείο έναρξης της σχετικής διαδικασίας (αποτελούν την κύρια πηγή δεδομένων). Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα των εν λόγω πινάκων, συλλέγονται, ελέγχονται και αρμονοποιούνται με τα δεδομένα από διάφορες βάσεις δεδομένων, κάτι το οποίο επιτάσσει η παγκόσμια φύση της εν λόγω βάσης δεδομένων (Aguilar et al., 2019). Μεταξύ άλλων, τα εν λόγω δεδομένα περιλαμβάνουν φόρους εξαγωγών και επιδοτήσεις, το εμπόριο αγαθών και υπηρεσιών σε παγκόσμια κλίμακα, διμερείς δασμούς στις εισαγωγές, μακροοικονομικά δεδομένα σχετικά με το ΑΕΠ και τα στοιχεία στα οποία συντίθεται, ενεργειακά δεδομένα κλπ.

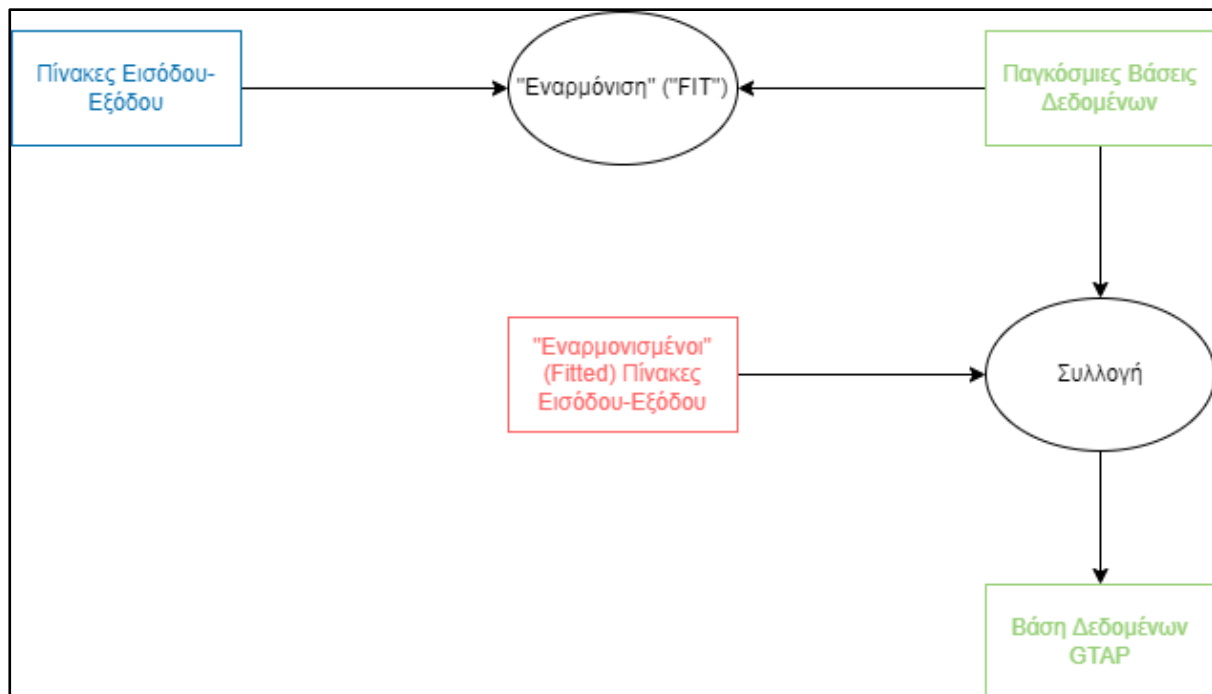
Όσον αφορά τα ενεργειακά δεδομένα του πίνακα Εισόδου-Εξόδου, κύρια πηγή δεδομένων αποτελούν τα ενεργειακά ισοζύγια των χωρών από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Ενέργειας, όπως επίσης τα δεδομένα για τις ενεργειακές τιμές και τους φορολογικούς συντελεστές από διάφορες πηγές. Τούτων δοθέντων, αξίζει να σημειωθεί, ότι το ενεργειακό κομμάτι του πίνακα «Εισόδου-Εξόδου», συμπεριλαμβανομένου του ενεργειακού εμπορίου, τα κόστη ενέργειας, η διάταξη των πωλήσεων και οι φορολογικοί συντελεστές, αντικαθίσταται από τα συλλεχθέντα ενεργειακά

δεδομένα εισόδου. Όσον αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα —οι οποίες περιλαμβάνονται και αυτές στη νέα έκδοση της βάσης— υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τους συντελεστές εκπομπών των προϊόντων και υπηρεσιών που περιλαμβάνονται στη βάση.

Μία σύνοψη των κατασκευαστικών διαδικασιών της βάσης δεδομένων GTAP, απεικονίζεται στην **Εικόνα 15**. Όπως φαίνεται σε αυτή την εικόνα, κατά τη διάρκεια αυτών των διαδικασιών, οι πίνακες «Εισόδου-Εξόδου» των χωρών που καλύπτονται από την εν λόγω βάση δεδομένων, συνδυάζονται με τα δεδομένα από παγκόσμιες βάσεις δεδομένων, με μία διαδικασία η οποία ονομάζεται «ταίριασμα» (“FIT”), η οποία εναρμονίζει τα δεδομένα από διαφορετικές πηγές. Στη συνέχεια οι «εναρμονισμένοι» (“FIT-ed”) πίνακες «Εισόδου-Εξόδου», συμπληρώνονται επιπλέον με τα δεδομένα των εθνικών λογαριασμών των χωρών, και συγκεντρώνονται μαζί για να δημιουργήσουν τη βάση δεδομένων GTAP.

Οπότε, με βάση τα ανωτέρω, η παρούσα διδακτορική διατριβή συνιστά σαν σημείο έναρξης της μακροοικονομικής ανάλυσης ενεργειακών και κλιματικών πολιτικών, την εξαγωγή των δεδομένων για την οικονομία ενδιαφέροντος από τη βάση δεδομένων GTAP, συνεισφέροντας τα δεδομένα της χώρας ενδιαφέροντος στη βάση, στην περίπτωση που δεν αντιπροσωπεύεται ήδη από αυτή σαν ξεχωριστή χώρα.

**Εικόνα 15:** Διαδικασία κατασκευής της βάσης δεδομένων GTAP.



Επίσης, με σκοπό τη διενέργεια μίας πιο λεπτομερούς και αντιπροσωπευτικής ανάλυσης του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, συνίσταται ο ηλεκτροπαραγωγικός τομέας να αποσυντίθεται στις

διαφορετικές τεχνολογίες τις οποίες περιλαμβάνει ή αναμένεται να ενσωματώσει μελλοντικά, όπως επίσης και στον τομέα «μετάδοσης και διανομής» (“transmission and distribution”). Σε κάθε περίπτωση, όμως, οι τομείς της βάσης θα πρέπει να ταξινομούνται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε τουλάχιστον ένας τομέας να αποτελεί τον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα, κάτι το οποίο θα επιτρέψει την επικοινωνία μεταξύ του μακροοικονομικού μοντέλου, με το μοντέλο τεχνολογικής λεπτομέρειας για τον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα που χρησιμοποιείται, ήτοι το OSeMOSYS. Η βασική έκδοση της βάσης δεδομένων GTAP περιλαμβάνει 65 τομείς, με τον ενεργειακό τομέα να αντιπροσωπεύεται από έναν συγκεντρωτικό τομέα. Από αυτό τον τομέα, δύναται να προκύψει ο τομέας ηλεκτρισμού, και μετέπειτα ο τομέας που θα προκύψει να αποσυντεθεί σε 11 ηλεκτροπαραγωγικές τεχνολογίες, όπως επίσης και στον τομέα «μετάδοσης και διανομής» ηλεκτρικής ενέργειας, με βάση τη βάση δεδομένων GTAP Power (Chereliev, 2019). Αυτή η αποσύνθεση του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, συντελεί στην καλύτερη επικοινωνία μεταξύ του μοντέλου βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού και του μακροοικονομικού μοντέλου.

Επίσης, έτερη σημαντική ενέργεια προς την κατεύθυνση της βελτίωσης της ποιότητας και αντιπροσωπευτικότητας των δεδομένων που παρέχονται στο μακροοικονομικό μοντέλο, αποτελεί η ανανέωση του έτους αναφοράς τους για την εξεταζόμενη οικονομία. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα εν λόγω δεδομένα εκδίδονται με μία αναδρομικότητα, σε προγενέστερο χρόνο από τον πραγματικό χρόνο της ανάλυσης. Για το σκοπό αυτό, συνίσταται η χρήση επιπλέον δεδομένων από εθνικούς λογαριασμούς (“national accounts”), τα οποία θα συλλεχθούν και ενσωματωθούν στον ΠΚΛ. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει αλλαγές στο ΑΕΠ, στην παραγωγή ανά τομέα, στο εμπόριο, στις ενεργειακές ροές, και σε άλλα δεδομένα εισόδου. Επιπρόσθετα, από μακροοικονομική σκοπιά, τα δεδομένα μπορούν να ανανεωθούν με έναν απλό τρόπο, μέσω του πολλαπλασιασμού των τιμών με ένα συντελεστή προσαύξησης ή απομείωσης, ο οποίος αντιστοιχεί στο ρυθμός ανάπτυξης ή συρρίκνωσης της οικονομίας, αντίστοιχα, για το εξεταζόμενο διάστημα.

### **3.6.2 Προσομοίωση «Διαταραχών» Ηλεκτροπαραγωγικών Πολιτικών σε Ολόκληρη την Οικονομία**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παρούσα διδακτορική διατριβή, οι επιδράσεις από την υλοποίηση ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, εκτείνονται —σε μεγάλο βαθμό— πέραν του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα. Οπότε, δημιουργείται η ανάγκη, όχι μόνο της αξιολόγησης του αποτυπώματος αυτών των πολιτικών στις διαστάσεις του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, αλλά και της εξέτασης των δυνητικών μακροοικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεών τους, ως απόρροια των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα με την ευρύτερη οικονομία.

Το εν λόγω είδος ανάλυσης, μπορεί να λάβει χώρα μέσω της χρήσης ενός μακροοικονομικού μοντέλου, που εξετάζει συνολικά την οικονομία, άρα και δύναται να απαντήσει σε ερωτήσεις μακροοικονομικής φύσεως, που αφορούν σε ολόκληρη την οικονομία και το σύνολο των πολιτών.



Είναι προφανές, ότι για να λάβει χώρα το εν λόγω εγχείρημα, θα πρέπει η πληροφορία από το μοντέλο βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού που χρησιμοποιείται στο αρχικό στάδιο της ανάλυσης, να «μεταφρασθεί» σε «διαταραχές» για την εξεταζόμενη οικονομία, ήτοι σε δεδομένα εισόδου για το μακροοικονομικό μοντέλο.

Το μακροοικονομικό μοντέλο που χρησιμοποιείται στο πλαίσιο της εν λόγω διδακτορικής διατριβής, απαρτίζεται από τη συμβατική έκδοση του μακροοικονομικού μοντέλο GTAP, το οποίο αναπτύχθηκε από τον Thomas Hertel και τους συνεργάτες του, στο πανεπιστήμιο Purdue στις Η.Π.Α., και περιγράφηκε για πρώτη φορά το 1997 (Hertel and Tsigas, 1997). Το εν λόγω μοντέλο είναι στατικό, παγκόσμιο και «γενικής ισορροπίας». Μπορεί να χρησιμοποιηθεί, τόσο για την προσομοίωση απλών προβλημάτων, όπως η αλλαγή στην επίπεδο παραγωγής μιας χώρας, όσο και για πιο σύνθετα προβλήματα, όπως η μελέτη σύνθετων πολιτικών οι οποίες επηρεάζουν πολλούς τομείς της οικονομίας.

Με βάση το εν λόγω μοντέλο, έχει αναπτυχθεί ένα παγκόσμιο δίκτυο ερευνητών και χαρασσόντων πολιτικής, οι οποίοι συνεργάζονται και ανταλλάσσουν πληροφορίες αναφορικά με τον τομέα της ποσοτικής ανάλυσης πολιτικών. Τα κύρια χαρακτηριστικά του εν λόγω μοντέλου μπορούν να συνοψισθούν στα ακόλουθα σημεία:

- Βασίζεται σε ένα πλαίσιο «εισαγωγών-εξαγωγών»: Λαμβάνονται υπόψιν όλες οι πηγές και χρήσεις κάθε οικονομικού αγαθού,
- Είναι «παγκόσμιο»: Λαμβάνει υπόψιν την παγκόσμια οικονομία, είτε συνολικά, είτε κατακερματισμένη σε επιμέρους χώρες ή γεωγραφικούς συνασπισμούς,
- Είναι «γενικής ισορροπίας»: Αναπαριστά μία οικονομία πολλών αγαθών, τα οποία παράγονται από πολλούς παραγωγικούς τομείς και καταναλώνονται από πολλά είδη καταναλωτών,
- Είναι «συγκριτικό στατικό» μοντέλο: Παρουσιάζει τις διαφορές μεταξύ διαφορετικών καταστάσεων της οικονομίας, ήτοι της «πριν την επιβολή της εξεταζόμενης πολιτικής» κατάστασης, και της «μετά την επιβολή της εξεταζόμενης πολιτικής» κατάστασης.

Είναι προφανές, ότι το εν λόγω μοντέλο δεν περιλαμβάνει τη διάσταση του χρόνου, η οποία όμως μπορεί να εισέλθει στην ανάλυση από το μελετητή, μέσω πολλαπλών προσομοιώσεων-συγκρίσεων της παρούσας κατάστασης της οικονομίας με μελλοντικές «μετά την επιβολή των «διαταραχών» καταστάσεις. Σε αυτή την περίπτωση, η κάθε μία από αυτές τις μελλοντικές καταστάσεις, αντιστοιχίζεται σε ένα συγκεκριμένο μελλοντικό έτος, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα επισκόπησης πέρα από την τελική κατάσταση της οικονομίας, του μονοπατιού που αναμένεται να ακολουθήσει μέχρι σ' αυτό το σημείο.

Επιπλέον, το συγκεκριμένο μοντέλο, μπορεί με έναν εύκολο τρόπο να μετατραπεί σε μία εναλλακτική έκδοση ή επέκταση της συμβατικής μορφής του. Για παράδειγμα, έχει μετατραπεί σε ένα δυναμικό μοντέλο (Ianchovichina et al., 2000), και έχει επεκταθεί στην έκδοση GTAP-E (Burniaux and Truong, 2002), η οποία παρουσιάζει μία εστίαση στον ενεργειακό τομέα.

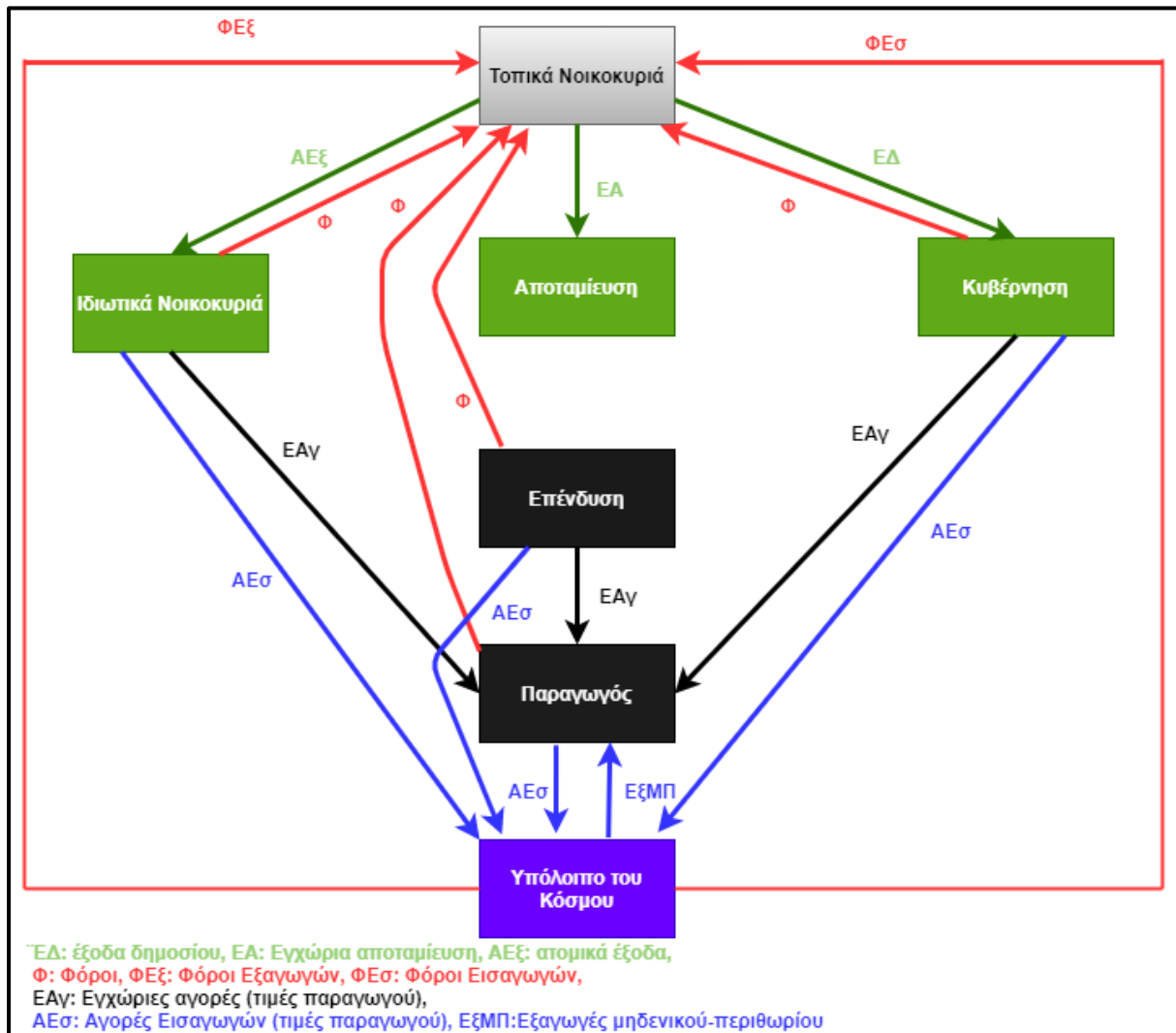
Στην παρακάτω εικόνα (**Εικόνα 16**) παρουσιάζονται οι κυκλικές ροές μία τοπικής οικονομίας, κατά τον τρόπο που αυτές προσομοιώνονται από το μοντέλο GTAP. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, η παραγωγή δημιουργεί εισόδημα, το οποίο χρησιμοποιείται για την αγορά συντελεστών παραγωγής, και στη συνέχεια:

- *Επιστρέφει στα τοπικά νοικοκυριά,*
- *Χρησιμοποιείται σε τρεις κατηγορίες τελικής ζήτησης:*
  - *δαπάνες νοικοκυριών,*
  - *κυβερνητικές δαπάνες,*
  - *αποταμιεύσεις (οι οποίες στη συνέχεια «μεταφράζονται» σε επενδύσεις).*

Το μακροοικονομικό μοντέλο GTAP, παρουσιάζει μία σειρά από πλεονεκτήματα έναντι των υπολοίπων διαθέσιμων μακροοικονομικών μοντέλων, τα οποία αποτέλεσαν το κίνητρο για την επιλογή του, στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής. Τα εν λόγω χαρακτηριστικά του, μπορούν να συνοψισθούν τόσο στην «ανοιχτού κώδικα» φύση του, όσο και στο γεγονός ότι έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στην ανάλυση των μακροοικονομικών συνεπειών μίας ευρείας κλίμακας πολιτικών —και δη ενεργειακών πολιτικών, αλλά και στο γεγονός ότι έχει αποτελέσει τον πρόδρομο και τη βάση, επί της οποίας ενέπνευσαν τη δημιουργία τους μία πλειάδα μετέπειτα αναπτυχθέντων μακροοικονομικών μοντέλων «γενικής ισορροπίας». Επίσης, εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι υπάρχει μία ευρεία κοινότητα ερευνητών και σχεδιαστών πολιτικής γύρω από αυτό το μοντέλο, όπως επίσης και το γεγονός ότι μπορεί να συνδεθεί με τη βάση δεδομένων GTAP, αντλώντας από αυτήν τα απαραίτητα δεδομένα για τη ρύθμισή του.

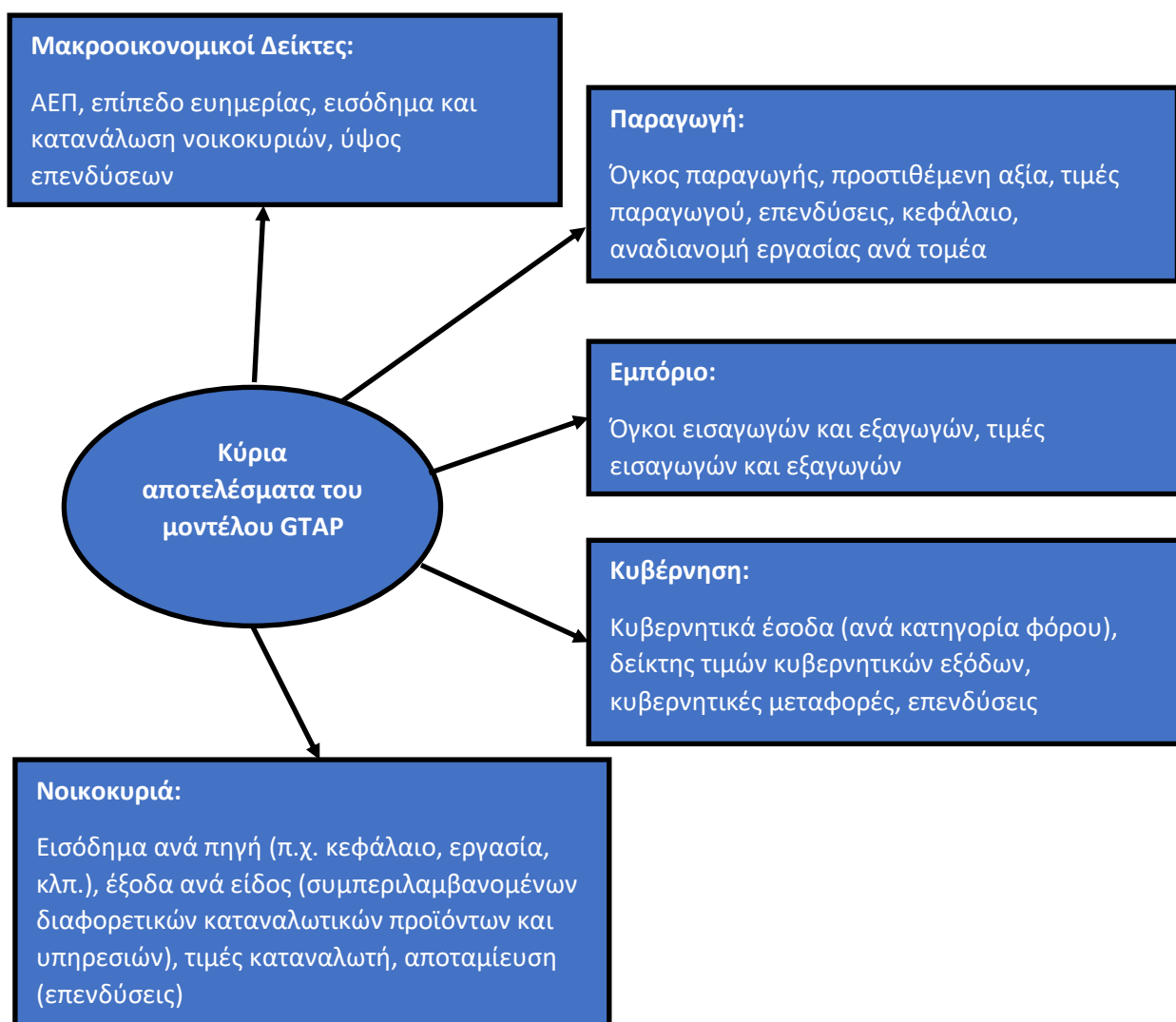
Οι βασικές κατηγορίες αποτελεσμάτων που παράγονται από το εν λόγω μοντέλο, καθώς και οι κύριες μεταβλητές που περιλαμβάνει η κάθε κατηγορία, φαίνονται στο **Σχήμα 4**. Είναι προφανές, ότι με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου GTAP, δύναται να αξιολογηθεί το πλήρες μακροοικονομικό αποτύπωμα μίας ηλεκτροπαραγωγικής πολιτικής, και να παρασχει άπλετη και ουσιαστική πληροφορία και υποστήριξη στους αποφασίζοντες.

*Εικόνα 16: Προσομοίωση των κυκλικών ροών μίας τοπικής οικονομίας από το μακροοικονομικό μοντέλο «γενικής ισορροπίας» GTAP.*



Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το εν λόγω μοντέλο θα αντλήσει τα δεδομένα του από τη βάση δεδομένων GTAP έκδοση 11. Δεδομένης της εξάρτησης των αποτελεσμάτων του μοντέλου στις παραμέτρους του μοντέλου, οι οποίες υπολογίζονται με σκοπό την αναπαραγωγή της βάσης δεδομένων που του παρέχεται, το πρώτο βήμα της ανάλυσης θα πρέπει να περιλαμβάνει τον έλεγχο του βαθμού της ορθότητας αυτών των παραμέτρων, ήτοι το βαθμό της αντιπροσωπευτικότητάς τους για την οικονομία ενδιαφέροντος.

**Σχήμα 4:** Κατηγορίες αποτελεσμάτων που παράγονται από το μακροοικονομικό μοντέλο GTAP.



Με βάση τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων διαδικασιών για την αξιολόγηση της ευρωστίας των αποτελεσμάτων ενός μοντέλου «γενικής ισορροπίας», τα οποία αναφέρθηκαν διεξοδικά στην **Ενότητα 2.1.1.1**, στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής προτείνεται η διενέργεια ασκήσεων “backcasting” για αυτό το σκοπό. Οποιαδήποτε άλλη μέθοδος, θα απαιτούσε τη ρύθμιση του μοντέλου σε ένα παρελθοντικό έτος αναφοράς, κάτι το οποίο θα απαιτούσε σημαντικούς πόρους και θα περιελάμβανε ισχυρές δυσκολίες.

Αυτό το οποίο λαμβάνει χώρα κατά τη συμβατική περίπτωση αξιολόγησης του μακροοικονομικού αποτυπώματος μίας ηλεκτροπαραγωγικής πολιτικής, είναι ότι οι αλλαγές στον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα, εφαρμόζονται σαν διαταραχές στο μοντέλο GTAP, και με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου υπολογίζεται η επίδρασή τους στην ευρύτερη οικονομία. Στην περίπτωση όμως του “backcasting”, το μοντέλο χρησιμοποιείται με βάση τη ρύθμισή του στον παρόντα χρόνο της

ανάλυσης, για να αναπαράξει την οικονομία σε ένα πρότερο παρελθοντικό έτος, και να αξιολογηθεί η ακρίβειά του, εν σχέσει με τα πραγματικά ιστορικά δεδομένα της εξεταζόμενης οικονομίας.

Είναι προφανές, όμως, ότι για να λάβει χώρα αυτή η προσέγγιση για μία πραγματική πολιτική, θα πρέπει η πολιτική να ξεκίνησε στο παρελθόν, και η επίδραση της να έχει ενεργή ισχύ στο παρόν, είτε να ολοκληρώθηκε κατά το έτος βάσης του μοντέλου. Επειδή αυτό όμως είναι αρκετά δύσκολο στην πράξη, συνιστάται η επιλογή των «μεταβλητών-στόχων» και των «μεταβλητών-οδηγών», με τις μεν δεύτερες να χρησιμοποιούνται για την αναπαραγωγή του παρελθόντος, και τις δε πρώτες να είναι αυτές που συγκρίνονται με τα πραγματικά ιστορικά δεδομένα της εξεταζόμενης οικονομίας.

Οπότε, για την υλοποίηση του συγκεκριμένου εγχειρήματος, απαιτείται η επιλογή των εξωγενών μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση της οικονομίας στο παρελθόν και των ενδογενών μεταβλητών επί των οποίων θα πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση της ακρίβειας του μοντέλου (μεταβλητές-στόχοι). Ο χρονικός ορίζοντας της άσκησης και η δομή του μοντέλου (ενδογενείς και εξωγενείς μεταβλητές), θα πρέπει να ορίζονται σε αντιστοιχία με τις προσομοιώσεις για τις οποίες θα χρησιμοποιηθεί το μοντέλο μετέπειτα, αφού ελεγχθεί η ευρωστία του.

Αν και δεν υπάρχει συγκεκριμένη αναφορά στη βιβλιογραφία σχετικά με το βέλτιστο ύψος εντός του οποίου τα αποτελέσματα του μοντέλου θα πρέπει να συμφωνούν με τα πραγματικά ιστορικά δεδομένα, είναι προφανές ότι ένα επίπεδο ασυμφωνίας μεγαλύτερο του 2%, δε θα εξασφάλιζε την ευρωστία του μοντέλου. Οπότε, συστήνεται από την παρούσα διατριβή η υιοθέτηση αυτού του επιπέδου για την αξιολόγηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων του μοντέλου.

Στη συνέχεια, αφού έχει εξασφαλισθεί η ακρίβεια του μοντέλου με την οποία αναπαριστά την εξεταζόμενη οικονομία, μπορεί να λάβει χώρα η εξέταση των ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών ενδιαφέροντος. Αυτό περιλαμβάνει κυρίως δύο στάδια: (α) την κατασκευή του βασικού σεναρίου αναφοράς, (β) την προσομοίωση των πολιτικών ενδιαφέροντος.

Στο πρώτο στάδιο, υλοποιούνται δύο προσομοιώσεις, μέσω των οποίων κατασκευάζεται το βασικό σενάριο αναφοράς (“BAU”), το οποίο απεικονίζει το πως αναμένεται να εξελιχθεί η εξεταζόμενη οικονομία μεταξύ δύο περιόδων ενδιαφέροντος, με βάση την ισχύουσα κατάσταση των πραγμάτων και χωρίς εξωγενείς αλλαγές. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται οι προβλέψεις σχετικά με την εξέλιξη των βασικών μακροοικονομικών και δημογραφικών μεταβλητών, δηλαδή του ΑΕΠ, του πληθυσμού, και της προσφοράς των συντελεστών παραγωγής (εργασία, κεφάλαιο, γη και φυσικοί πόροι).

Θα πρέπει να αναφερθεί, ότι καθώς το μακροοικονομικό μοντέλο GTAP είναι παγκόσμιο, δηλαδή απεικονίζει την παγκόσμια οικονομία, παρά κάποια(-ες) συγκεκριμένη(-ες) οικονομία(-ες), οι προηγούμενες προβλέψεις που αναφέρθηκαν παρέχονται για όλες τις περιοχές που απεικονίζονται από το μοντέλο, πλέον της οικονομίας ενδιαφέροντος για τους σκοπούς της διενεργούμενης

ανάλυσης, δηλαδή για την Ελληνική οικονομία. Με αυτό τον τρόπο, ενσωματώνονται οι ευρύτεροι συσχετισμοί της παγκόσμιας οικονομίας, και άρα βελτιώνεται η ακρίβεια της ανάλυσης.

Θα πρέπει να τονιστεί, ότι για τη συλλογή των σχετικών δεδομένων, ενδείκνυται η χρήση των δεδομένων από τα Διαμοιρασμένα Κοινωνικοοικονομικά Μονοπάτια, και δη από το 2ο Διαμοιρασμένο Κοινωνικοοικονομικό Μονοπάτι (SSP2), όπως αυτό παρέχεται από το «Παγκόσμιο Ινστιτούτο Εφαρμοσμένης Ανάλυσης Συστημάτων» (“International Institute for Applied Systems Analysis” — IIASA; Gidden et al., 2019; Riahi et al., 2017; Rogelj et al., 2018). Το συγκεκριμένο μονοπάτι συστήνεται να επιλέγεται έναντι των υπόλοιπων διαθέσιμων, καθώς περιγράφει μία εξέλιξη του κόσμου, η οποία προσομοιάζει —κατά έναν καλύτερο τρόπο— με τις τάσεις οι οποίες παρατηρήθηκαν κατά το παρελθόν.

Πιο συγκεκριμένα, συστήνεται ο υπολογισμός των βασικών προβλέψεων που απαιτούνται να παρασχούν στο GTAP για την κατασκευή του βασικού σεναρίου αναφοράς, κατά τον ακόλουθο τρόπο:

(i) **Ρυθμός Ανάπτυξης ΑΕΠ:** Θα πρέπει να αναζητούνται δεδομένα από το Υπουργείο Οικονομικών της εξεταζόμενης οικονομίας, ενώ στην περίπτωση έλλειψης των εν λόγω δεδομένων, όπως και για τον υπολογισμό των δεδομένων για το Υπόλοιπο του Κόσμου, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται δεδομένα από τα Διαμοιρασμένα Κοινωνικοοικονομικά Μονοπάτια ή έγκριτους παγκόσμιους οργανισμούς, όπως ο ΟΟΣΑ (OECD and Staff, 2001) ή η Παγκόσμια Τράπεζα.

(ii) **Ρυθμός Ανάπτυξης Πληθυσμού:** Θα πρέπει να αναζητούνται δεδομένα από την επίσημη στατιστική υπηρεσία της εκάστοτε χώρας, ενώ στην περίπτωση έλλειψης των εν λόγω δεδομένων, όπως και για τον υπολογισμό των δεδομένων για το Υπόλοιπο του Κόσμου, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται δεδομένα από τα Διαμοιρασμένα Κοινωνικοοικονομικά Μονοπάτια ή έγκριτους παγκόσμιους οργανισμούς, όπως ο ΟΟΣΑ (OECD and Staff, 2001) ή η Παγκόσμια Τράπεζα.

(iii) **Εξέλιξη Συντελεστών Παραγωγής:**

- **Ρυθμός ανάπτυξης εργατικού δυναμικού:** Θα πρέπει να τίθεται ίσος με το ρυθμό ανάπτυξης του τμήματος του πληθυσμού που εμπίπτει στην εργασιακή ηλικιακή ομάδα, δηλαδή μεταξύ των ηλικιών 15 και 64. Σχετικά δεδομένα παρέχονται από τα Διαμοιρασμένα Κοινωνικοοικονομικά Μονοπάτια του Παγκόσμιου Ινστιτούτου για Εφαρμοσμένη Ανάλυση Συστημάτων (Gidden et al., 2019; Riahi et al., 2017; Rogelj et al., 2018).

- **Ρυθμός ανάπτυξης κεφαλαίου:** Η συσσώρευση κεφαλαίου,  $K$ , θα πρέπει να υπολογίζεται όπως προτείνεται από τον Fouré et al. (2012):

$$K_{i,t} = (1 - \delta) * K_{i,t-1} + I_{i,t} \quad (23)$$

Όπου το  $I_{i,t}$  απεικονίζει τις ακαθάριστες επενδύσεις παγίου κεφαλαίου της χώρας  $i$  για το έτος  $t$ , και  $\delta$  είναι ο ρυθμός απόσβεσης, ο οποίος συνήθως κυμαίνεται στο επίπεδο του 4%, και παρέχεται

από τη βάση δεδομένων GTAP. Για την περίπτωση που τα δεδομένα για τις ακαθάριστες επενδύσεις παγίου κεφαλαίου, δεν παρέχονται για ολόκληρο τον ορίζοντα που αναφέρονται οι διενεργούμενες προσομοιώσεις, συνιστάται να πραγματοποιηθεί μία πρόβλεψη, χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που συσχετίζει τις ακαθάριστες επενδύσεις παγίου κεφαλαίου με το ΑΕΠ ή/και με τον πληθυσμό. Αυτό καθώς η εξέλιξη των ακαθάριστων επενδύσεων παγίου κεφαλαίου μίας χώρας, συνδέεται σε σημαντικό βαθμό με την εξέλιξη του ΑΕΠ και του πληθυσμού. Εκ των συντελεστών παραγωγής, η γη και οι φυσικοί πόροι, συνήθως θεωρούνται ότι βρίσκονται σε σταθερή παροχή κατά την εξεταζόμενη περίοδο. Αυτό συμβαίνει λόγω της δυσκαμψίας των συγκεκριμένων παραμέτρων σε αλλαγές και λόγω της δυσκολίας εύρεσης των αντίστοιχων δεδομένων [Hertel, 1996, Κεφάλαιο 4].

Απαραίτητη ενέργεια για την προσομοίωση των ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών ενδιαφέροντος με το GTAP, όπως και με κάθε έτερο μοντέλο «γενικής ισορροπίας», αποτελεί η ρύθμιση της δομής του μοντέλου (“model closure”), δηλαδή ποιες μεταβλητές αποτελούν ενδογενείς για το μοντέλο, και άρα προκύπτουν σαν λύσεις των εξισώσεών του, και ποιες αποτελούν εξωγενείς, και άρα μεταβάλλονται από τον αναλυτή κατά το δοκούν. Οπότε, στην περίπτωση που οι μεταβλητές ενδιαφέροντος —μέσω των οποίων δύναται να προσομοιωθούν οι εκάστοτε εξεταζόμενες πολιτικές— δεν αποτελούν εξωγενείς μεταβλητές στη βασική μορφή του μοντέλου, θα πρέπει να «ανταλλαχθούν» με κάποιες ενδογενείς μεταβλητές, δηλαδή να γίνουν εξωγενείς μεταβλητές στη θέση κάποιων άλλων μεταβλητών. Αυτή η διαδικασία θα πρέπει να λαμβάνει χώρα, καθώς ο αριθμός των ενδογενών μεταβλητών του μοντέλου θα πρέπει να διατηρείται σταθερός και ίσος με τον αριθμό των εξισώσεών του, καθώς σε αντίθετη περίπτωση το πρόβλημα θα ήταν αδύνατο, ή θα είχε άπειρες λύσεις.

Με την εφαρμογή αυτών των «διαταραχών» για την κατασκευή του βασικού σεναρίου αναφοράς, υπολογίζεται ένας συντελεστής παραγωγικότητας για ολόκληρη την οικονομία, με βάση τον οποίο καθίσταται εφικτή η επίτευξη του στόχου εξέλιξης του ΑΕΠ κατά την περίοδο ενδιαφέροντος, όπως αυτή ορίσθηκε κατά την παροχή των «διαταραχών»-προβλέψεων στο μοντέλο. Για να λάβει χώρα η εν λόγω προσομοίωση, η μεταβλητή για το ΑΕΠ, «ανταλλάσσεται» με τη μεταβλητή για το συντελεστή παραγωγικότητας. Οπότε στη δεύτερη προσομοίωση, η ρύθμιση του μοντέλου επανέρχεται στη βασική μορφή της (το ΑΕΠ σε αυτή την περίπτωση είναι ενδογενής μεταβλητή) και εφαρμόζεται ο συντελεστής παραγωγής που εντοπίσθηκε στην πρώτη προσομοίωση.

Η εν λόγω προσομοίωση λειτουργεί επίσης και ως ένας έλεγχος της ομοιογένειας του μοντέλου (“homogeneity test”), μέσω του οποίου αξιολογείται η εύρυθμη λειτουργία του. Γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι η εύρυθμη λειτουργία του μοντέλου συνδέεται με το γεγονός ότι θα πρέπει να καταλήγει στην προβλεπόμενη ανάπτυξη του ΑΕΠ για τις οικονομίες ενδιαφέροντος (Ελλάδα και ΥτΚ),

αφού έχουν εφαρμοστεί σε αυτό οι βασικές προβλέψεις και ο συντελεστής παραγωγής που προέκυψε από την πρώτη προσομοίωση.

Αφού έχει δημιουργηθεί το βασικό σενάριο αναφοράς, δηλαδή το σενάριο με το οποίο θα συγκριθούν τα αποτελέσματα των εξεταζόμενων ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, θα πρέπει να δημιουργεί το «αντιπραγματικό» (“counterfactual”) σενάριο της ανάλυσης, το οποίο απεικονίζει την εξέλιξη της οικονομίας ενδιαφέροντος, για την περίπτωση που εφαρμοζόντουσαν τα μέτρα πολιτικής που προβλέπονται από τις εξεταζόμενες πολιτικές. Οπότε, γίνεται εύκολα κατανοητό, ότι η τελευταία προσομοίωση περιλαμβάνει τόσο τις προβλέψεις για την εξέλιξη της οικονομίας ενδιαφέροντος, όσο και τις «διαταραχές» οι οποίες πυροδοτούνται από τα μέτρα πολιτικής που προβλέπονται από την εξεταζόμενη πολιτική.

Οπότε, σε αυτή την περίπτωση, θα πρέπει να εντοπιστούν οι μεταβλητές μέσω των οποίων δύναται να προσομοιωθούν οι πολιτικές ενδιαφέροντος, και να μετατραπούν σε εξωγενείς για το μοντέλο, στην περίπτωση που στη βασική ρύθμιση του μοντέλου αποτελούν ενδογενείς μεταβλητές. Θα πρέπει να τονιστεί, ότι για την εφαρμογή των «διαταραχών» θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν και τα αποτελέσματα του βασικού σεναρίου αναφοράς. Για παράδειγμα, έστω ότι η εξεταζόμενη ηλεκτροπαραγωγική πολιτική περιλαμβάνει για τη χρηματοδότησής της, μία αύξηση των εξόδων των νοικοκυριών κατά 10% μεταξύ των δύο ετών αναφοράς. Και έστω ότι κατά το βασικό σενάριο αναφοράς, τα έξοδα των νοικοκυριών μεταβάλλονται κατά 15%. Αυτό σημαίνει ότι στην προσομοίωση ενδιαφέροντος, τα έξοδα των νοικοκυριών θα πρέπει να μεταβληθούν κατά 20%, καθώς η διαταραχή για την εξεταζόμενη πολιτική θα πρέπει να περιλαμβάνει και το βασικό σενάριο αναφοράς, το οποίο ούτως ή άλλως αναμένεται να υλοποιηθεί, ανεξαρτήτως της υλοποίησης των πολιτικών ενδιαφέροντος.

Επίσης, δεδομένου ότι η πληροφορία που μεταφέρεται σε ένα μακροοικονομικό μοντέλο «γενικής ισορροπίας» από ένα μοντέλο βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, αφορά το κόστος χρηματοδότησης των εξεταζόμενων ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, μια βασική θεώρηση αποτελεί το ποιος αναμένεται να καλύψει το εν λόγω κόστος. Είναι προφανές ότι η θεώρηση διαφορετικών σεναρίων, ανάλογα με τον παράγοντα της οικονομίας που επωμίζεται το αντίστοιχο κόστος, μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά αποτελέσματα, και άρα μία τέτοια ενέργεια μπορεί να δώσει σημαντική πληροφόρηση στους αποφασίζοντες, οπότε και συνιστάται.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση των πολιτικών ενδιαφέροντος, συγκρίνονται με τα αποτελέσματα του βασικού σεναρίου αναφοράς, για να εντοπιστεί η καθαρή επίδραση των εξεταζόμενων «διαταραχών». Για παράδειγμα, έστω ότι η προσομοίωση μίας πολιτικής οδηγεί στην αύξηση του ΑΕΠ κατά +10% κατά την διάρκεια της περιόδου 2030-2040. Και έστω ότι κατά το βασικό σενάριο αναφοράς, το ΑΕΠ μεταβάλλεται κατά 5% την ίδια περίοδο. Αυτό



σημαίνει ότι η επίδραση της εξεταζόμενης πολιτικής σε όρους επίδρασης στο ΑΕΠ, ανέρχεται στο ύψος του 5% (10% μείον 5%).

### 3.7 Διαχείριση Παραμετρικής Αβεβαιότητας για το Μακροοικονομικό Μοντέλο «Γενικής Ισορροπίας»

Τα αποτελέσματα ενός μακροοικονομικού μοντέλου «γενικής ισορροπίας», εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις τιμές των παραμέτρων ελαστικότητας που ορίζονται σε αυτό, και οι οποίες περιγράφουν τη συμπεριφορά των παραγόντων της εξεταζόμενης οικονομίας. Οπότε, δημιουργείται αβεβαιότητα σχετικά με την ακρίβεια των αποτελεσμάτων που παράγουν, υπό το πρίσμα της αβεβαιότητας σχετικά με τις τιμές των παραμέτρων ελαστικότητας που χρησιμοποιούν. Το γεγονός αυτό αποτελεί και τη βασική αιτία που στην παρούσα μεθοδολογία γίνεται ειδική μνεία αναφορικά με την αξιολόγηση της ακρίβειας ενός μακροοικονομικού μοντέλου «γενικής ισορροπίας», μέσω της εκτέλεσης ασκήσεων “backcasting”.

Η σωστή ρύθμιση του μοντέλου για το έτος βάσης, όμως, δεν τεκμηριώνει την εξάλειψη αυτού του είδους της αβεβαιότητας, καθώς τα ηλεκτροπαραγωγικά σενάρια πολιτικής συνήθως εκτείνονται σε μακροχρόνιο ορίζοντα στο μέλλον. Οπότε οι τιμές των παραμέτρων ελαστικότητας, ακόμη και αν περιγράφουν με έναν ακριβή τρόπο την τωρινή κατάσταση της εξεταζόμενης οικονομίας, δεν μπορούν να ενσωματώσουν αλλαγές στη δομή της εξεταζόμενης οικονομίας, που μπορεί να λάβουν χώρα μελλοντικά.

Για το σκοπό αυτό, η προτεινόμενη μεθοδολογία στο εν λόγω βήμα, συστήνει την πραγματοποίηση μίας ανάλυσης ευαισθησίας των αποτελεσμάτων (Arndt and Pearson, 1996), επί της μεταβλητότητας των κύριων παραμέτρων του μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, συνιστάται οι παράμετροι ελαστικότητας που αρχικά ανακτώνται από τη βάση δεδομένων GTAP, να μεταβάλλονται κατά 20% από την αρχική τους τιμή, εκτελώντας τις αντίστοιχες προσομοιώσεις πολλαπλές φορές για διαφορετικές τιμές των παραμέτρων ελαστικότητας εντός του επιλεγμένου εύρους.

Για τη μεταβολή των τιμών των παραμέτρων ελαστικότητας, χρησιμοποιείται μία τριγωνική κατανομή, ενώ για την προσέγγιση αυτών των τιμών, χρησιμοποιείται ο τετραγωνισμός με βάση τη μέθοδο του Stroud. Σε κάθε πραγματοποιούμενη προσομοίωση, υπολογίζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των ενδογενών μεταβλητών του μοντέλου, όπως αυτές προκύπτουν από το μοντέλο GTAP. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, υπολογίζονται για τις ενδογενείς μεταβλητές ενδιαφέροντος, το 95% διάστημα εμπιστοσύνης, με βάση το θεώρημα του Chebyshev, και σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο (Burfisher, 2017):

$$\text{Διάστημα Εμπιστοσύνης} = \text{μέση τιμή} \pm (\text{τυπική απόκλιση} * \kappa) \quad (24)$$

όπου  $\kappa=4.47$ , για τον υπολογισμό του 95% διαστήματος εμπιστοσύνης.

Είναι σημαντικό να τονιστεί, ότι στην περίπτωση που αυτή η αβεβαιότητα σχετικά με τις παραμέτρους του μοντέλου δε λαμβάνεται υπόψιν, και άρα δε διαχειρίζεται αποτελεσματικά στο πλαίσιο της ανάλυσης, μπορεί να οδηγήσει σε συμβιβασμό της ευρωστίας των αποτελεσμάτων, όπως

επίσης και σε —παραπλανητικές ή περιορισμένου εύρους— πληροφορίες και προεκτάσεις για τους αποφασίζοντες, κάτι που μπορεί να διακινδυνεύσει το βασικό στόχο τέτοιου είδους αναλύσεων.

Επίσης, δεδομένου ότι συνήθως σε ασκήσεις αυτής της φύσης, συγκρίνονται τουλάχιστον δύο πολιτικές, είναι καίριας σημασίας η πραγματοποίηση αυτού του είδους της ανάλυσης, καθώς δύναται να δώσει στους αποφασίζοντες την πληροφορία και την ευρεία εικόνα σχετικά με το πότε μία πολιτική επιτυγχάνει καλύτερα μακροοικονομικά αποτελέσματα, από μία έτερη ανταγωνιστική πολιτική. Αυτό καθότι μπορεί μία πολιτική —για ένα δεδομένο επίπεδο τιμών των παραμέτρων ελαστικότητας— να παρουσιάζει καλύτερα μακροοικονομικά αποτελέσματα από μία έτερη πολιτική, αλλά λαμβάνοντας υπόψιν όλο το εύρος που μπορούν να κυμανθούν τα αποτελέσματά της, με βάση τις τιμές των παραμέτρων ελαστικότητας, και πιο συγκεκριμένα το 95% των περιπτώσεων, οι μεταξύ τους διαφορές μπορεί να είναι αμελητέες, και να είναι εν τέλει σημαντικά αβέβαιη η κυριαρχία της έναντι της στρατηγικής με την οποία αντιπαραβάλλεται, σε όρους μακροοικονομικής επίδοσης.

Είναι σημαντικό να τονιστεί, ότι υπάρχει και ένα έτερο είδος αβεβαιοτήτων σε αυτού του είδους τις ασκήσεις, αυτό της δομικής αβεβαιότητας των μοντέλων, η οποία ωστόσο στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής δεν εξετάζεται.

### 3.8 Υλοποίηση (Λογισμικό)

Όσον αφορά τα χρησιμοποιούμενα εργαλεία, το κάθε ένα από αυτά διατηρεί την αυτοτέλειά του σε όρους λογισμικού και διεπαφής χρήστη, κάτι το οποίο διευκολύνει την ευελιξία της ανάλυσης και μειώνει αισθητά, τόσο την ανάγκη σε υπολογιστικούς πόρους, όσο και το χρόνο μοντελοποίησης και αξιολόγησης ενός ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής από το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο.

Όσον αφορά το ενεργειακό μοντέλο OSeMOSYS, υλοποιείται μέσω της «ανοιχτού κώδικα» γλώσσας προγραμματισμού MathProg, κάτι το οποίο επιτρέπει την επισκόπηση και τροποποίηση του κώδικα του μοντέλου, για παράδειγμα μέσω ενός απλού επεξεργαστή αρχείου κειμένων (“text editor”), ενώ το διαμορφούμενο πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού, επιλύεται μέσω του πακέτου GLPK (“GNU Linear Programming Kit”), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί δωρεάν —με μόνη απαίτηση τη λειτουργία του υπολογιστή με λογισμικό Microsoft Windows 10 ή μεταγενέστερης έκδοσης.

Καθίσταται εμφανές, ότι ο εν λόγω τρόπος χρήσης του OSeMOSYS επιτρέπει: (α) την επέκταση του μοντέλου με έναν εύκολο τρόπο, προσθέτοντας επιπλέον λειτουργίες υπό τη μορφή περιορισμών (π.χ. περιορισμών χρήσης γης), (β) τη διάθεση και διαμοιρασμό του χρησιμοποιούμενου κώδικα και των χρησιμοποιούμενων δεδομένων, όπως παραδείγματος χάριν, με την κοινότητα του OSeMOSYS ή/και με εμπλεκόμενους αποφασίζοντες.

Όσον αφορά τα δεδομένα εισόδου του μοντέλου, αυτά συλλέγονται μέσω του λογισμικού excel της Microsoft, κάτι το οποίο επιτρέπει την πιο φιλική προς το χρήστη πρόσβαση των δεδομένων, συνεισφέροντας κατ’ αυτό τον τρόπο, στην παροχή ανάδρασης από τους εμπλεκόμενους, σχετικά με τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιούνται στο OSeMOSYS. Όσον αφορά τα αποτελέσματα του μοντέλου, εξάγονται στη μορφή csv αρχείων, τα οποία «διαβάζονται» αυτόματα μέσω κώδικα υλοποιημένου στη γλώσσα προγραμματισμού R, κάτι το οποίο επιτρέπει τη συλλογή της κατάλληλης πληροφορίας και της πραγματοποίησης εύληπτων οπτικοποιήσεων των αποτελεσμάτων, που διευκολύνουν τους αποφασίζοντες στην κατανόηση και αφομοίωσή τους και —συνεπακόλουθα— στην εξαγωγή συμπερασμάτων. Όσον αφορά τις οπτικοποιήσεις των δεδομένων, αυτές πραγματοποιούνται με το πακέτο “ggplot2” της γλώσσας προγραμματισμού R (Wickham, 2016).

Με βάση την πληροφορία που συλλέγεται από τα —εξαγόμενα από το OSeMOSYS— csv αρχεία, εφαρμόζονται οι πολυκριτήριες μέθοδοι της ανάλυσης και εξάγονται τα αποτελέσματα ανά περίπτωση, και πιο συγκεκριμένα ανά τύπο αποφασίζοντα, όπως επίσης και πραγματοποιούνται οι αντίστοιχες οπτικοποιήσεις.

Για τις πολιτικές που εξάγονται από την πολυκριτήρια μεθοδολογία ως οι πλέον κατάλληλες για τους αποφασίζοντες, τα δεδομένα τους συλλέγονται στο λογισμικό excel της Microsoft και πραγματοποιείται μία μετά-ανάλυση, ώστε να εντοπιστούν οι «διαταραχές» που θα πρέπει να

εφαρμοστούν στο μακροοικονομικό μοντέλο GTAP, για την αξιολόγηση του μακροοικονομικού και κοινωνικού αποτυπώματος αυτών των πολιτικών.

Το μοντέλο GTAP χρησιμοποιείται μέσω της διεπαφής χρήστη RunGTAP (Horridge et al., 2018; Pearson et al., 2004), μέσω της οποίας μπορεί να γίνει χρήση της συμβατικής έκδοσης του μοντέλου GTAP στη στατική μορφή του, όπως και κάποιων προκαθορισμένων προσομοιώσεων που έχουν λάβει χώρα από ερευνητές με βάση το συγκεκριμένο μοντέλο. Η λήψη της συγκεκριμένης εφαρμογής από τον αναλυτή, μπορεί να πραγματοποιηθεί δωρεάν από την επίσημη ιστοσελίδα της παγκόσμιας ερευνητικής κοινότητας του GTAP<sup>4</sup>, με μόνη υποχρέωση για τον αναλυτή την παράλληλη λήψη του λογισμικού GEMPACK, το οποίο υπό τη μορφή που χρησιμοποιείται στην παρούσα διατριβή, δε συνεπάγεται την απόκτηση κάποιας άδειας χρήσης. Θα πρέπει να τονιστεί, ότι σε όλες αυτές τις προσομοιώσεις που λαμβάνουν χώρα με το μοντέλο GTAP, χρησιμοποιείται σαν αλγόριθμος λύσης η μέθοδος Johansen (Horridge et al., 2018; Pearson et al., 2004).

Για την αναπαράσταση της οικονομίας ενδιαφέροντος, χρησιμοποιείται η βάση δεδομένων GTAP, από την οποία αντλεί τα δεδομένα του το μακροοικονομικό μοντέλο GTAP. Η εν λόγω βάση δεδομένων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ρυθμιστεί μέσω της εφαρμογής GTAPAgg2 —η οποία είναι μία εφαρμογή της επιφάνειας εργασίας— αφού έχει πραγματοποιηθεί η δωρεάν λήψη της από την επίσημη ιστοσελίδα του παγκόσμιου δικτύου του GTAP<sup>5</sup>. Πιο συγκεκριμένα, ο αναλυτής μέσω αυτής της εφαρμογής, μπορεί να πραγματοποιήσει κατά το δοκούν την γεωγραφική και διατομεακή κατηγοριοποίηση της βάσης, δηλαδή να ρυθμίσει τις οικονομίες τις οποίες θέλει να προσομοιώσει ξεχωριστά με το GTAP, όπως και τους τομείς της οικονομίας για τους οποίους θέλει να αποκτήσει διακριτή πληροφορία.

Το ίδιο μπορεί να πραγματοποιήσει και με τους συντελεστές εργασίας, με βάση τις ανάγκες της εκάστοτε ανάλυσης και του είδους της πληροφορίας που χρειάζεται να επισκοπηθεί ανά περίπτωση. Η βάση δεδομένων που δημιουργείται, εξάγεται σε μορφή συμπιεσμένου αρχείου (zip αρχείο). Επίσης, με βάση την εν λόγω εφαρμογή, ο αναλυτής μπορεί να διαλέξει μεταξύ διαφορετικών χρόνων αναφοράς της βάσης, όπως επίσης και μεταξύ διαφορετικών εκδόσεων της βάσης δεδομένων GTAP.

Θα πρέπει να τονιστεί, ότι αν και η συγκεκριμένη εφαρμογή παρέχεται δωρεάν με κάποιες βασικές δυνατότητες για το χρήστη —όπως η κατηγοριοποίηση των τομέων της οικονομίας το πολύ σε 3 κλάσεις— η χωρίς περιορισμούς χρήση της, απαιτεί την αγορά της σχετικής άδειας, έναντι του αντίστοιχου χρηματικού αντιτίμου. Ωστόσο, η εν λόγω άδεια μπορεί να χορηγηθεί δωρεάν στην περίπτωση που ο αναλυτής συνεισφέρει δεδομένα στην εν λόγω βάση, όπως συνέβη με τον γράφοντα της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

<sup>4</sup> Διαθέσιμη διαδικτυακά στην ιστοσελίδα <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/products/rungtap/default.asp>

<sup>5</sup> Διαθέσιμη διαδικτυακά στην ιστοσελίδα [https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/free\\_resources.asp](https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/free_resources.asp)

Η εξαγόμενη βάση δεδομένων σε μορφή συμπιεσμένου αρχείου, εισέρχεται στη διεπαφή χρήστη RunGTAT, και το μοντέλο υπολογίζει αυτόματα το σετ παραμέτρων ελαστικότητας, με γνώμονα την αναπαραγωγή αυτής της βάσης δεδομένων που του παρήχθη.

Στην περίπτωση που χρειάζεται να γίνει ανανέωση του έτους αναφοράς της βάσης δεδομένων ή κάποια έτερη τροποποίηση από τον αναλυτή (π.χ. κατηγοριοποίηση σε υψηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας κάποιων τομέων της οικονομίας), αυτή πραγματοποιείται είτε μέσω του προγράμματος επεξεργασίας αρχείων har (“HAR editor”), είτε με την εξαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό excel της Microsoft. Στη δεύτερη περίπτωση, όμως, αφού πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες τροποποιήσεις από τον αναλυτή στα δεδομένα, το αρχείο θα πρέπει να μετατραπεί εκ νέου στη μορφή har, ώστε να εισέλθει μετέπειτα στο μοντέλο GTAP.

Στην περίπτωση του μοντέλου GTAP, τα αποτελέσματά του αποθηκεύονται σε αρχεία excel, είτε μπορούν να επισκοπηθούν μέσω ανεπτυγμένων προγραμμάτων επισκόπησης αυτού του είδους των αρχείων (π.χ. AnalyseGE, ViewSol). Η πληροφορία που εμπεριέχεται στα αρχεία excel, «διαβάζεται» μέσω κώδικα υλοποιημένου στη γλώσσα προγραμματισμού R, και πραγματοποιούνται εύληπτες οπτικοποιήσεις των αποτελεσμάτων, ενώ για τη γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιείται και σε αυτή την περίπτωση το πακέτο “ggplot2” της γλώσσας προγραμματισμού R (Wickham, 2016).

Με την ίδια διεπαφή χρήστη, πραγματοποιείται και η ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων, επί της μεταβλητότητας των παραμέτρων ελαστικότητας του μοντέλου. Και σε αυτή την περίπτωση, τα αποτελέσματα του μοντέλου αποθηκεύονται σε αρχεία excel, των οποίων η πληροφορία «διαβάζεται» από κώδικα υλοποιημένο σε γλώσσα προγραμματισμού R. Στην περίπτωση που καταστεί αναγκαία κάποια αλλαγή στον κώδικα του μοντέλου, ο οποίος είναι υλοποιημένος σε γλώσσα προγραμματισμού TABLO, αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω του προγράμματος TabMate, το οποίο επιτρέπει την επισκόπηση και τροποποίηση αυτού του είδους τον κώδικα. Ωστόσο, αυτό το ενδεχόμενο παρουσιάζει μειωμένες πιθανότητες, λόγω της δυσκολίας που περιλαμβάνει, ως απόρροια της πολυπλοκότητας του μοντέλου και τους εκτενούς εύρους των εξισώσεων που εμπεριέχει.

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν σε αυτή την ενότητα, αναφορικά με το λογισμικό που απαιτείται για τη χρήση του προτεινόμενου από τη διατριβή μεθοδολογικού πλαισίου υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, καθίσταται εμφανές ότι η χρήση του δε συνεπάγεται κάποιας μορφής χρηματικό αντίτιμο και κάποιον ιδιαίτερα υψηλό υπολογιστικό φόρτο, ο οποίος να απαιτεί προηγμένα υπολογιστικά συστήματα και συνεπαγόμενα υψηλά κόστη χρήσης. Επίσης, ως απόρροια αυτών των χαρακτηριστικών, επιτρέπεται η διάθεση αυτού του πλαισίου με όρους διαφάνειας, κάτι το οποίο δύναται να αποφέρει σημαντικά οφέλη, τόσο για τη κοινότητα ανάλυσης πολιτικών, όσο

και για την ερευνητική κοινότητα. Όπως έχει ήδη αναφερθεί μέχρι τώρα στην παρούσα διδακτορική διατριβή, αυτό το γεγονός, ότι δηλαδή το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο παρέχεται με όρους διαφάνειας, αποτελεί μία από τις συνιστώσες συνεισφοράς της διατριβής

---

## Κεφάλαιο 4: Εφαρμογές Προτεινόμενου Μεθοδολογικού Πλαισίου

---





## 4.1 Η Περίπτωση της Ελλάδας

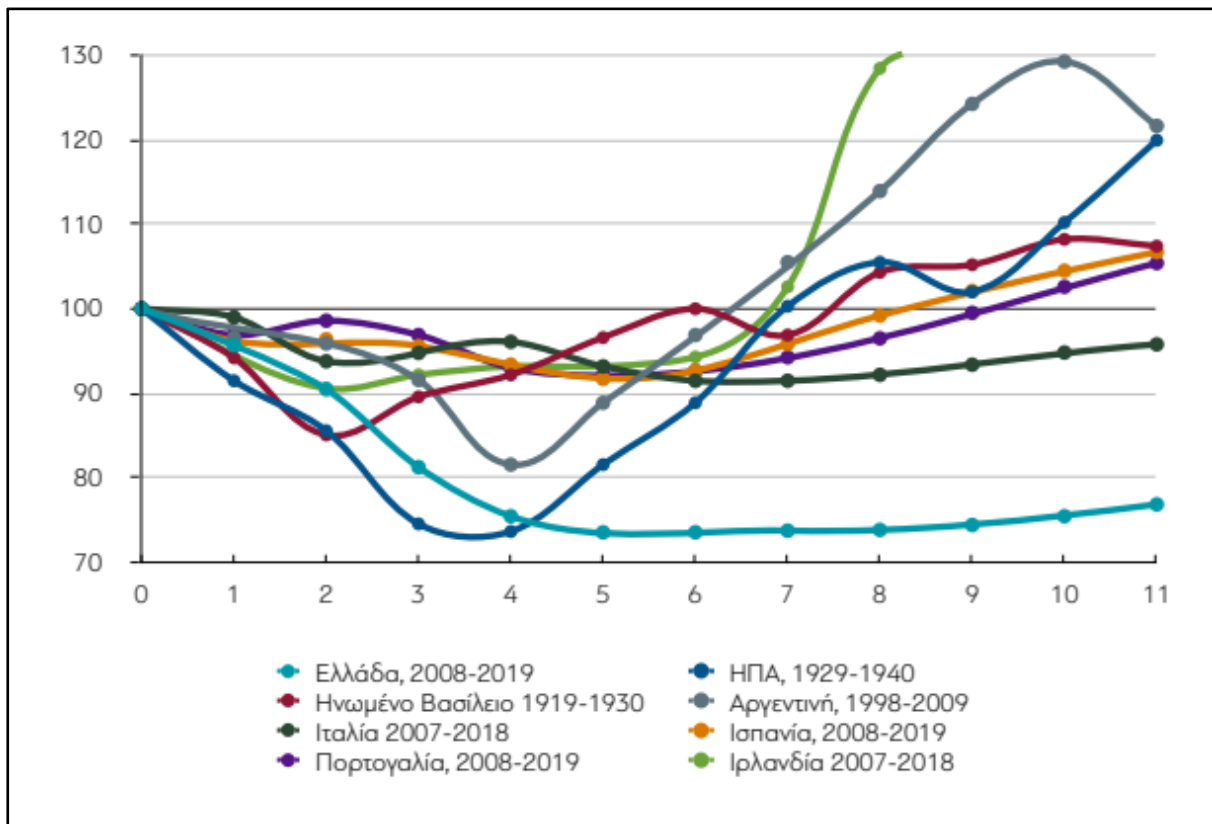
### 4.1.1 Ενεργειακοί Στόχοι και Ιδιαιτερότητες

Το αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής αποτελεί ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για χώρες όπως η Ελλάδα. Η εν λόγω χώρα, παρότι εξέδωσε το ΕΣΕΚ της πολύ πιο πριν η Ευρώπη ανακοινώσει τους στόχους σχετικά με την κλιματική ουδετερότητα από τη χρονική σκοπιά του 2050, έχει θέσει ιδιαίτερα φιλόδοξους στόχους στο μεσοδιάστημα (από τη χρονική σκοπιά του 2030), σε σύγκριση με το επίπεδο φιλοδοξίας των κεντρικών Ευρωπαϊκών στόχων. Οπότε, καθίσταται προφανές ότι για την επίτευξη αυτών των στόχων θα απαιτηθεί η χρήση καινοτόμων ενεργειακών τεχνολογιών, οι οποίες θα αντικαταστήσουν της συμβατικές ρυπογόνες τεχνολογίες και καύσιμα.

Ακόμη, ένα έτερο χαρακτηριστικό της εν λόγω χώρας από πλευράς γεωγραφικής θέσης, είναι ότι βρίσκεται στη Μεσόγειο, η οποία αποτελεί ένα κέντρο εκδήλωσης των φαινομένων της κλιματικής αλλαγής και κρίσης, τα οποία συνοδεύονται από μία σειρά ισχυρών συνεπειών, όπως παραδείγματος χάριν εκτεταμένες πυρκαγιές και πλημμύρες. Από την άλλη πλευρά όμως, λόγω της γεωγραφικής της θέσης, παρουσιάζει μία ισχυρή δυνατότητα παραγωγής μεταβαλλόμενης καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας, και συνεπακόλουθα παράγωγων καυσίμων του καθαρού ηλεκτρισμού, όπως το πράσινο υδρογόνο.

Όσον αφορά τα δομικά χαρακτηριστικά της οικονομίας της, η Ελλάδα παρουσιάζει την ιδιαιτερότητα ότι προέρχεται από μία μακρόχρονη οικονομική κρίση με τεράστιες οριζόντιες κοινωνικές επιπτώσεις, η οποία αν και ξεκίνησε κυρίως το 2009, δηλαδή με την έναρξη της παγκόσμιας χρηματοπιστωτικής κρίσης, η διάρκεια της στην Ελλάδα ήταν η μεγαλύτερη από κάθε άλλη χώρα της ΕΕ, ακόμη και από αυτές με παρόμοια δομικά προβλήματα (π.χ. Πορτογαλία, Ιρλανδία). Αυτό μπορεί να φανεί ευκρινώς στην [Εικόνα 17](#), η οποία παρουσιάζει τον τρόπο που κυμάνθηκε η οικονομία διαφόρων χωρών στις οποίες ενέσκηψε κάποιας μορφής οικονομική κρίση, σε χρονικό ορίζοντα 11ετίας από τη στιγμή έναρξης της κρίσης (διαΝΕΟσις, 2022). Άρα, με βάση αυτή την εικόνα, θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η κρίση της Ελληνικής οικονομίας είναι μία από τις πλέον διαρκείς και ισχυρές στη σύγχρονη ιστορία.

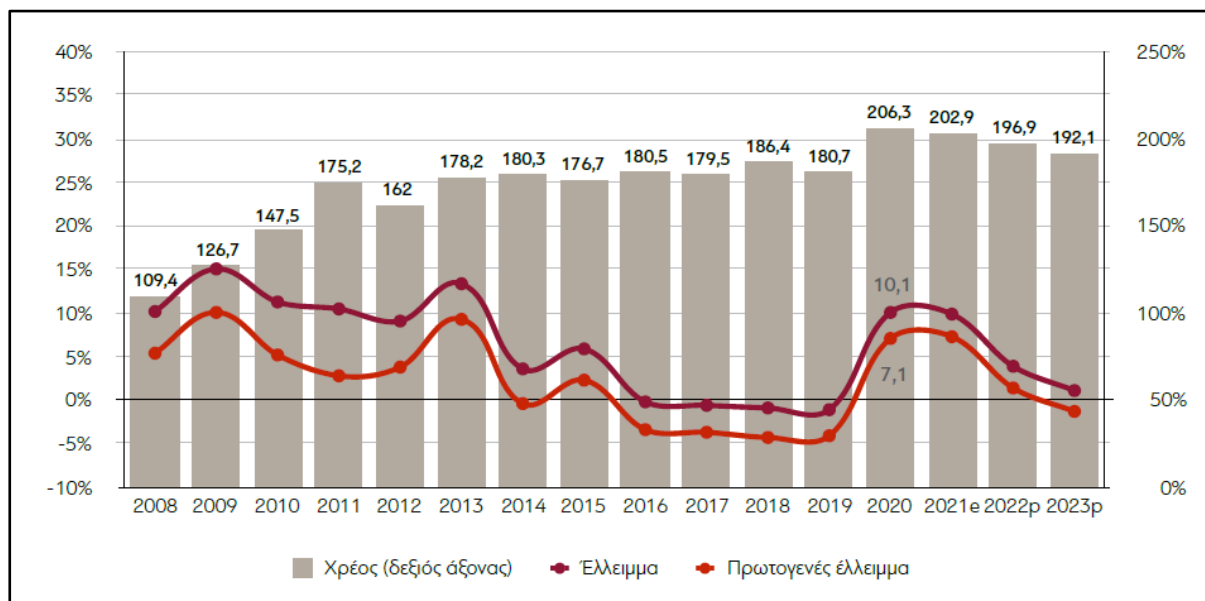
**Εικόνα 17.** Σύγκριση του τρόπου που κυμάνθηκε η ελληνική οικονομία και η οικονομία άλλων χωρών, κατά τη διάρκεια της οικονομικής κρίσης που διήλθαν, σε χρονικό ορίζοντα 11ετίας. Ο δείκτης 100 αντιστοιχεί στο προ-κρίσης επίπεδο του ΑΕΠ σε σταθερές τιμές.



Επιπλέον, σε αυτή την οικονομική κρίση, προστέθηκε και η πολυεπίπεδη (οικονομική, υγειονομική) κρίση ως απόρροια της πανδημίας “Covid-19”, τη στιγμή που η ελληνική οικονομία ετοιμαζόταν να εξέλθει από τη μακρόχρονη οικονομική κρίση που διήλθε. Αυτό το γεγονός, σε συνδυασμό με τις επιπτώσεις της παρατεταμένης οικονομικής κρίσης, μπορούν να φανούν στην **Εικόνα 18**, όπου απεικονίζεται η εξέλιξη του δείκτη χρέους προς ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας κατά την περίοδο 2004-2024 (διαΝΕΟσις, 2022).

Οπότε, από τη μία μεριά, η εκπλήρωση των φιλόδοξων τεθέντων ενεργειακών και κλιματικών στόχων από τη χρονική σκοπιά του 2030, συνεπάγεται τη λήψη δραστικών και καινοτόμων μέτρων, πέρα από την διείσδυση των τεχνολογιών ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, όπως η εισροή καινοτόμων «καθαρών» τεχνολογιών στο ενεργειακό μίγμα της χώρας, όπως το πράσινο υδρογόνο. Αυτή η διάσταση συνεπάγεται, ότι τα ορυκτά καύσιμα θα πρέπει να αποσυρθούν οριστικά από την ηλεκτροπαραγωγή. Από την άλλη μεριά, όμως, λόγω των ιδιαιτεροτήτων της συγκεκριμένης χώρας, είναι απαρέγκλιτος όρος αυτή η μετάβαση να συνδυαστεί με τη μεγέθυνση της οικονομίας και την κάλυψη του χαμένου εδάφους που δημιουργήθηκε ως απόρροια της μακρόχρονης οικονομικής κρίσης που έπληξε την χώρα.

**Εικόνα 18:** Εξέλιξη του χρέους, του ελλείματος και του πρωτογενούς ελλείματος, ως ποσοστό του ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας, κατά την περίοδο 2008-2023.



Αυτή η διάσταση είναι άμεσα συνυφασμένη με την επούλωση των πληγών στο «σώμα» της κοινωνίας, όπως και των ανισοτήτων που δημιουργήθηκαν από την οικονομική κρίση. Ως εκ τούτου, γίνεται σαφές ότι η σχεδίαση αυτών των πολιτικών απαιτεί τη χρήση ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου διαμόρφωσης και αξιολόγησης ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, το οποίο θα είναι σε θέση να διαμορφώσει και αξιολογήσει ηλεκτροπαραγωγικές πολιτικές, οι οποίες θα είναι αποτελεσματικές και από μία μακροοικονομική και κοινωνική σκοπιά.

Πέρα από τις προθέσεις της ελληνικής κυβέρνησης, η Ελλάδα δεσμεύεται στην εκπλήρωση συγκεκριμένων ενεργειακών και κλιματικών στόχων, ως απόρροια της συμμετοχής της στην ΕΕ, η οποία φιλοδοξεί να βρεθεί στην πρώτη γραμμή της μάχης κατά της κλιματικής αλλαγής (EC, 2021b), στοχεύοντας να γίνει η πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρος μέχρι το 2050. Πιο συγκεκριμένα, η ΕΕ εξέδωσε τον κανονισμό της Ενεργειακής Ένωσης (EC, 2021c), σύμφωνα με τον οποίον τα κράτη μέλη της ΕΕ υποχρεούνται να υποβάλλουν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή το δεκαετή τους Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) για την περίοδο που εκτείνεται από το 2021 μέχρι το 2030, μέχρι το τέλος του 2019, περιγράφοντας τους κλιματικούς στόχους που θα περιλαμβάνει το μονοπάτι που θα τους οδηγήσει σε μία κλιματικά ουδέτερη οικονομία (EC, 2021d).

Οπότε, σε αντιστοιχία με τις επιταγές της ΕΕ, η Ελλάδα υπέβαλλε το αναθεωρημένο ΕΣΕΚ της το Δεκέμβριο του 2019 (ΗΜΕΕ, 2019a). Το συγκεκριμένο έγγραφο θέτει σημαντικά πιο φιλόδοξους ενεργειακούς και περιβαλλοντικούς στόχους (π.χ. σε όρους διείσδυσης των ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα) σε σύγκριση με την αρχική έκδοση του εν λόγω εγγράφου, η οποία δημοσιεύτηκε περίπου ένα χρόνο πριν από την τελική έκδοσή του. Το τελικό ΕΣΕΚ προβλέπει επίσης τη μηδενική χρήση λιγνίτη

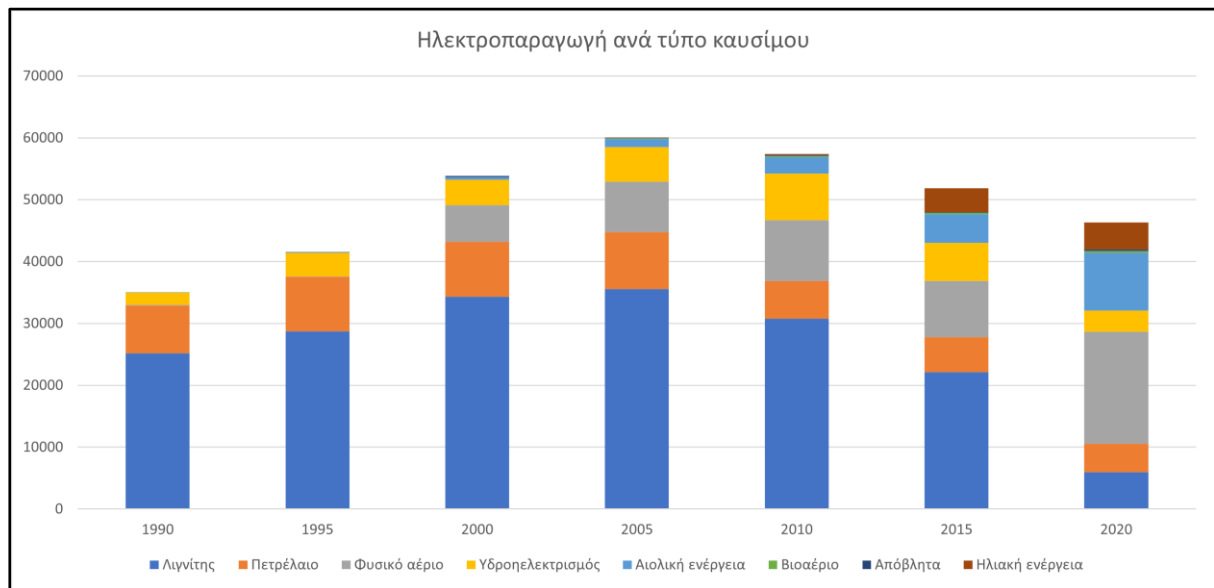
στην ηλεκτροπαραγωγή μέχρι το 2028 (Nikas et al., 2020a), όπου ο συγκεκριμένος στόχος μάλιστα αποτελεί τον πλέον εμβληματικό στόχο της ελληνικής κυβέρνησης σε σχέση με τους υπόλοιπους που έχουν τεθεί στο εν λόγω έγγραφο. Ωστόσο, ο συγκεκριμένος στόχος αναθεωρήθηκε από την Ελληνική κυβέρνηση, η οποία αύξησε ακόμη περισσότερο το επίπεδο φιλοδοξίας της, με γνώμονα και τη συμμόρφωση με το αναθεωρημένο επίπεδο φιλοδοξίας της ΕΕ.

Ο κίνδυνος της ασφάλειας παροχής, ο οποίος δημιουργείται με το κλείσιμο των λιγνιτικών ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων, επιδιώκεται να μετριαστεί μέσω της χρήσης των μονάδων φυσικού αερίου, οι οποίες παρουσιάζουν μία χαμηλότερη ένταση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με τις λιγνιτικές. Πιο συγκεκριμένα, το φυσικό αέριο υπολογίζεται να καλύψει το κενό που θα δημιουργηθεί στο μεσοδιάστημα από την απόσυρση του λιγνίτη από την ηλεκτροπαραγωγή. Αυτό καθώς η μετάβαση σε ένα κλιματικά ουδέτερο ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα, το οποίο θα στηρίζεται αποκλειστικά στη χρήση τεχνολογιών ΑΠΕ, παρουσιάζει αρκετούς περιορισμούς σε όρους χρόνου και κόστους, οι οποίοι σχετίζονται με την αύξηση της δυνατότητας καθαρής ηλεκτροπαραγωγής του ελληνικού ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος.

Οπότε, πριν η χώρα περάσει σε μία κλιματικά ουδέτερη ηλεκτροπαραγωγή, κρίνεται ως ιδιαίτερα σημαντική η χρήση του φυσικού αερίου ως υποκατάστατου του λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή, δηλαδή ως καύσιμου «μετάβασης» (Dedi, 2020). Θα πρέπει όμως να τονιστεί, ότι το χρονικό διάστημα που το φυσικό αέριο θα διαδραματίσει το ρόλο του «καυσίμου-γέφυρας» δύναται να μειωθεί σημαντικά, λόγω των τελευταίων γεγονότων αναφορικά με τον Ρωσο-Ουκρανικό πόλεμο. Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί κεντρική στρατηγική της ΕΕ συνολικά να απεμπλακεί γρηγορότερα από το φυσικό αέριο σε σχέση με τις αρχικές προθέσεις της, ως μέτρο κυρώσεων προς την κυβέρνηση της Ρωσίας. Ως συνέπεια τούτου, ο ηλεκτροπαραγωγικός προγραμματισμός που περιγράφεται στα επίσημα έγγραφα της ελληνικής κυβέρνησης, δύναται να είναι σημαντικά διαφορετικός, ειδικά σε μεσοπρόθεσμο επίπεδο. Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί ότι το ρόλο του φυσικού αερίου δύναται να διαδραματίσουν έτερα καύσιμα, όπως το υδροποιημένο φυσικό αέριο και η πυρηνική ενέργεια (IEA, 2022; Reuters, 2022), ως εισαγόμενα, είτε απευθείας σε αυτή τη μορφή, είτε υπό τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από αυτά τα καύσιμα.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι αν και το τελικό ΕΣΕΚ θέτει αυστηρούς στόχους αναφορικά με τη μελλοντική χρήση του λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή, η σταδιακή «απολιγνιτοποίηση» της ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας έχει ήδη ξεκινήσει αρκετό καιρό πριν, συγκεκριμένα από τις αρχές της δεκαετίας του 2010, όπως φαίνεται και στην [Εικόνα 19](#). Η συγκεκριμένη εικόνα παρουσιάζει το ύψος της χρήσης ανά τύπο καυσίμου στην ηλεκτροπαραγωγή κατά την περίοδο 1990-2019, με βάση τα στοιχεία του *Διεθνή Οργανισμού Ενέργειας* (IEA, 2021c).

**Εικόνα 19:** Συμμετοχή στην ηλεκτροπαραγωγή ανά τύπο καυσίμου για την Ελλάδα, κατά την περίοδο 1990-2019.



Πραγματοποιώντας μία ιστορική αναδρομή, η Ελλάδα αποφάσισε να χρησιμοποιήσει το λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή, μετά την πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του 1970 (ΗΑΕΕ, 2019). Οι λόγοι που οδήγησαν σε αυτή την απόφαση είναι οι ακόλουθοι: (α) υψηλή διαθεσιμότητα στην ελληνική επικράτεια, (β) χαμηλό κόστος εξόρυξης και (γ) σταθερή τιμή. Αυτοί οι λόγοι, μετέτρεψαν την Ελλάδα σε έναν από τους μεγαλύτερους παραγωγούς λιγνίτη στην ΕΕ (PPC, 2020). Επιπρόσθετα, η παραγωγή λιγνίτη, εξαιτίας της υψηλής της κλίμακας, παρείχε χιλιάδες θέσεις εργασίας σε πολλές αγροτικές περιοχές της ελληνικής επικράτειας, συμβάλλοντας καθοριστικά στην εθνική οικονομική ανάπτυξη της χώρας, και δη σε περιοχές χαμηλής οικονομικής δραστηριότητας.

Ωστόσο, το μερίδιο του λιγνίτη στην ακαθάριστη κατανάλωση ενέργειας, μειώθηκε κατά 49%, κατά την περίοδο που εκτείνεται από το 2015 μέχρι το 2020, ενώ το μερίδιο των ΑΠΕ αυξήθηκε κατά 29%, κατά την ίδια αυτή περίοδο (Marinakis et al., 2020). Αυτό μπορεί να αποδοθεί στους εξής λόγους (ΗΑΕΕ, 2019; Marinakis et al., 2020): (α) στη «γήρανση» των λιγνιτικών ηλεκτροπαραγωγικών εργοστασίων, (β) στο χαμηλότερο κόστος του φυσικού αερίου σε σχέση με το λιγνίτη, και (γ) στο σημαντικό κόστος των εκπομπών ΑτΘ. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά το κόστος εκπομπών ΑτΘ, αυξήθηκε περισσότερο από 80% κατά την περίοδο από το 2017 μέχρι το 2019.

Η οικονομική κρίση, πέρα από τις συνέπειες που είχε σε μακροοικονομικό επίπεδο, επηρέασε σε σημαντικό βαθμό και τον ενεργειακό τομέα. Ωστόσο, οι θεσμικές αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στον ενεργειακό τομέα κατά την περίοδο αυτή, ως συνέπεια και των υποχρεώσεων της Ελλάδας, προς την κατεύθυνση της εναρμόνισής της με τα ευρωπαϊκά πρότυπα, μετέβαλλαν σε ουσιαστικό βαθμό αρκετά από τα δομικά χαρακτηριστικά του. Οπότε, η ριζική αναδιάρθρωση του

ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, συμβάλλει και στην αντιμετώπιση των εγγενών και διαχρονικών αδυναμιών του.

Αυτές οι αδυναμίες μπορούν να συνοψισθούν στα παρακάτω σημεία, ανά διάσταση του ενεργειακού τομέα της Ελλάδας, όσο και σε συνολικό επίπεδο (διαΝΕΟσις, 2021):

➤ **Γενικά:**

- Υψηλή ενεργειακή εξάρτηση,
- Υψηλή εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα.

➤ **Τομέας Ηλεκτρισμού:**

- Δομικές ανισορροπίες και υψηλή συγκέντρωση παραγωγής,
- Έλλειψη ανταγωνισμού,
- Υψηλό κόστος ενέργειας στην αγορά χονδρικής,
- Ασθενής σύνδεση της αγοράς χονδρικής με την αγορά λιανικής,
- Μεγάλα ποσά ληξιπρόθεσμων οφειλών και σχετικά χαμηλός ρυθμός είσπραξης ανεξόφλητων λογαριασμών.

➤ **Ενεργειακές υποδομές:**

- Μη ολοκληρωμένες διασυνδέσεις των αυτόνομων νησιωτικών συστημάτων με το ηπειρωτικό σύστημα ηλεκτρισμού,
- Σχετική καθυστέρηση στην ανάπτυξη των «ευφυών» δικτύων διανομής ηλεκτρισμού και στην εγκατάσταση «έξυπνων» μετρητών.

➤ **Φυσικό αέριο:**

- Μη πλήρης κάλυψη της χώρας από το δίκτυο φυσικού αερίου,
- Μικρή λιανική αγορά και περιορισμένος αριθμός συνδεδεμένων νοικοκυριών.

Η Ελληνική κυβέρνηση, μέσω του ΕΣΕΚ της, αναλύει του ενεργειακούς και κλιματικούς στόχους που πρέπει να εκπληρωθούν από τη χρονική σκοπιά του 2030. Αυτοί οι στόχοι παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5**, όπως επίσης και το ύψος των επενδύσεων που πρέπει να κατευθυνθεί σε διάφορους τομείς της ελληνικής οικονομίας, για να χρηματοδοτήσει του βασικούς τομείς υλοποίησης του ΕΣΕΚ. Στον ίδιο πίνακα, παρουσιάζονται οι αντίστοιχοι στόχοι που είχαν τεθεί στην αρχική έκδοση του εγγράφου, όπως επίσης και οι αντίστοιχοι κεντρικοί ευρωπαϊκοί στόχοι, με σκοπό να γίνει σαφές το επίπεδο φιλοδοξίας των τεθέντων ενεργειακών και κλιματικών στόχων από την ελληνική κυβέρνηση σε μεσοπρόθεσμο επίπεδο.

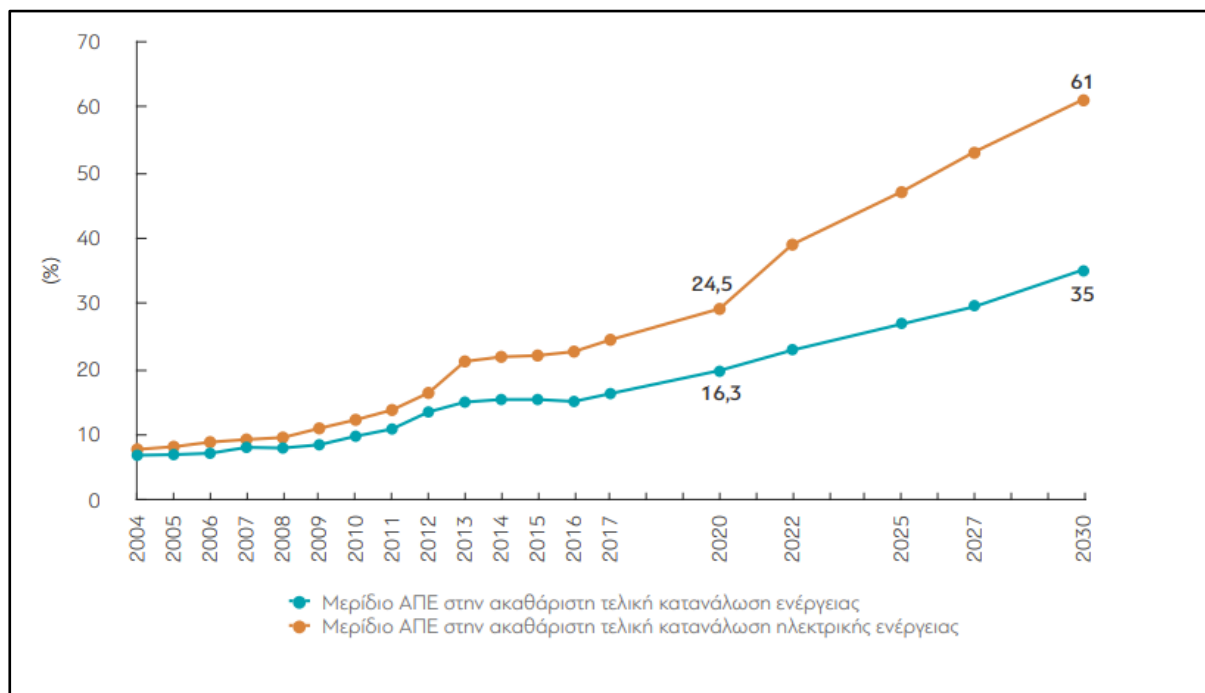
**Πίνακας 5:** Κύριοι τεθέντες ενεργειακοί στόχοι από την ελληνική κυβέρνηση για το 2030, με βάση την αρχική και τελική έκδοση του ΕΣΕΚ, και σύγκριση με τους αντίστοιχους βασικούς ευρωπαϊκούς στόχους.

Μεταβλητή	Στόχος 2030		Φιλοδοξία τελικών στόχων σε σχέση με τους στόχους της ΕΕ
	Τελικό ΕΣΕΚ	Αρχικό ΕΣΕΚ	
Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ενέργειας	≥35%	31%	Αυξημένη φιλοδοξία (ευρωπαϊκός στόχος: 32%)
Μερίδιο ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας	≈61–64%	56%	–
Τελική Κατανάλωση Ενέργειας	≈16.1–16.5 Mtoe (≥38% σε σχέση με προβλέψεις 2007)	18.1 Mtoe; 17.3 Mtoe χωρίς θερμότητα περιβάλλοντος (32% σε σχέση με προβλέψεις 2007)	Αυξημένη φιλοδοξία (ευρωπαϊκός στόχος: 32.5 %)
Μερίδιο Λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή	0%	16.50%	–
Μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου	≥ 42% σε σχέση με 1990; ≥ 56% σε σχέση με 2005	33% σε σχέση με 1990; 49% σε σχέση με 2005	Ίδιο επίπεδο φιλοδοξίας (υπεραπόδοση σε σχέση με εθνικές δεσμεύσεις στους τομείς εκτός ΣΕΔΕ)
Επιπλέον Επενδύσεις	43.8 € δισεκατομμύρια	34.7 € δισεκατομμύρια	–

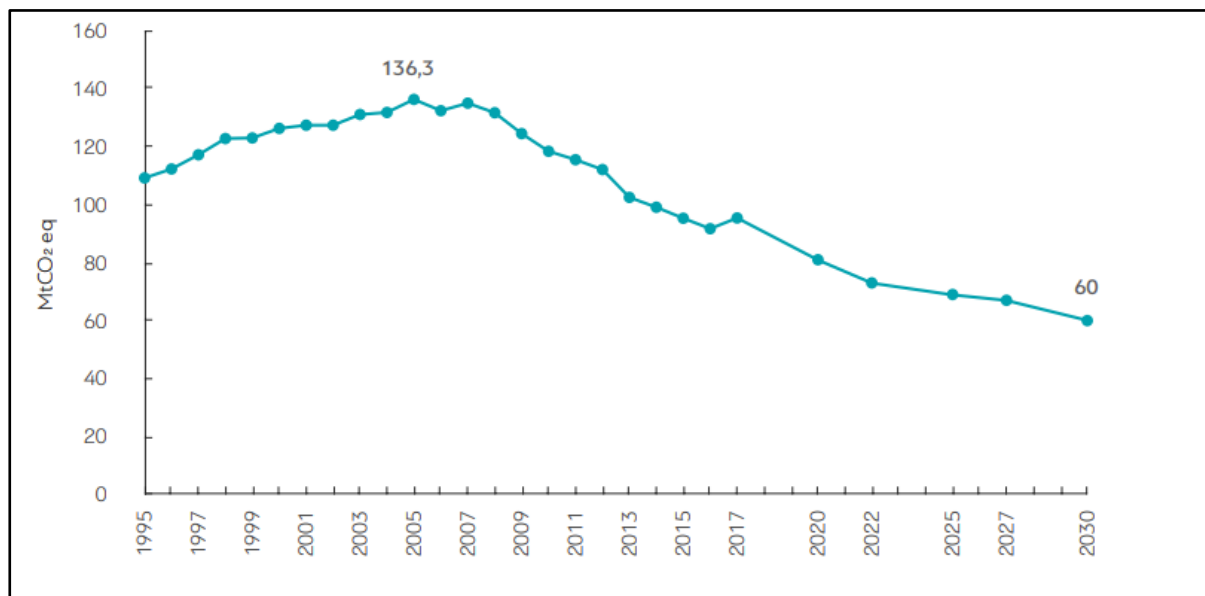
Όπως φαίνεται από τους παραπάνω στόχους, η εφαρμογή των μέτρων του ΕΣΕΚ, θα οδηγήσει σε ισχυρή διεύρυνση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (**Εικόνα 20**; διαΝΕΟσις, 2021) και, συνεπακόλουθα, σε σημαντική μείωση των εκπομπών των ΑτΘ (**Εικόνα 21**; διαΝΕΟσις, 2021).



**Εικόνα 20:** Στόχοι διείσδυσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην ηλεκτροπαραγωγή για την ελληνική κυβέρνηση, κατά την περίοδο 2004-2030.



**Εικόνα 21:** Εξέλιξη των εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου (Ατθ) για το ελληνικό ενεργειακό σύστημα, κατά την περίοδο 1995-2030.



Θα πρέπει να τονιστεί, όμως, ότι λόγω της έλλειψης προόδου όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών Ατθ ανά τον κόσμο, σε σχέση με τις αρχικές εκτιμήσεις, σε συνδυασμό με τις

κλιμακούμενα αυξανόμενες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, η οποία έχει μετατραπεί σε κλιματική κρίση, λαμβάνει χώρα μία διαρκής αναθεώρηση του επιπέδου φιλοδοξίας των ενεργειακών και κλιματικών στόχων σε κυβερνητικό και θεσμικό επίπεδο ανά τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας. Σε αυτό το πλαίσιο, η ελληνική κυβέρνηση πρόκειται να εκδώσει τον εθνικό κλιματικό νόμο, («Εθνικός Κλιματικός Νόμος – Μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα και προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή»), με βάση τον οποίο θα αυξήσει το επίπεδο φιλοδοξίας των τεθέντων ενεργειακών και κλιματικών στόχων της, όπως επίσης και θα θεσπιστεί επίσημα ο στόχος της κλιματικής ουδετερότητας μέχρι το 2050. Πιο συγκεκριμένα, με βάση το εν λόγω έγγραφο, αναμένεται θα τεθούν ποσοτικοί στόχοι για μείωση των εκπομπών ΑτΘ, κατά 55% το 2030 σε σχέση με το 1990, και κατά 80% το 2040 σε σχέση με το 1990.

Πιο συγκεκριμένα, στον **Πίνακα 6** παρουσιάζονται οι στόχοι της ελληνικής κυβέρνησης που αναμένεται να θεσπιστούν στον κλιματικό νόμο, ανά τομέα και έτος, έως το 2030.

**Πίνακας 6:** Βασικοί στόχοι του νέου κλιματικού νόμου της ελληνικής κυβέρνησης (Καθημερινή, 2022).

Χρονιά	2023	2025	2030
Τομέας			
Ηλεκτρική ενέργεια			≥70% ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας
Μεταφορές	¼ των νέων εταιρικών αυτοκινήτων θα είναι (υβριδικά) ηλεκτρικά οχήματα	όλα τα νέα ταξί και το 1/3 των νέων ενοικιαζόμενων οχημάτων θα είναι μηδενικών εκπομπών	πώληση μόνο οχημάτων μηδενικών εκπομπών (για ΙΧ και ελαφρά επαγγελματικά)
Νησιά			απαγορεύεται η χρήση μαζούτ στην ηλεκτροπαραγωγή στα μη διασυνδεδεμένα νησιά
Κτίρια	Απαγόρευση εγκατάστασης καυστήρων πετρελαίου θέρμανσης (όπου υπάρχει επαρκές	Απαγόρευση εγκατάστασης καυστήρων πετρελαίου θέρμανσης,	Απαγόρευση χρήσης καυστήρων πετρελαίου θέρμανσης

Βιομηχανία	διαθέσιμο δίκτυο φυσικού αερίου)	Υποχρεωτική ασφάλιση όλων των νέων κτιρίων που βρίσκονται σε ζώνες υψηλής τρωτότητας	μείωση ΑτΘ κατά 30% vs 2022 (για ρυπογόνες επιχειρήσεις)
------------	----------------------------------	--	--

#### 4.1.2 Σενάρια Μετάβασης στην Κλιματική Ουδετερότητα

Θα πρέπει να τονιστεί, ότι οι πολιτικές που περιγράφονται στο ΕΣΕΚ της ελληνική κυβέρνησης, σκιαγραφούν το μονοπάτι μέσα από το οποίο πρέπει να περάσει η χώρα για να επιτύχει τους στόχους του 2050. Το εν λόγω έτος, αποτελεί τη χρονική σκοπιά από όπου η ΕΕ και συνολικά η κοινότητα χάραξης ενεργειακών πολιτικών, αξιολογεί την απαιτούμενη ενεργειακή μετάβαση που πρέπει να διενεργηθεί, με γνώμονα την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης. Για τον σκοπό αυτό, έχει εκδοθεί από την ελληνική κυβέρνηση η Μακροχρόνια Στρατηγική (ΜΣ) για το 2050 (ΗΜΕΕ, 2019b), η οποία σκιαγραφεί τη μακροχρόνια εξέλιξη των βασικών συνιστωσών του ελληνικού ενεργειακού συστήματος, από τη χρονική σκοπιά του 2050, για διάφορα σενάρια τα οποία θα μπορούσαν να υλοποιηθούν.

Ωστόσο, θα πρέπει να τονιστεί, ότι σε αντίθεση με το ΕΣΕΚ της ελληνικής κυβέρνησης για το 2030, το εν λόγω έγγραφο παρουσιάζει μία ανάλυση σεναρίων με σκοπό την κατανόηση των ιδιαιτεροτήτων του ελληνικού ενεργειακού συστήματος και την έναρξη του διαλόγου αναφορικά με τις μακροχρόνιες στρατηγικές που πρέπει να καταστρωθούν, χωρίς να περιγράφει δεδομένα «μονοπάτια» ή συγκεκριμένες πολιτικές που έχουν αναληφθεί από την ελληνική κυβέρνηση. Οπότε, με άλλα λόγια, το εν λόγω έγγραφο καθορίζει το πλαίσιο, για τη μακροπρόθεσμη ενεργειακή και κλιματική στρατηγική της Ελλάδας για το έτος 2050. Τα σενάρια που περιγράφονται στη ΜΣ50, εμπεριέχουν ως δεδομένη την επιτυχή ολοκλήρωση των στόχων και πολιτικών που περιγράφονται στο ΕΣΕΚ μέχρι το 2030. Οπότε, προσομοιάζουν από τη χρονική σκοπιά του 2030 και διαφοροποιούνται από το 2030 και έπειτα.

Οι παράγοντες διαφοροποίησης μεταξύ των περιγραφόμενων σεναρίων, σχετίζονται με τον τρόπο που επιτυγχάνεται η δραστική μείωση των εκπομπών των ΑτΘ μέχρι το 2050, κάτι το οποίο συνδέεται με την υιοθέτηση διαφορετικών ενεργειακών τεχνολογιών, με την υλοποίηση μέτρων ενεργειακής αποδοτικότητας διαφορετικής έντασης και με τη θέσπιση διαφορετικών στρατηγικών προτεραιοτήτων ανά τομέα.

Το σενάριο «βασικών πολιτικών – ΕΣΕΚ2050», το οποίο παραμένει αναλλοίωτο μεταξύ των παρουσιαζόμενων μακροχρόνιων σεναρίων στη ΜΣ50, περιλαμβάνει τις ακόλουθες υποθέσεις:

- Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε όλους τους τομείς (έμφαση στην ενεργειακή αναβάθμιση κατοικιών και κτιρίων),
- Ανάπτυξη των ΑΠΕ σε όλους τους τομείς και ιδιαίτερα στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής,
- Εξηλεκτρισμός των μεταφορών και της θερμότητας,
- Ανάπτυξη εγχώριων καυσίμων και αερίου από βιομάζα,
- Περαιτέρω επέκταση των διασυνδέσεων για τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου και ολοκλήρωση της σύζευξης των αγορών στην ευρύτερη περιοχή.

Η ποσοτική εκτίμηση του σεναρίου «Βασικών Πολιτικών», υποδεικνύει ότι —αν και θα οδηγήσει σε σημαντική μείωση των εκπομπών ΑτΘ μέχρι το 2050— η υλοποίησή του δεν επαρκεί για την επίτευξη των στόχων μείωσης των εκπομπών ΑτΘ στο πλαίσιο των στρατηγικών για τους 2°C και για τον 1.5°C. Σε αυτό το συμπέρασμα έχει οδηγηθεί, τόσο η διεθνής βιβλιογραφία, όσο και η κοινότητα χάραξης ενεργειακών και κλιματικών πολιτικών (Charman et al., 2019; IEA, 2021a).

Οπότε, απαιτείται η υιοθέτηση επιπλέον πολιτικών, που θα περιλαμβάνουν τεχνολογίες, μετασχηματισμούς και μέτρα πολιτικής που θα έχουν έναν ανατρεπτικά καινοτόμο χαρακτήρα (*“disruptive innovation”*), μεταβάλλοντας συμβατικές πρακτικές. Αυτά τα σενάρια, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με το μέγεθος του στόχου μείωσης των εκπομπών που εμπεριέχουν (συμβατά με τους στόχους 1.5°C ή 2°C). Κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες, περιλαμβάνει περαιτέρω κατηγοριοποίηση σεναρίων, τα οποία προβλέπουν έναν διαφορετικό τρόπο επίτευξης του στόχου μετασχηματισμού του ενεργειακού συστήματος, κάτι το οποίο μεταφράζεται σε προτεραιοποίηση διαφορετικού είδους τεχνολογιών ανά περίπτωση, πλέον των βασικών προτεραιοτήτων πολιτικής.

Οπότε τα σενάρια που θεωρούν επιπλέον μέτρα για τη χρονική περίοδο 2030-2050, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, επί της βάσης δύο παραμέτρων. Η πρώτη διαφοροποιητική παράμετρος, σχετίζεται με το ύψος της φιλοδοξίας των στόχων που θέτουν, με βάση την οποία διακρίνονται σε σενάρια τα οποία είναι συμβατά με τη διατήρηση της αύξησης της θερμοκρασίας στους 1.5 °C ή 2°C, σε σχέση με τα προ-βιομηχανικής εποχής επίπεδα. Τα εν λόγω σενάρια, με βάση τη δεύτερη διαφοροποιητική παράμετρο, μπορούν να διακριτοποιηθούν σε επιπλέον δύο κατηγορίες, ανάλογα με τις θεωρήσεις που πραγματοποιούν σχετικά με τις ενεργειακές τεχνολογίες που εισέρχονται στο σύστημα.

Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν τα σενάρια «Εξηλεκτρισμού-Ενεργειακής Αποδοτικότητας» (ΕΞΕΑ) και τα σενάρια «Νέων Καυσίμων» (ΝΚ). Τα πρώτα σενάρια, αυτά του ΕΞΕΑ, θεωρούν ως οικονομικά και τεχνολογικά αβέβαιη την ανάπτυξη κλιματικά ουδέτερων καυσίμων και, ως εκ τούτου, βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στον εξηλεκτρισμό του ενεργειακού συστήματος και στη βελτίωση της ενεργειακής

αποδοτικότητας, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης της κυκλικής οικονομίας. Στον αντίποδα, τα σενάρια *NK* περιλαμβάνουν, επίσης, την εισχώρηση στο ενεργειακό μίγμα κλιματικά ουδέτερων καυσίμων, όπως βιοκαύσιμα, τα οποία αναμένεται να χρησιμοποιηθούν στις περιπτώσεις που δεν είναι εφικτός ο πλήρης εξηλεκτρισμός.

Οπότε, τα σενάρια *ΕξΕΑ*, οδηγούν στην κλιματική ουδετερότητα μόνο μέσω του πλήρη εξηλεκτρισμού του ηλεκτρικού συστήματος, ενώ τα σενάρια *NK*, μπορούν να οδηγήσουν σε αυτή και μέσω άλλων καυσίμων, όπως το υδρογόνο και το συνθετικό μεθάνιο. Θα πρέπει να τονιστεί, όμως, ότι και τα σενάρια *NK*, υποθέτουν βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας και τον εξηλεκτρισμό των τομέων της θερμότητας και των μεταφορών.

Σε αυτό το πλαίσιο, η *ΜΣ50* της Ελληνικής κυβέρνησης διακρίνει τέσσερα σενάρια, πλέον του σεναρίου βασικών πολιτικών, ως εξής:

- *Σενάριο ΕξΕΑ2*: Εξηλεκτρισμός και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης για την επίτευξη του στόχου των 2°C,
- *Σενάριο NC2*: Νέοι ενεργειακοί φορείς για την επίτευξη του στόχου των 2°C,
- *Σενάριο ΕξΕΑ1.5*: Εξηλεκτρισμός και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης για την επίτευξη του στόχου του 1.5°C,
- *Σενάριο NC1.5*: Νέοι ενεργειακοί φορείς για την επίτευξη του στόχου του 1.5°C.

Ο **Πίνακας 7** παρουσιάζει περιληπτικά τις υποθέσεις που έλαβαν χώρα για το σχεδιασμό των τεσσάρων σεναρίων που αναφέρθηκαν παραπάνω, μαζί με το σενάριο ΕΣΕΚ-2030 (απουσία στόχων και πρόσθετων μέτρων πολιτικής μετά το έτος 2030), και το σενάριο «Βασικών Πολιτικών-ΕΣΕΚ2050» που περιγράφηκε παραπάνω.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ένας σημαντικός διαφοροποιητικός παράγοντας μεταξύ των σεναρίων της μακροχρόνιας στρατηγικής, αποτελεί ο βαθμός στον οποίο ο ηλεκτρισμός εισέρχεται στους τελικούς τομείς ζήτησης, και ο βαθμός που υλοποιούνται μέτρα ενεργειακής αποδοτικότητας. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί και στις **Εικόνες 22-26**, που παρουσιάζουν πως αναμένεται να εξελιχθεί η τελική ζήτηση ενέργειας, ανά τομέα και τύπο καυσίμου, με βάση τα μέτρα πολιτικής που περιλαμβάνει κάθε σενάριο.

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί σε αυτές τις εικόνες, ενώ η ονομαστική ποσότητα του ηλεκτρισμού παραμένει σε γενικές γραμμές στα ίδια επίπεδα ανά τομέα και σενάριο, στα σενάρια *ΕξΕΑ*, αποτελεί πολύ μεγαλύτερο ποσοστό της τελικής ζήτησης, ως απόρροια της χαμηλότερης συνολικής ζήτησης που παρατηρείται σε αυτά τα σενάρια.

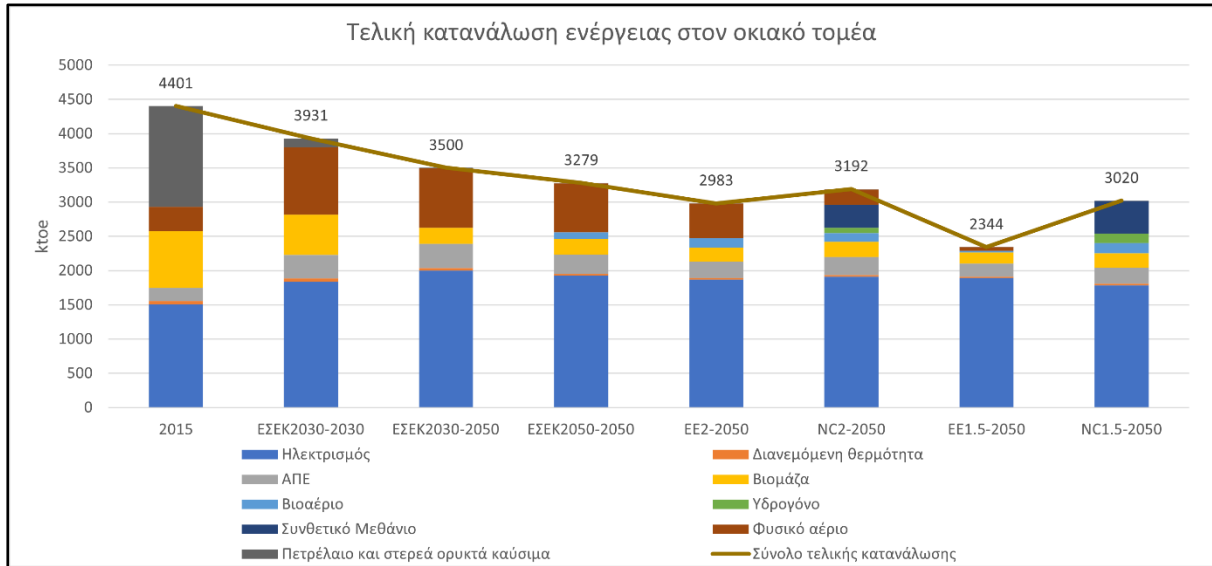
Αυτό το στοιχείο, μπορεί να παρατηρηθεί και στην **Εικόνα 27**, που παρουσιάζει το ποσοστό κάθε καυσίμου, επί της συνολικής ζήτησης όλων των τομέων. Είναι προφανές, επίσης, από αυτές τις

εικόνες, ότι στα σενάρια NC, πραγματοποιείται σε μεγαλύτερο βαθμό απευθείας τελική κατανάλωση συνθετικών καυσίμων, τα οποία καλύπτουν την αυξημένη τελική ζήτηση. Επίσης, όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός φιλοδοξίας κάθε σεναρίου, ήτοι καθώς πάμε από τα σενάρια των 2°C, στο σενάρια του 1.5°C, τόσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση αυτών των καυσίμων.

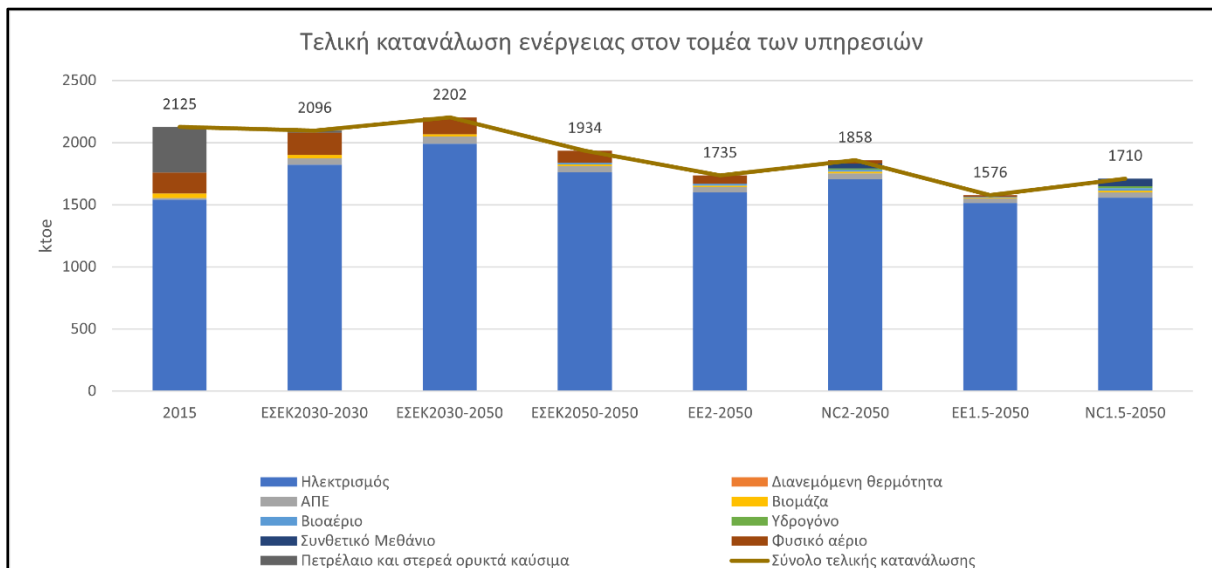
**Πίνακας 7:** Σενάρια μετάβασης του ελληνικού ενεργειακού συστήματος στην κλιματική ουδετερότητα, από τη χρονική σκοπιά του 2050.

Παράμετροι διαμόρφωσης σεναρίων	Σενάρια					
	ΕΣΕΚ-2030	Βασικές Πολιτικές (ΕΣΕΚ-2050)	ΕΞΕΑ2	ΕΞΕΑ1.5	NC2	NC1.5
	2030-2050					
Βασικές Πολιτικές ΕΣΕΚ	Επιβράδυνση μετά το έτος 2030	Επιτάχυνση προτεραιοτήτων πολιτικής ΕΣΕΚ και επέκταση μετά το έτος 2030				
Επιπλέον Μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης	ΟΧΙ	Όχι επιπλέον επέκταση	Πολύ φιλόδοξα	Μέγιστο	Πολύ φιλόδοξα	Πολύ φιλόδοξα
Επιπλέον Μέτρα εξηλεκτρισμού θερμότητας και μεταφορών	ΟΧΙ	Όχι επιπλέον επέκταση	Πολύ φιλόδοξα	Μέγιστο	Πολύ φιλόδοξα	Πολύ φιλόδοξα
Επιπλέον Μέτρα για βιοκαύσιμα	ΟΧΙ	Όχι επιπλέον επέκταση	Πολύ φιλόδοξα	Μέγιστο	Φιλόδοξα	Πολύ φιλόδοξα
Επιπλέον Μέτρα για βιοαέριο	ΟΧΙ	Όχι επιπλέον επέκταση	Πολύ φιλόδοξα	Μέγιστο	Πολύ φιλόδοξα	Μέγιστο
Κλιματικά ουδέτερο υδρογόνο και μεθάνιο	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	ΟΧΙ	Πολύ φιλόδοξα	Μέγιστο

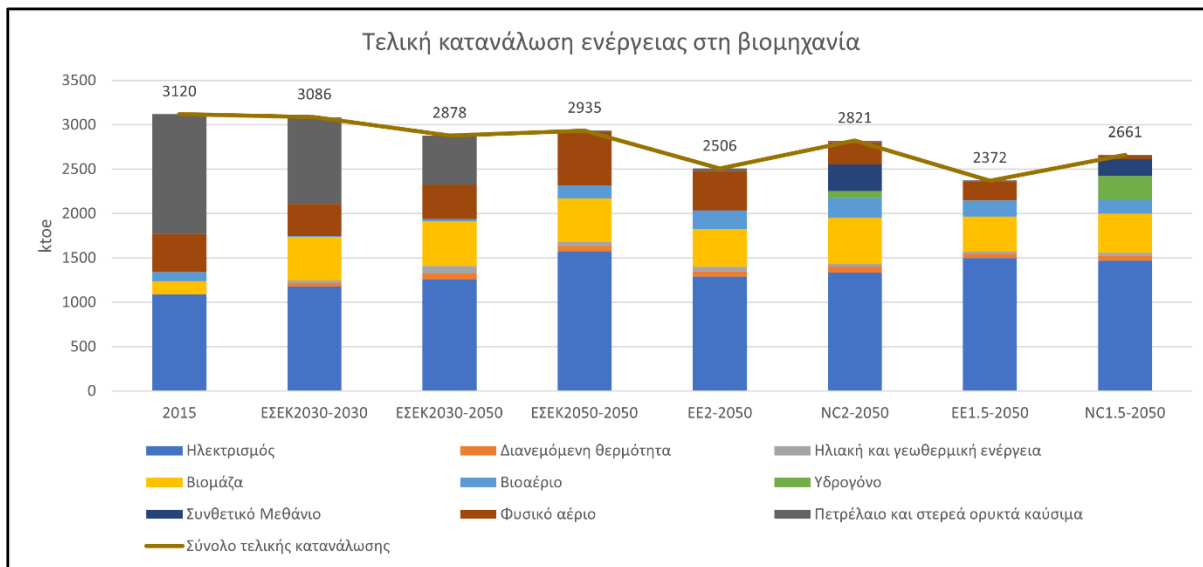
**Εικόνα 22:** Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο καυσίμου στον οικιακό τομέα της Ελλάδας το 2015, 2030 και 2050, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψιν στη Μακροχρόνια Στρατηγική της ελληνικής κυβέρνησης.



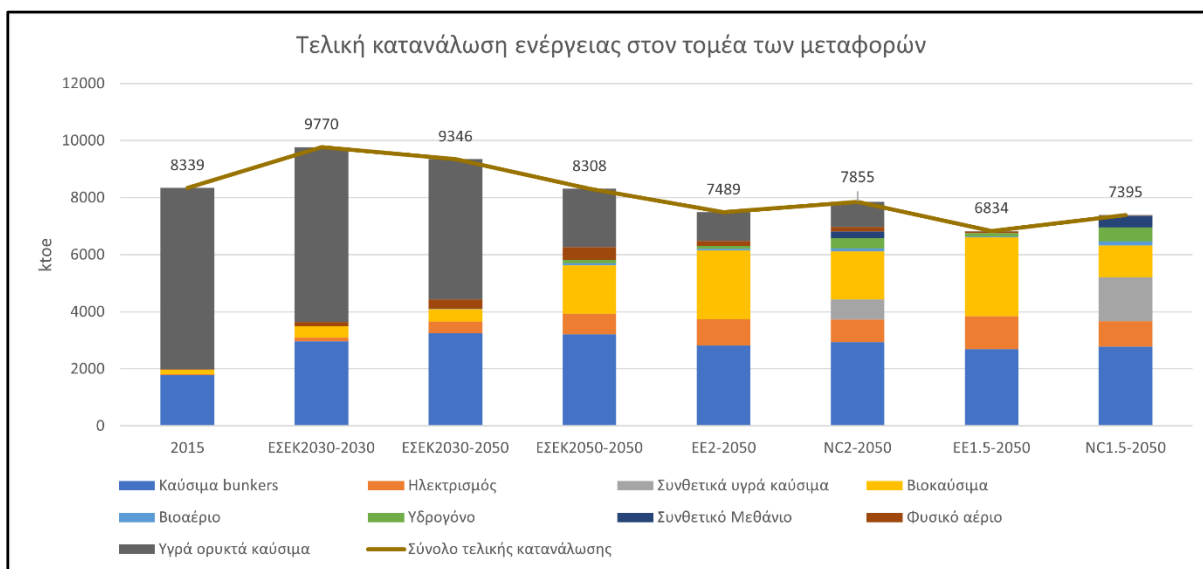
**Εικόνα 23:** Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο καυσίμου στον τομέα υπηρεσιών της Ελλάδας το 2015, 2030 και 2050, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψιν στη Μακροχρόνια Στρατηγική της ελληνικής κυβέρνησης.



**Εικόνα 24:** Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο καυσίμου στο βιομηχανικό τομέα της Ελλάδας το 2015, 2030 και 2050, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψιν στη Μακροχρόνια Στρατηγική της ελληνικής κυβέρνησης.

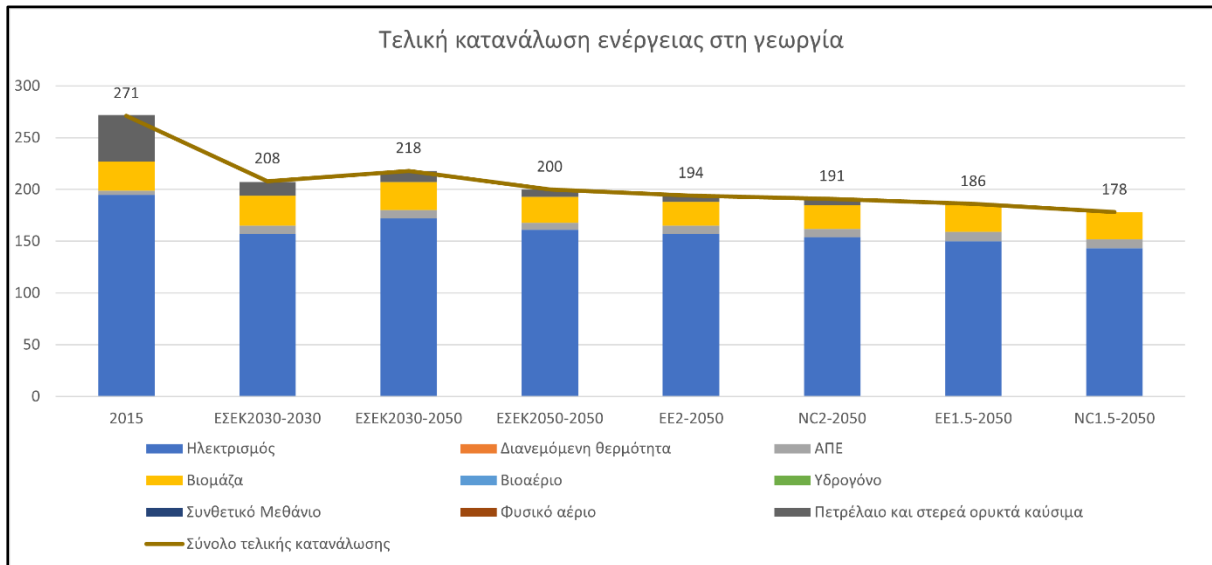


**Εικόνα 25:** Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο καυσίμου στον τομέα μεταφορών της Ελλάδας το 2015, 2030 και 2050, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψιν στη Μακροχρόνια Στρατηγική της ελληνικής κυβέρνησης.

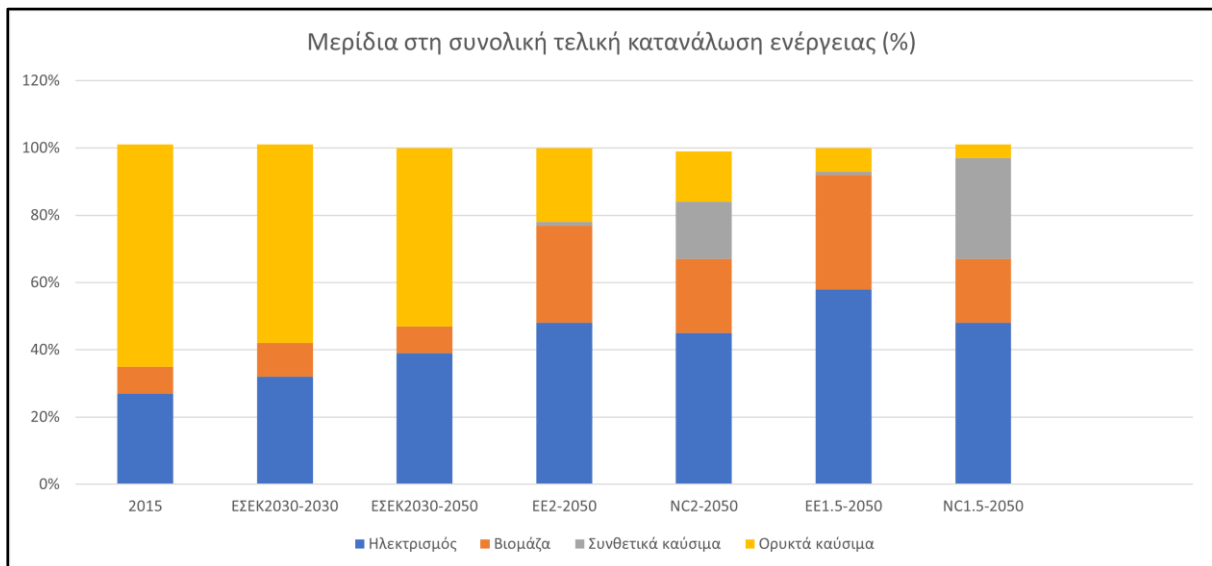




**Εικόνα 26:** Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τύπο καυσίμου στον τομέα της γεωργίας της Ελλάδας το 2015, 2030 και 2050, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψιν στη Μακροχρόνια Στρατηγική της ελληνικής κυβέρνησης.



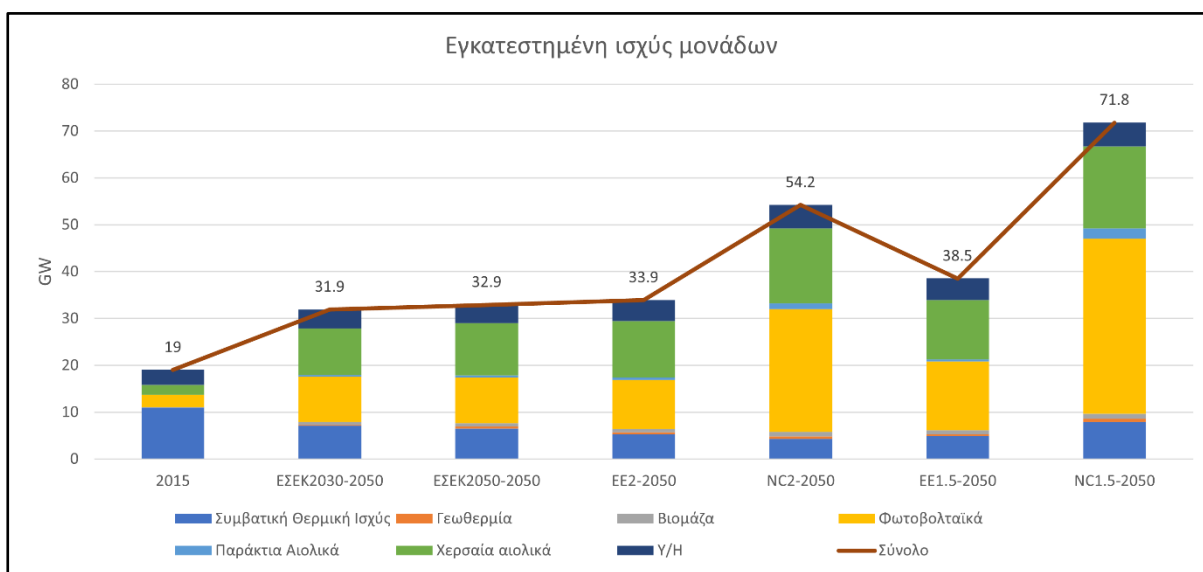
**Εικόνα 27:** Μερίδιο καυσίμων στη συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας το 2015, 2030 και 2050, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψιν στη Μακροχρόνια Στρατηγική της ελληνικής κυβέρνησης.



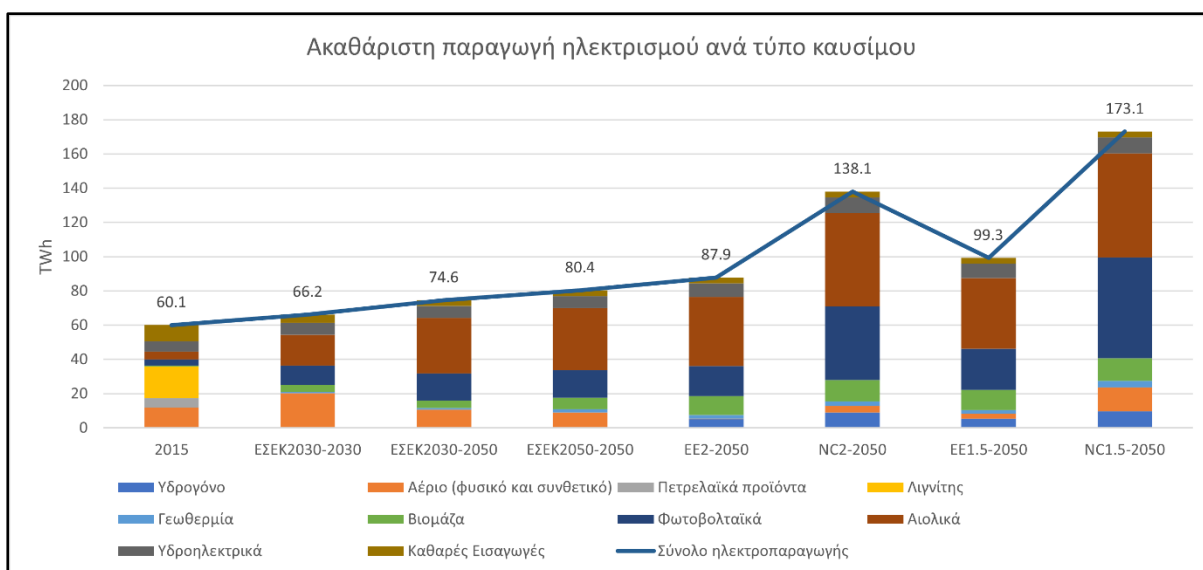
Οι **Εικόνες 28-29** απεικονίζουν την αντίθετη πλευρά του ελληνικού ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, αυτή της παραγωγής, η οποία μαζί με τις εισαγωγές, πρόκειται να καλύψει την τελική ζήτηση η οποία παρουσιάστηκε στις παραπάνω εικόνες. Όπως φαίνεται σε αυτές τις εικόνες, και στο

ίδιο μήκος κύματος με ό,τι αναφέρθηκε παραπάνω, στα σενάρια νέων καυσίμων, το ύψος της ηλεκτροπαραγωγής είναι σημαντικά υψηλότερο, λόγω της αυξημένης διείσδυσης του ηλεκτρισμού στους τελικούς τομείς ζήτησης, σε αυτά τα σενάρια. Στον αντίποδα, στα σενάρια ενεργειακής αποδοτικότητας, ο εξηλεκτρισμός δεν προχωράει στο ίδιο επίπεδο, λόγω της παραγωγής νέων καυσίμων.

**Εικόνα 28:** Εγκαταστημένη ισχύς ανά τύπο ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας το 2015 και 2050, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψιν στη Μακροχρόνια Στρατηγική της Ελληνικής κυβέρνησης.



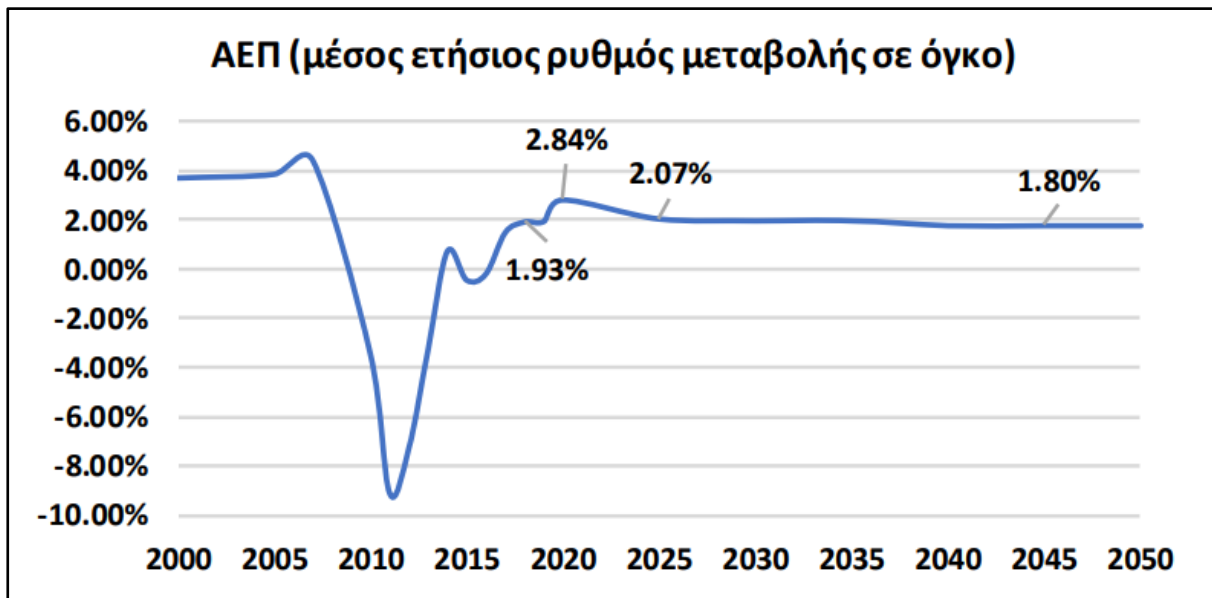
**Εικόνα 29:** Ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρισμού ανά τύπο καυσίμου το 2015, 2030 και 2050, κατά μήκος των σεναρίων που λαμβάνονται υπόψιν στη Μακροχρόνια Στρατηγική της Ελληνικής κυβέρνησης.



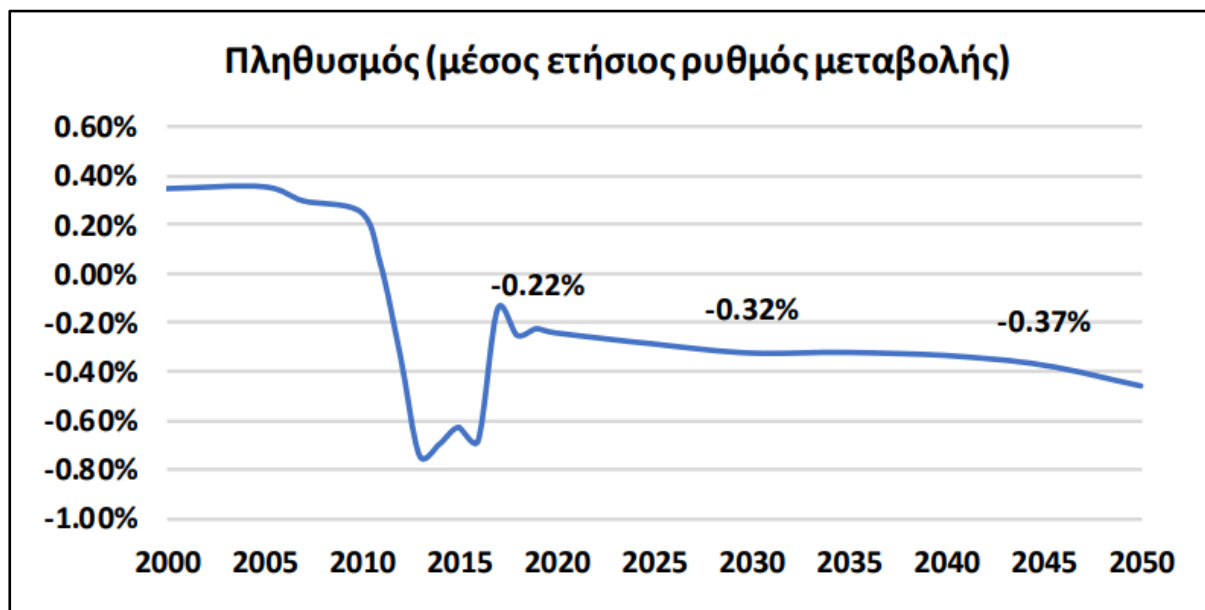
Στις **Εικόνες 30-31**, παρουσιάζεται η μέση ετήσια ποσοστιαία μεταβολή του ΑΕΠ της Ελληνικής οικονομίας και του πληθυσμού της, με βάση την ιστορική τους εξέλιξη, και το πως αναμένεται να εξελιχθούν μέχρι το 2050, με βάση τα οποία εκδόθηκε η μακροχρόνια στρατηγική της ελληνικής κυβέρνησης. Όπως είναι εμφανές από τις εν λόγω εικόνες, επιτυγχάνεται ένας σημαντικός ρυθμός ανάπτυξης της Ελληνικής οικονομίας, καθ' όλη την περίοδο μέχρι το 2050, και μία μικρή μείωση του ελληνικού πληθυσμού.

Οπότε δεδομένων αυτών των υποθέσεων, καθίσταται εμφανές, ότι η μακροχρόνια στρατηγική της ελληνικής κυβέρνησης, έχει εκδοθεί επί της βάσης της αποσύνδεσης της ανάπτυξης της ελληνικής οικονομίας από την αύξηση τη ενεργειακής ζήτησης, όπως επίσης και από την αύξηση των εκπομπών Ατθ. Ως εκ τούτου, θα μπορούσε να ειπωθεί, ότι κινητήριο δύναμη της κατάστροφης αυτών πολιτικών, είναι το λεγόμενο «διπλό μέρισμα» (“double dividend”) των βιώσιμων πολιτικών. Με άλλα λόγια, η «απανθρακοποίηση» του ενεργειακού συστήματος, όχι μόνο μπορεί να μην επηρεάσει την ανάπτυξη της οικονομίας, αλλά αντίθετα, μπορεί να είναι και αυτή που θα την πυροδοτήσει, μέσω των κατάλληλων επενδύσεων που θα κατευθυνθούν σε καθαρές τεχνολογίες και νέες υποδομές, οι οποίες αναμένεται να επεκτείνουν την οικονομία, μέσω της αύξησης της ζήτησης, δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας.

**Εικόνα 30:** Μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής του ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας, κατά την περίοδο 2000-2050.



**Εικόνα 31:** Μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής του ελληνικού πληθυσμού, κατά την περίοδο 2000-2050



Θα πρέπει να τονισθεί, ότι οι παραλλαγές των σεναρίων που εξυπηρετούν το στόχο του 1.5°C, σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να μειώνονται στο μέγιστο βαθμό οι εκπομπές όλων των ΑτΘ, σε όλους τους τομείς. Για το σκοπό αυτό, αναπτύσσονται τα μέτρα πολιτικής με τη μέγιστη δυνατή ένταση, αλλά και περιλαμβάνεται η χρήση τεχνολογιών σύλληψης, χρήσης και αποθήκευσης άνθρακα (“*carbon capture use and storage — CCUS*”). Αυτό, όμως, συμβαίνει μόνο σε περιορισμένη έκταση και μόνο για τις εκπομπές τομέων που δεν μπορούν να μειωθούν με άλλο πρόσφορο τρόπο.

Στον αντίποδα, τα σεναρία που εξυπηρετούν το στόχο των 2°C, δεν περιλαμβάνουν τεχνολογίες σύλληψης και αποθήκευσης άνθρακα. Ως απόρροια τούτου, παραμένει μία ποσότητα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, στους τομείς εκείνους όπου η περαιτέρω μείωσή τους είναι δύσκολη ή πολύ δαπανηρή. Θα πρέπει όμως να τονιστεί, ότι η διαθεσιμότητα των αρνητικών τεχνολογιών από τεχνολογική σκοπιά, αμφισβητείται σημαντικά. Οπότε, τα εν λόγω σεναρία, περιλαμβάνουν μία ισχυρή αβεβαιότητα από αυτή την οπτική γωνία.

Συμπερασματικά, η ΜΣ50 παρέχει μία εικόνα για τη φύση και ένταση των μέτρων που πρέπει να υιοθετούν σε εθνικό επίπεδο για την περίπτωση της Ελλάδας, για να επιτευχθούν οι τεθέντες μακροχρόνιοι ενεργειακοί και κλιματικοί στόχοι. Είναι δεδομένο, ότι οι εν λόγω στόχοι με βάση και τις νέες εξελίξεις στη διεθνή ενεργειακή και κλιματική κοινότητα, και τις νέες δεσμεύσεις από τη μεριά της ελληνικής κυβέρνησης, αναμένεται να αναθεωρηθούν, ενσωματώνοντας ένα υψηλότερο επίπεδο φιλοδοξίας και τις νέες τεχνολογικές τάσεις και εξελίξεις.

Οπότε, θα μπορούσε να αναφερθεί ότι τα εν λόγω σενάρια, θέτουν το πλαίσιο της μακροχρόνιας στρατηγικής που πρέπει να υιοθετηθεί από την Ελληνική κυβέρνηση, δίνοντας την απαραίτητη πληροφορία στους σχεδιαστές ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής στην Ελλάδα, σχετικά με τα διλλήματα και τις προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν, στο δρόμο προς την κλιματική ουδετερότητα. Επίσης, ένα έτερο κυρίαρχο χαρακτηριστικό του εν λόγω εγγράφου, είναι ότι επιτρέπει την έναρξη του διαλόγου μεταξύ των μελών της ενεργειακής και κλιματικής κοινότητας στην Ελλάδα, αναφορικά με τους απαραίτητους μετασχηματισμούς που πρέπει να υλοποιηθούν στο δρόμο προς τα «μετά-άνθρακα» ενεργειακά συστήματα.

Ωστόσο, αυτό που μπορεί να εξαχθεί με βεβαιότητα από τα σενάρια της μακροχρόνιας στρατηγικής, και το οποίο αναφέρεται και στο εν λόγω έγγραφο, είναι ότι όποια και να είναι η βέλτιστη στρατηγική για την περίοδο 2030-2050, δεν θα υπάρχει λόγος να μετανιώσει κανείς για την εντατική και φιλόδοξη εφαρμογή των πολιτικών αυτών κατά την περίοδο 2030-2050, ήτοι αυτές οι πολιτικές αποτελούν επιλογή “no-regrets”.

#### 4.1.3 Υπάρχουσες Μελέτες και Αποτελέσματα

Μια σειρά από μελέτες έχουν εκδοθεί μέχρι σήμερα στη βιβλιογραφία, με σκοπό την ανάλυση του μετασχηματισμού του ελληνικού ενεργειακού συστήματος και των επιμέρους διαστάσεων που τον διέπουν (Forouli et al., 2019; Marinakis et al., 2020; Nikas et al., 2020a, 2020b). Ο σκοπός των εν λόγω μελετών, εκτείνεται από την επισκόπηση των κινδύνων και προοπτικών που περικλείει αυτή η μετάβαση, σε εθνικό (Forouli et al., 2019; Nikas et al., 2020a) ή τοπικό (Marinakis et al., 2020) επίπεδο, μέχρι την αναγνώριση των βασικών εμποδίων που πρέπει να υπερακοντιστούν στο δρόμο προς την «απανθρακοποίηση» του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος (Nikas et al., 2020b).

Όσον αφορά τον εντοπισμό του βέλτιστου ηλεκτροπαραγωγικού μίγματος και του συνεπακόλουθου κόστους του μετασχηματισμού του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, αυτό περιγράφεται μόνο σε επίσημα έγγραφα της ελληνικής κυβέρνησης, όπως το ΕΣΕΚ ή η μακροχρόνια στρατηγική. Από πλευράς όμως μελετών σε έγκριτα ακαδημαϊκά περιοδικά, παρατηρείται ένα σημαντικό ερευνητικό χάσμα ως προς αυτή τη διάσταση.

Με βάση την επισκόπηση των παραπάνω μελετών, αναγνωρίζονται κάποιες διαστάσεις, οι οποίες παραμένουν έως σήμερα ανεξερεύνητες, και οποίες χρειάζεται να μελετηθούν προς την κατεύθυνση της παροχής της κατάλληλης πληροφόρησης στους αποφασίζοντες και χαράσσοντες ενεργειακής πολιτικής στην Ελλάδα. Η πρώτη διάσταση που χρήζει περαιτέρω ανάλυσης και διερεύνησης, αφορά την εξέταση του μακροοικονομικού και κοινωνικού αποτυπώματος των εξεταζόμενων πολιτικών, που θα οδηγήσουν στη «μετά-άνθρακα» εποχή του ελληνικού ενεργειακού συστήματος. Παρά την εξέταση των τοπικών —και επιμέρους— συνεπειών των υπό εξέταση πολιτικών, το ολιστικό

αποτύπωμά τους σε ολόκληρη την ελληνική οικονομία και κοινωνία, παραμένει σημαντικά παραμελημένο στη βιβλιογραφία.

Οπότε, σε αυτό το πλαίσιο, καθίσταται καίριας σημασίας η εξέταση της επίδρασης των σχεδιαζόμενων πολιτικών στην ευρύτερη οικονομία και στην κοινωνία. Αυτή η ανάγκη γίνεται ακόμη πιο επιτακτική, με βάση την τροχιά που έχει διαγράψει η ελληνική οικονομία τα τελευταία χρόνια, όπως περιγράφηκε αναλυτικά στην **Ενότητα 4.1.1**. Πιο συγκεκριμένα, η στιγμή που η ελληνική οικονομία προσπαθούσε να εξέλθει από τη δεκαετή οικονομική κρίση —ως απόρροια της παγκόσμιας χρηματοπιστωτικής κρίσης που ξεκίνησε το 2008 και της κακής διαχείρισής της από τις ελληνικές κυβερνήσεις— συνέπεσε με την έναρξη της πανδημίας “Covid-19” (διΑΝΕΟσις, 2022). Η εν λόγω πανδημία, μετατράπηκε σε οικονομική κρίση, ως απόρροια του αναγκαστικού περιορισμού ή κλεισίματος των οικονομιών, με πολλές παράπλευρες προεκτάσεις. Για παράδειγμα, οι επιδοτήσεις που αναγκάστηκε να δώσει η ελληνική κυβέρνηση για να στηρίξει τις δοκιμαζόμενες ελληνικές επιχειρήσεις και τα νοικοκυριά απέναντι στην ακρίβεια, οδήγησε στην αύξηση του δημοσίου χρέους.

Σε αυτό το σκηνικό, προστέθηκαν και οι τουρκικές παραβιάσεις στο Αιγαίο και ο πόλεμος στην Ουκρανία, με συνεπαγόμενες άμεσες και έμμεσες οικονομικές προεκτάσεις για την Ευρώπη και για την Ελλάδα —το πλήρες αποτύπωμα των οποίων μένει ακόμη να φανεί. Ως απόρροια αυτών των γεγονότων, έχουν έρθει στην επιφάνεια δομικά προβλήματα της ελληνικής οικονομίας, όπως η αύξηση του δημοσίου χρέους, το υψηλό ποσοστό ανεργίας (ιδιαίτερα της νεανικής) και το εμπορικό έλλειμμα (η αξία των εισαγόμενων προϊόντων υπερβαίνει την αντίστοιχη αξία των εξαγόμενων). Με βάση τα παραπάνω, καθίσταται απαραίτητο στον πυρήνα της σχεδίασης ενεργειακών πολιτικών για την περίπτωση της Ελλάδας, να βρίσκεται η εξέταση του δυνητικού αποτυπώματός τους στην οικονομία και στην κοινωνία, με ιδιαίτερη έμφαση στο πως επηρεάζονται τα δομικά χαρακτηριστικά της οικονομίας, πέρα από τον υπολογισμό των συμβατικών μακροοικονομικών δεικτών (π.χ. ΑΕΠ).

Είναι προφανές, ότι τα κατάλληλα εργαλεία για να απαντήσουν σε αυτά τα ζητήματα, είναι τα μακροοικονομικά μοντέλα «γενικής ισορροπίας», που αναφέρονται σε ολόκληρη την οικονομία και εξετάζουν τις αλληλεπιδράσεις που τη διέπουν. Επίσης, τα εν λόγω μοντέλα θα πρέπει να συνδέονται με μοντέλα βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, με σκοπό την ενσωμάτωση στην ανάλυση των τεχνολογικών διατάσεων και λεπτομερειών του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα και τη διεξαγωγή πιο εμπειριστατωμένων αναλύσεων. Στην τελευταία κατηγορία μοντέλων, αυτής των «από τη βάση προς την κορυφή», «τεχνολογικά πλούσιων», μοντέλων βελτιστοποίησης του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, εντοπίζεται και η δεύτερη διάσταση του ερευνητικού χάσματος που προσπαθεί να καλύψει η παρούσα διδακτορική διατριβή.

Τα εν λόγω μοντέλα, έχουν χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο της υποστήριξης και προετοιμασίας των εγγράφων που απεικονίζουν τη στρατηγική της ελληνικής κυβέρνησης για τη μετάβαση του εθνικού

ενεργειακού συστήματος, όπως στο ΕΣΕΚ. Ωστόσο, οι συγκεκριμένες προσπάθειες και ο τρόπος παρουσίασης των αποτελεσμάτων, παρουσιάζουν δεδομένες αδυναμίες. Αρχικά, τα εν λόγω μοντέλα δεν έχουν καταστεί διαθέσιμα σε όρους λογισμικού και κώδικα υλοποίησης, ενώ οι υποθέσεις και τα δεδομένα που έχουν χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο αυτών των μελετών, έχουν παρουσιαστεί μόνο μερικώς. Ως εκ τούτου, δημιουργείται η ανάγκη της παροχής των κατάλληλων εργαλείων «ανοιχτού κώδικα» στους αποφασίζοντες και χαράσσοντες ενεργειακής πολιτικής, υποστηρίζοντάς τους ουσιαστικά και απτά, στις αποφάσεις που εκείνοι καλούνται να πάρουν στο δρόμο προς την κλιματική ουδετερότητα.

Το παραπάνω στοιχείο, αυτό της έλλειψης διαφάνειας στον τρόπο εκτέλεσης των ασκήσεων μοντελοποίησης ενεργειακών πολιτών, δυσκολεύει την ερμηνεία των αποτελεσμάτων από τους αποφασίζοντες, καθώς και την κατανόηση των βασικών διαστάσεων της ανάλυσης. Ως συνέπεια, δεν επιτρέπεται η πλήρης κατανόηση από τους αποφασίζοντες των πραγματικών διλημάτων των αποφάσεων που καλούνται να λάβουν. Επιπλέον, η στρατηγική της διάθεσης των εργαλείων που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις ασκήσεις στους αναλυτές και μελετητές, όσο και η λεπτομερής περιγραφή των υποθέσεων και δεδομένων εισόδου που χρησιμοποιούνται, δύναται να επιτρέψει τη μεταξύ τους επικοινωνία και να εκκινήσει τον μεταξύ τους διάλογο. Επίσης, η εκτέλεση αυτών των ασκήσεων με όρους διαφάνειας, δύναται να αυξήσει το επίπεδο και την ποιότητα της υποστήριξης που παρέχεται στους αποφασίζοντες από αυτού του είδους τις ασκήσεις. Ακόμη, είναι προφανές ότι μία τέτοια στρατηγική μπορεί να επιτρέψει την εκ νέου προσομοίωση παρόμοιων ή/και την επανεκτέλεση των ίδιων πειραμάτων, κάτι το οποίο μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση του επιπέδου ποιότητας ασκήσεων μοντελοποίησης και αξιολόγησης ενεργειακών πολιτικών.

Επίσης, ένα έτερο στοιχείο ερευνητικού χάσματος, εντοπίζεται στο γεγονός ότι οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στο πλαίσιο της υποστήριξης και προετοιμασίας των επίσημων εγγράφων της Ελληνικής κυβέρνησης, δεν υπολογίζουν την εγγενή αβεβαιότητα των μοντέλων βελτιστοποίησης της ενεργειακής παραγωγής, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιό τους, όπως το TIMES-Ελλάδας και το Primes. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τις βασικές παραμέτρους των μοντέλων, οι οποίες απεικονίζουν τις βασικές συνιστώσες του ενεργειακού συστήματος, θεωρούνται κάποιες κεντρικές τιμές, χωρίς να υπολογίζεται το γεγονός, ότι σημαντικές αποκλίσεις μπορεί να παρατηρηθούν στην πραγματικότητα. Το γεγονός αυτό, όμως, δύναται —στην καλύτερη περίπτωση— να μη δώσει την πλήρη εικόνα στους αποφασίζοντες σχετικά με τις εξεταζόμενες πολιτικές και τις προεκτάσεις τους, και —στη χειρότερη περίπτωση— να δώσει παραπλανητική πληροφορία, η οποία να οδηγήσει σε λανθασμένες αποφάσεις και συνεπακόλουθα σε ανεπιθύμητες συνέπειες, εν σχέσει με τις επιδιώξεις και τους στόχους των χαρασσόντων πολιτικής.

Ακόμη, λαμβάνοντας υπόψιν ότι στην «καρδιά» των ενεργειακών πολιτικών, βρίσκεται η αντισταθμιστικότητα που παρουσιάζουν μεταξύ διαφορετικών πτυχών της ανάλυσης, καθίσταται προφανής η έλλειψη του συγκερασμού όλων των διαστάσεων της ανάλυσης, για την εξαγωγή απτών συμπερασμάτων στις μελέτες, ή στα έγγραφα στρατηγικής, που έχουν εκπονηθεί για την περίπτωση της Ελλάδας. Αυτού του είδους η ανάλυση, θα μπορούσε να συμβάλει στον εντοπισμό των ελκυστικότερων ενεργειακών πολιτικών, με βάση τους σκοπούς των κυβερνόντων την Ελλάδα.

Θα πρέπει να τονιστεί, ότι αυτού τους είδους η ανάλυση, πέρα από το να δώσει σαφή κατεύθυνση στους αποφασίζοντες, σχετικά με το ποιες ενεργειακές πολιτικές πρέπει να προτεραιοποιηθούν, θα μπορούσε να παράσχει και μία ολιστικότερη εικόνα, σχετικά με το συνολικό εύρος των διαστάσεων της ανάλυσης. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να γίνουν ποιο ευκρινείς, η φύση και η ένταση των αντισταθμίσεων που λαμβάνουν χώρα, όπως επίσης οι κίνδυνοι και οι προοπτικές μίας ενεργειακής πολιτικής. Εν γένει, η πολυδιάστατη ανάλυση των ενεργειακών πολιτικών, θα μπορούσε να συμβάλει προς την κατεύθυνση της αναγνώρισης των πραγματικών διλημάτων που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι αποφασίζοντες.

Σε αυτό το πλαίσιο, απαιτείται στα επίσημα έγγραφα της ελληνικής κυβέρνησης να περιλαμβάνεται η διενέργεια αναλύσεων, οι οποίες θα περιγράφουν και παρουσιάζουν την επίδοση των σχεδιαζόμενων ή αναληφθέντων ενεργειακών πολιτικών, επί τη βάσης μίας σειράς αντισταθμιστικών κριτηρίων, τόσο για τις επιλεγόμενες πολιτικές αυτές καθαυτές, όσο και για τις ανταγωνιστικές πολιτικές έναντι των οποίων επιλέχθηκαν.

Τέλος, καθίσταται εμφανές το γεγονός, ότι παρά την ύπαρξη μίας πληθώρας μελετών σχετικά με τις πολιτικές που έχουν αναληφθεί από την ελληνική κυβέρνηση, παρουσιάζεται ένα σημαντικό χάσμα, όσον αφορά τη διενέργεια μελετών οι οποίες εξετάζουν δυνητικές πολιτικές που θα μπορούν να υλοποιηθούν στο δρόμο προς την κλιματική ουδετερότητα. Θα πρέπει να τονιστεί, όμως, ότι η εν λόγω διάσταση των ασκήσεων αξιολόγησης του ενεργειακού σχεδιασμού, αποτελεί ουσιαστικά και την πεμπτούσια τους, δηλαδή το να παράσχουν απτή υποστήριξη και ουσιαστική γνώση στους χαράσσοντες ενεργειακής πολιτικής.

Αυτό λαμβάνει χώρα στις εν λόγω αναλύσεις, καθώς τα αποτελέσματά τους δύναται να εμπνεύσουν τους αποφασίζοντες και να τους οδηγήσουν στη χάραξη των κατάλληλων ενεργειακών πολιτικών. Σε αυτό το πλαίσιο, καίριας σημασίας θα μπορούσαν να αποτελέσουν ασκήσεις αναφορικά με την εξέταση των προεκτάσεων της διεύθυνσης του πράσινου υδρογόνου στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα και την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο από τη σκοπιά της εφικτότητάς τους και των χρηματοδοτικών αναγκών τους, όσο και σχετικά με το συνολικό αντίκτυπό τους στην ευρύτερη οικονομία και στην κοινωνία.



#### 4.1.4 Ανάλυση Ερευνητικού Χάσματος και Αναγνώριση Διλημάτων Πολιτικής

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω αναφορικά με την περίπτωση της μετάβασης του ενεργειακού συστήματος της Ελλάδας, η παρούσα διδακτορική διατριβή σκοπεύει να κυμανθεί πάνω σε αυτές τις κατευθύνσεις, καλύπτοντας τα εντοπισθέντα ερευνητικά χάσματα. Πιο συγκεκριμένα, στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι να απαντήσει —ανά περίπτωση— στα ερευνητικά ερωτήματα που εκπηγάζονται από την παραπάνω ανάλυση ερευνητικού χάσματος και τα οποία θα αναλυθούν εκτενώς παρακάτω στην παρούσα ενότητα.

Αρχικά, ένα καίριο ερώτημα το οποίο τίθεται αναφορικά με την απανθρακοποίηση του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος της Ελλάδας, είναι αυτό της κατάλληλης έντασης και ταχύτητας με την οποία πρέπει να πραγματοποιηθεί, με σκοπό εκτός από την επίτευξη των τεθέντων ενεργειακών στόχων, την επίτευξη μίας ευρείας γκάμας στόχων, όπως η μεγέθυνση της οικονομίας και αντιμετώπιση των δομικών αδυναμιών της. Οπότε, σε αυτό το πλαίσιο, το πρώτο ερευνητικό ερώτημα το οποίο τίθεται διαμορφώνεται ως εξής:

- *Ποια είναι η κατάλληλη ένταση με την οποία πρέπει να πραγματοποιηθεί η ανάπτυξη της καθαρής εγχώριας ηλεκτροπαραγωγής επί της βάσης μίας ευρείας γκάμας αντισταθμιστικών κριτηρίων;*

Το εν λόγω ερευνητικό ερώτημα περιλαμβάνει μία σειρά από επιμέρους ερωτήσεις, οι οποίες μπορούν να εκφραστούν ως εξής:

- *Ποια είναι η κατάλληλη ταχύτητα με την οποία πρέπει να αποσυρθούν από την ηλεκτροπαραγωγή, οι τεχνολογίες που στηρίζονται στη χρήση άνθρακα;*
- *Ποια είναι η κατάλληλη ταχύτητα με την οποία πρέπει να εισέλθουν στην ηλεκτροπαραγωγή, νέα καθαρά καύσιμα, όπως το πράσινο υδρογόνο;*

Το συγκριμένο επίπεδο ερωτήσεων εμπεριέχει ένα έτερο επίπεδο ερωτήσεων —το οποίο παρουσιάζει ένα υψηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας— οι οποίες μπορούν να διαρθρωθούν ως εξής:

- *Ποιες είναι οι απαιτήσεις σε επενδύσεις κεφαλαίου, ανά χρονιά και τεχνολογία;*
- *Πως μεταβάλλεται το σταθερό και μεταβλητό κόστος του συστήματος, ανά χρονιά και τεχνολογία;*
- *Ποια είναι το βέλτιστο επίπεδο διείσδυσης κάθε διαθέσιμης ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας στο σύστημα, ανά χρονιά και τεχνολογία;*
- *Πότε πρέπει να αποσυρθεί κάθε τεχνολογία ορυκτών καυσίμων από το σύστημα;*
- *Πότε πρέπει να εισέλθουν νέες καθαρές τεχνολογίες και με τι ένταση;*

- *Ποιο είναι το ύψος της ευρωστίας κάθε εξεταζόμενης πολιτικής απέναντι στην αβεβαιότητα, αναφορικά με τη μελλοντική εξέλιξη των βασικών παραμέτρων του ενεργειακού συστήματος;*
- *Πως μεταβάλλεται το συνολικό κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας;*
- *Ποιος είναι ο αντίκτυπος κάθε ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής, στην ευρύτερη οικονομία και στο επίπεδο διαβίωσης των πολιτών;*
- *Ποιος είναι το αποτύπωμα κάθε ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής, στους επιμέρους τομείς της οικονομίας, στα δομικά της χαρακτηριστικά και στην «εξωστρέφειά» της;*

Για την απάντηση των ανωτέρω ερωτημάτων πολιτικής, καθίσταται σαφές ότι θα πρέπει να εισέλθουν στην ανάλυση επιπλέον διαστάσεις, πλέον αυτών που έχουν χρησιμοποιηθεί σε ασκήσεις αξιολόγησης του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού της Ελλάδας, όπως αυτή της «ταχύτητας δράσης», η οποία μπορεί να εξεταστεί μέσω της ενσωμάτωσης στην ανάλυση διαφόρων σεναρίων διαφορετικής ταχύτητας δράσης, παραδείγματος χάριν διαφορετικής ταχύτητας «απολιγνιτοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής ή διεύθυνσης νέων καυσίμων σε αυτή.

Επίσης, καίριας σημασίας για την κάλυψη των ανωτέρω ερωτήσεων, αποτελεί η αξιολόγηση αυτών των σεναρίων, επί της βάσης μίας σειράς αντισταθμιστικών και πολύπλευρων κριτηρίων, τα οποία θα καλύπτουν όλο το εύρος των διαστάσεων στις οποίες εκτείνεται η εμβέλεια ενός ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής. Με βάση αυτά τα σενάρια και τη χρήση των κατάλληλων πολυκριτήριων μεθόδων που θα τα συγκεράσουν, δύναται να αναγνωρισθούν τα σενάρια συμβιβασμού, υπό την έννοια ότι θα επιφέρουν το μικρότερο κόστος ή δυσαρέσκεια στους αποφασίζοντες —σε σχέση με τις ανταγωνιστικές πολιτικές— και έναν ικανοποιητικό βαθμό ευρωστίας απέναντι στον κίνδυνο, παρά θα επιτυγχάνουν την καλύτερη επίδοση σε όλες τις διαστάσεις της ανάλυσης.

Ακόμη, καίριας σημασίας για την εξαγωγή της απαραίτητης πληροφορίας, αποτελεί η χρήση διαφορετικών και συμπληρωματικών μοντέλων στην ανάλυση, για την κάλυψη τόσο των τεχνολογικών λεπτομερειών του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, όσο και για την ποσοτικοποίηση των επιδράσεών τους σε ολόκληρη την οικονομία και στους κύριους εκπροσώπους και τομείς στους οποίους συνίσταται. Επίσης, δεδομένης της εξάρτησης των μοντέλων αξιολόγησης ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού στις τιμές των παραμέτρων που ορίζονται σε αυτά, είτε αυτές περιγράφουν βασικές διαστάσεις του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, είτε τη συμπεριφορά των εκπροσώπων μίας δεδομένης οικονομίας σε αλλαγές στις οποίες υπόκειται, θα πρέπει να

υπολογίζονται η επίδρασή τους στα αποτελέσματα και το πως μπορεί να τα επηρεάσει η μεταβλητότητά τους.

Ακόμη, δεδομένου του γεγονότος ότι το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο θα πρέπει να προσαρμόζεται και ρυθμίζεται κατάλληλα στις απαιτήσεις και ανάγκες των εμπλεκόμενων, καίριας σημασίας αποτελεί η ρύθμιση των χρησιμοποιούμενων μοντέλων, κατά τρόπο που απεικονίζει αποδοτικά την ιδιοσυγκρασία τους και τις ανάγκες τους. Επίσης, στο ίδιο πλαίσιο, καίριας σημασίας είναι η διάθεση και η διαφανή περιγραφή των δεδομένων και υποθέσεων που λαμβάνουν χώρα κατά την εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου, όπως επίσης και η συνεκτική ερμηνεία και οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων που εξάγονται από αυτό, κάτι που θα καταστήσει τους εμπλεκόμενους, από παθητικούς δέκτες πληροφοριών, σε ενεργούς συνδαιτημόνες και συνδιαμορφωτές των σχεδιαζόμενων πολιτικών.

## 4.2 Μακροοικονομικές Επιπτώσεις μίας Ταχείας «Απολιγνιτοποίησης» της Ηλεκτροπαραγωγής

### 4.2.1 Σενάρια

Στην εν λόγω εφαρμογή, επιχειρείται να εξεταστεί το μακροοικονομικό αποτύπωμα μίας ταχείας «απολιγνιτοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής, για την περίπτωση της Ελλάδας. Για το σκοπό αυτό, λαμβάνονται υπόψιν δύο σενάρια, καθένα από τα οποία θεωρεί μία διαφορετική ταχύτητα με την οποία η εγχώρια ηλεκτροπαραγωγή «απαγκιστρώνεται» ολοκληρωτικά από τη χρήση του λιγνίτη. Τα δύο αυτά σενάρια, αντιστοιχούν στην αρχική και στην τελική έκδοση του ΕΣΕΚ της ελληνικής κυβέρνησης, αντίστοιχα. Οπότε, με βάση τα σενάρια που λαμβάνονται υπόψιν, επιχειρείται μία χαρτογράφηση μεταξύ δυνητικών μελλοντικών καταστάσεων της ελληνικής οικονομίας και δεδομένων επιλογών πολιτικής ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού για την ελληνική κυβέρνηση στο σήμερα.

Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης, το σενάριο που αντιστοιχεί στην αρχική έκδοση του ΕΣΕΚ, θα αποκαλείται εφεξής ως σενάριο «*ήπιας απολιγνιτοποίησης*», ενώ το έτερο σενάριο, το οποίο αντιστοιχεί στην τελική έκδοση του ΕΣΕΚ, ως σενάριο «*απότομης απολιγνιτοποίησης*». Με βάση τη χρήση αυτών των σεναρίων, τα οποία προβλέπουν μία διαφορετική ταχύτητα απόσυρσης του λιγνίτη από την ηλεκτροπαραγωγή, καθίσταται εφικτή η αξιολόγηση του μακροοικονομικού αποτυπώματος μίας ταχύτερης «απολιγνιτοποίησης», ενώ θα πρέπει να τονιστεί ότι ο χρονικός ορίζοντας της ανάλυσης εκτείνεται κατά μήκος της περιόδου 2020-2030.

Ο **Πίνακας 5** που παρουσιάστηκε στην **Ενότητα 4.1.1**, συνοψίζει τους κύριους ποσοτικούς στόχους που προβλέπονται από το καθένα από αυτά τα σενάρια, καθώς και τη σύγκριση αυτών των στόχων με τους αντίστοιχους Ευρωπαϊκούς στόχους, με σκοπό την κατάδειξη του επιπέδου φιλοδοξίας τους. Αυτοί οι στόχοι, αναφέρονται στο ποσοστό συμμετοχής τεχνολογιών ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική ζήτηση ενέργειας και ηλεκτρισμού, στην τελική ενεργειακή κατανάλωση, στο μερίδιο συμμετοχής του λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή, και στις μειώσεις εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Όπως μπορεί να διαφανεί από αυτούς τους στόχους, η ελληνική κυβέρνηση στοχεύει σε μία σημαντική αναδόμηση του ενεργειακού τομέα, συμπεριλαμβανομένης της ταχύτερης «απολιγνιτοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής από τη χρονική σκοπιά του 2030, και την κλιματική ουδετερότητα από τη χρονική σκοπιά του 2050.

Για την εκπόνηση των δύο αυτών σεναρίων και την αξιολόγηση της εξέλιξης του ελληνικού ενεργειακού συστήματος στην περίπτωση επίτευξης των τεθέντων στόχων, χρησιμοποιήθηκαν δύο ενεργειακά μοντέλα, με βάση τα οποία αποτυπώνεται το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν το ενεργειακό μοντέλο TIMES-Ελλάδας, το οποίο έχει αναπτυχθεί από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, και το ενεργειακό μοντέλο Primes, το οποίο έχει

αναπτυχθεί από το εργαστήριο Υποδειγμάτων Ενέργειας-Οικονομίας-Περιβάλλοντος του ΕΜΠ. Και τα δύο αυτά μοντέλα, ακολουθούν μία προσέγγιση «από τη βάση προς την κορυφή», ενσωματώνοντας τις τεχνολογικές ιδιαιτερότητες και λεπτομέρειες του ελληνικού ενεργειακού συστήματος. Ωστόσο, παρουσιάζουν κάποιες διαφορές στον τρόπο που υπολογίζουν τα αποτελέσματά τους, οι οποίες παρουσιάστηκαν αναλυτικά μαζί με τον τρόπο λειτουργίας τους, στην **Ενότητα 2.1.1.1**.

Τα εν λόγω μοντέλα, για να παράξουν τα αποτελέσματά τους, πραγματοποιούν κάποιες υποθέσεις σχετικά με την οικονομική δραστηριότητα ανά τομέα της οικονομίας, τον αριθμό των νοικοκυριών κλπ. (ΗΜΕΕ, 2019α). Εξ' αυτών των υποθέσεων, ο **Πίνακας 8** παρουσιάζει τις μακροοικονομικές και δημογραφικές παραμέτρους που ελήφθησαν υπόψιν στο πλαίσιο του τελικού ΕΣΕΚ, και οι οποίες — για λόγους ομοιογένειας— λαμβάνονται υπόψιν και στο πλαίσιο εκτέλεσης της παρούσας ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι προβλέψεις αναφέρονται στην εξέλιξη του ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας και την εξέλιξη του ελληνικού πληθυσμού, κατά την περίοδο 2020-2030. Αυτές οι προβλέψεις παρήχθησαν, αρχικά, από το Ελληνικό Υπουργείο Οικονομικών και —αν και παρουσιάζεται κάποια απόκλιση μεταξύ των προβλέψεων που θεωρήθηκαν σε κάθε έκδοση του ΕΣΕΚ— σε αυτή τη μελέτη λαμβάνονται υπόψιν οι προβλέψεις που θεωρήθηκαν από την τελική έκδοση του ΕΣΕΚ και για τα δύο σενάρια.

Αυτό συμβαίνει, με σκοπό να εξασφαλισθεί η συγκρισιμότητα των δύο εξεταζόμενων σεναρίων και —συνεπακόλουθα— η εξαγωγή καίριων συμπερασμάτων, σχετικά με τις προεκτάσεις μίας ταχείας «απανθρακοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής. Επιπλέον, ο **Πίνακας 8** παρουσιάζει την εξέλιξη της εγχώριας ακαθάριστης ενεργειακής κατανάλωσης της Ελλάδας, όπως επίσης και της ενεργειακής έντασης, οι οποίες προέκυψαν με βάση τα δεδομένα εισόδου αναφορικά με την εξέλιξη του ΑΕΠ και του πληθυσμού της Ελλάδας.

Πιο συγκεκριμένα, για την περίπτωση του σεναρίου «*απότομης απολιγνιτοποίησης*», τα αποτελέσματα αντιστοιχούν στο μέσο όρο των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από τα ενεργειακά μοντέλα TIMES-Ελλάδας και Primes, ενώ στην περίπτωση του σεναρίου «*ήπιας απολιγνιτοποίησης*», τα αντίστοιχα αποτελέσματα υπολογίζονται με αναλογικό τρόπο, σε σχέση με το σενάριο «*απότομης απολιγνιτοποίησης*» και με βάση τη μεταβλητή της εγχώριας ενεργειακής κατανάλωσης (ΗΜΕΕ, 2019α). Τα εν λόγω αποτελέσματα, παρέσχηκαν σαν δεδομένα εισόδου στο μακροοικονομικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη. Οπότε, με βάση τον εν λόγω σχεδιασμό της ανάλυσης, μπορεί να αναφερθεί ότι πραγματοποιήθηκε μία «χαλαρή σύνδεση» (“soft-link”) μεταξύ του χρησιμοποιούμενου μακροοικονομικού μοντέλου της ανάλυσης, με τα ενεργειακά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την προετοιμασία των δύο εκδόσεων του ΕΣΕΚ της ελληνικής κυβέρνησης.

**Πίνακας 8:** Κύρια αποτελέσματα των ενεργειακών μοντέλων TIMES-Ελλάδας και Primes για το ελληνικό ενεργειακό σύστημα την περίοδο 2020-2030, και οι κύριες μακροοικονομικές και δημογραφικές προβλέψεις που λήφθηκαν υπόψιν.

Χρονιά	Αποτελέσματα				Δεδομένα Εισόδου	
	Ένταση Ενέργειας (τόνος ισοδύναμου πετρελαίου/ εκατ. €)		ΑΕΚ* (τόνος ισοδύναμου πετρελαίου)		ΑΕΠ (εκατ. €)	Πληθυσμός (εκατ. άνθρωποι)
	Αρχικό ΕΣΕΚ	Τελικό ΕΣΕΚ	Αρχικό ΕΣΕΚ	Τελικό ΕΣΕΚ		
2020	0.12	0.12	23,442.94	23,442.94	200,082	10.691
2025	0.10	0.10	21,246.34	22,149.48	221,662	10.538
2030	0.09	0.08	21,429.67	20,657.10	244,733	10.368

\* ΑΕΚ: Ακαθάριστη Ενεργειακή Κατανάλωση

Ο παραπάνω πίνακας, υποδεικνύει ότι η ενεργειακή ένταση της ελληνικής οικονομίας, αναμένεται να μειωθεί σε σημαντικό βαθμό μέχρι το 2030, όντας μεταξύ του 25% και 33% μειωμένη σε σχέση με το επίπεδο ενεργειακής έντασης του 2020, για τις περιπτώσεις του σεναρίου «ήπιας» και «απότομης απολιγνιτοποίησης», αντίστοιχα. Παρομοίως, η ακαθάριστη ενεργειακή κατανάλωση, αναμένεται να μειωθεί κατά περίπου 9% και 12% στο σενάριο «ήπιας» και «απότομης απολιγνιτοποίησης», αντίστοιχα. Στον αντίποδα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός, ότι παρά τα παραπάνω στοιχεία, το ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας αναμένεται να αυξηθεί περισσότερο από 22% κατά την ίδια περίοδο, υποδεικνύοντας ότι η υλοποίησης πολιτικών «απανθρακοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής, μπορούν να υλοποιηθούν σε αρμονία με την ανάπτυξη της οικονομίας. Ωστόσο, για την επίτευξη των τεθέντων στόχων, απαιτούνται επενδύσεις υψηλής κλίμακας, με σκοπό μεταξύ άλλων, την αύξηση της ισχύος των τεχνολογιών ΑΠΕ και την ανανέωση του κτιριακού αποθέματος.

Πιο συγκεκριμένα, εκτιμάται ότι περίπου 43.8 και 34.7 δισεκατομμύρια €, θα απαιτούνταν για την επιτυχή υλοποίηση των σεναρίων «απότομης απολιγνιτοποίησης» και του «ήπιας απολιγνιτοποίησης», αντίστοιχα. Ένα μεγάλο μέρος από αυτό το ποσό, και πιο συγκεκριμένα τα 19.14 δισεκατομμύρια €, αναμένεται να καλυφθούν από κεφάλαια της ΕΕ, και μάλιστα ένα σημαντικό μέρος με τη μορφή επιχορήγησης. Οπότε, η πραγματοποίηση του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης», περιλαμβάνει έναν υψηλότερο κίνδυνο σε όρους επενδυτικών αναγκών, σε σύγκριση με το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης». Ωστόσο, το χρηματοοικονομικό «μαξιλάρι» της ΕΕ, η οποία θα κάλυπτε περίπου το 44% και 55% των επενδυτικών αναγκών του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης» και «ήπιας απολιγνιτοποίησης», αντίστοιχα, αμβλύνει σε σημαντικό βαθμό τον σχετικό κίνδυνο. Είναι άξιο αναφοράς, ότι σε καμία από τις εκδόσεις του ΕΣΕΚ της ελληνικής κυβέρνησης, δεν προσδιορίζεται με ακρίβεια η διακριτοποίηση των απαιτούμενων κεφαλαίων σε

ιδιωτικά και δημόσια. Ως συνέπεια, απαιτείται περισσότερη αιτιολόγηση και ανάλυση, για να βγουν ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με τις χρηματοδοτικές προκλήσεις κάθε σεναρίου.

#### 4.2.2 Μοντέλα

Όπως αναφέρθηκε και αιτιολογήθηκε ενδελεχώς στην [Ενότητα 3.6](#), το μακροοικονομικό μοντέλο που χρησιμοποιείται με σκοπό την ποσοτικοποίηση των μακροοικονομικών και κοινωνικών επιδράσεων ταχέων «απολιγνιτοποιήσεων» της ηλεκτροπαραγωγής, αποτελείται από την τυπική έκδοση του μακροοικονομικού μοντέλου GTAP (Hertel, 1996). Το εν λόγω μοντέλο, είναι στατικό, παγκόσμιο, και «γενικής ισορροπίας», και, ως εκ τούτου, προσομοιώνει πολλαπλούς τομείς της εξεταζόμενης οικονομίας, όπως επίσης και την παγκόσμια οικονομία. Για τους σκοπούς της παρούσας ανάλυσης, η οποία εστιάζει στην ελληνική οικονομία, αναπτύσσεται και χρησιμοποιείται το **GTAP-Ελλάδας**, το οποίο παρουσιάζει μία εστίαση στην ελληνική οικονομία.

Δεδομένου ότι έχουν χρησιμοποιηθεί δύο «από τη βάση προς την κορυφή» μοντέλα βελτιστοποίησης του ενεργειακού σχεδιασμού, στο πλαίσιο των δύο εκδόσεων του ΕΣΕΚ της ελληνικής κυβέρνησης, στη συγκεκριμένη ανάλυση, υλοποιούνται τα βήματα της μεθοδολογίας που περιγράφησαν στις [Ενότητες 3.6](#) και [3.7](#) και [3.8](#), αποκλείοντας από την ανάλυση την επισκόπηση των τεχνολογικών διαστάσεων και λεπτομερειών του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα. Δηλαδή, τα βήματα της μεθοδολογίας που υλοποιούνται σε αυτή την ανάλυση, σχετίζονται με την αποδοτική διασύνδεση μοντέλων βελτιστοποίησης του ενεργειακού προγραμματισμού με μακροοικονομικά μοντέλα «γενικής ισορροπίας», την προσομοίωση των «διαταραχών» ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών σε ολόκληρη την οικονομία, μέσω της χρήσης μακροοικονομικών μοντέλων «γενικής ισορροπίας», και τη διαχείριση της παραμετρικής αβεβαιότητας μοντέλων «γενικής ισορροπίας».

Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι λόγω του γεγονότος ότι οι «διαταραχές» ενδιαφέροντος στην παρούσα ανάλυση παρουσιάζουν μία σχεδόν γραμμική επίδραση στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα κατά την περίοδο 2020-2030, και πιο συγκεκριμένα μεταξύ των περιόδων 2020-2025 και 2026-2030, η στατική «φύση» του μακροοικονομικού μοντέλου GTAP, δεν υποβαθμίζει την αντιπροσωπευτικότητα των αποτελεσμάτων του, κατά τη διάρκεια του χρόνου.

Όπως αναφέρθηκε και στην παραπάνω ενότητα, το μακροοικονομικό μοντέλο GTAP συνδέεται «χαλαρά», με τα ενεργειακά μοντέλα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των δύο σεναρίων «απολιγνιτοποίησης» της ελληνικής ηλεκτροπαραγωγής, ήτοι οι «διαταραχές» ενδιαφέροντος εκπορεύονται από τα αποτελέσματα των δύο ενεργειακών μοντέλων. Οι εν λόγω «διαταραχές», αποτελούν την επίδραση των μέτρων πολιτικής που περιγράφονται στην αρχική και τελική έκδοση του ΕΣΕΚ της Ελλάδας, με γνώμονα την επίτευξη των αντίστοιχων ενεργειακών στόχων το 2030. Ακόμη, το μακροοικονομικό μοντέλο GTAP ρυθμίζεται κατάλληλα στο έτος βάση 2020, μέσω της χρησιμοποίησης των μακροοικονομικών και δημογραφικών προβλέψεων που παρέσχikan

αρχικά στα ενεργειακά μοντέλα TIMES και Primes. Κατ' αυτό τον τρόπο, εξασφαλίζεται ένα «εναρμονισμένο» σημείο εκκίνησης, μεταξύ του μακροοικονομικού μοντέλου της ανάλυσης και των ενεργειακών μοντέλων βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν για την προετοιμασία των εξεταζόμενων σεναρίων, κάτι το οποίο δημιουργεί συνθήκες ευρωστίας για την ανάλυση που διενεργείται.

Επίσης, το μακροοικονομικό μοντέλο GTAP, με σκοπό την αποτύπωση της ελληνικής οικονομίας, που είναι και αυτή που εξετάζεται στην παρούσα ανάλυση, αντλεί τα δεδομένα του από την τελευταία έκδοση της βάσης δεδομένων GTAP (έκδοση 11; Aguiar et al., 2019, 2016). Πιο συγκεκριμένα, από την εν λόγω βάση εξάγεται ο ΠΚΛ της ελληνικής οικονομίας για το έτος αναφοράς 2017. Η εν λόγω βάση δεδομένων, εμπεριέχει τα δεδομένα για τις οικονομίες 142 γεωγραφικών περιοχών, οι οποίες μπορούν να αποτελούν είτε αυτόνομα κράτη, είτε μία ομαδοποίηση επιμέρους κρατών με κοινά χαρακτηριστικά (π.χ. γεωγραφική εντοπιότητα). Για τους σκοπούς της παρούσας ανάλυσης, αυτές οι περιοχές, κατηγοριοποιήθηκαν σε 2 γεωγραφικούς συνασπισμούς. Ο πρώτος αποτελείται από την Ελλάδα, η οποία είναι η περιοχή ενδιαφέροντος στο πλαίσιο αυτής της ανάλυσης, ενώ οι υπόλοιπες περιοχές αποτέλεσαν το γεωγραφικό συνασπισμό "Υπόλοιπο του κόσμου". Επιπλέον, η συγκεκριμένη βάση δεδομένων περιέχει 65 οικονομικούς τομείς, οι οποίοι συνασπίστηκαν σε 19 κύριους τομείς, με τον ενεργειακό τομέα να αποτελεί έναν αυτοτελή τομέα.

Οπότε, με βάση αυτό το χειρισμό της βάσης, κατέστη δυνατή η επικοινωνία και η ανταλλαγή πληροφοριών, μεταξύ των ενεργειακών μοντέλων TIMES-Ελλάδας και Primes, με το μακροοικονομικό μοντέλο GTAP. Τέλος, η βάση δεδομένων GTAP, εμπεριέχει πέντε κύριους συντελεστές παραγωγής, συγκεκριμένα τη γη, την ανειδίκευτη και εξειδικευμένη εργασία, το κεφάλαιο και τους φυσικούς πόρους. Το κεφάλαιο και η εργασία θεωρούνται ως «τέλεια κινητοί» ("*perfectly mobile*"), δηλαδή ότι μπορούν να μετακινηθούν πλήρως από έναν τομέα σε έναν άλλο, μέχρι να αμείβονται ισομερώς από τον κάθε τομέα. Στο αντίποδα, οι φυσικοί πόροι θεωρούνται ως «ακινητοποιημένοι» ("*immobile*"), ή χαρακτηριστικοί των τομέων ("*sector specific*"), δηλαδή δεν μπορούν να μετακινηθούν από έναν τομέα σε έναν άλλο. Τέλος, η γη παρουσιάζει μία μερική κινητικότητα, δηλαδή η μετάβαση από ένα τομέα σε έναν άλλο αποθαρρύνεται, λόγω του ότι απαιτούνται κόστη μετάβασης. Η ακολουθούμενη δομή κινητικότητας αναφορικά με τους συντελεστές παραγωγής, υιοθετήθηκε λόγω του ότι αναπαριστά περισσότερο ρεαλιστικά την πραγματικότητα, για τους χρονικούς ορίζοντες που αναφέρεται η παρούσα ανάλυση (Narayanan et al., 2008), ήτοι ορίζοντες 5-ετίας και 10-ετίας.

Επιπρόσθετα, το έτος αναφοράς των δεδομένων της Ελληνικής οικονομίας, ανανεώθηκε από το 2017, όπως αρχικά παράσχησαν τα δεδομένα από τη βάση δεδομένων GTAP, στο 2020. Για να επιτευχθεί αυτό, οι χρηματικές ροές της ελληνικής οικονομίας, πολλαπλασιάστηκαν με έναν συντελεστή προσαύξησης, ο οποίος ανέρχονταν στο επίπεδο του 1.07 και αντιστοιχούσε στην αύξηση



του ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας (εκπεφρασμένο σε σταθερές τιμές του έτους 2010) κατά την περίοδο 2017-2020. Όσον αφορά τις μικροοικονομικές παραμέτρους της βάσης δεδομένων, όπως τα μερίδια κάθε τομέα της ελληνικής οικονομίας στην παραγωγή και στις εισαγωγές, δεν πραγματοποιήθηκε κάποια αλλαγή, εξαιτίας της έλλειψης της αντίστοιχης πληροφορίας.

Από την άλλη μεριά, όμως, οι παράμετροι ελαστικότητας του μοντέλου τροποποιήθηκαν, με σκοπό την αποδοτικότερη αποτύπωση της ελληνικής οικονομίας από το χρησιμοποιούμενο μοντέλο, όπως την αποδοτικότερη αποτύπωση των αλλαγών στις εμπορικές συναλλαγές [Hertel, 1996; Κεφάλαιο 4]. Πιο συγκεκριμένα, οι αρχικές παράμετροι ελαστικότητας του μοντέλου, όπως αυτές ανακτήθηκαν από τη βάση δεδομένων GTAP, προσαυξήθηκαν κατά 10% και 20% για τις προσομοιώσεις με χρονικό ορίζοντα 5-ετίας και 10-ετίας που έλαβαν χώρα στην ανάλυση, αντίστοιχα. Το ύψος των απαραίτητων αλλαγών που έλαβαν χώρα, εντοπίστηκε μέσω της διενέργειας μίας σειράς ασκήσεων “backcasting” και επιλέγοντας κατάλληλα μέτρα ποσοτικοποίησης των σφαλμάτων, όσον αφορά τις διαφορές μεταξύ των πραγματικών δεδομένων της ελληνικής οικονομίας και των αποτελεσμάτων που παρήχθησαν από το μακροοικονομικό μοντέλο GTAP (Koutsandreas et al., 2021b).

Οι προσομοιώσεις που έλαβαν χώρα, πραγματοποιήθηκαν σε δύο στάδια, το καθένα από τα οποία αναφέρονταν σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ήτοι την περίοδο 2020-2025 ή την περίοδο 2020-2030. Με βάση αυτή την πειραματική σχεδίαση, κατέστη δυνατή η εξέταση της επίδρασης των σεναρίων ενδιαφέροντος, τόσο σε βραχυπρόθεσμο, όσο και σε μεσοπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα. Ως εκ τούτου, κατέστη δυνατή η αναγνώριση του «μονοπατιού» μέσω του οποίου η ελληνική οικονομία αναμένεται να διέλθει, με απώτερο σκοπό την επίτευξη των τεθέντων ενεργειακών στόχων για το 2030.

Επιπλέον, όπως περιγράφηκε αναλυτικά και στην **Ενότητα 3.6.2**, κάθε στάδιο αποτελείται από τρεις προσομοιώσεις. Με τις δύο πρώτες προσομοιώσεις, κατασκευάζεται το βασικό σενάριο αναφοράς (“bau”), το οποίο απεικονίζει πως αναμένεται να εξελιχθεί η ελληνική οικονομία κατά την περίοδο 2020–2030, με βάση τις προβλέψεις που έχουν πραγματοποιηθεί όσον αφορά την εξέλιξη των κύριων μακροοικονομικών και δημογραφικών μεγεθών της (ΑΕΠ, πληθυσμός, και διάθεση συντελεστών παραγωγής), η οποία παρουσιάστηκε στον **Πίνακα 8**.

Όσον αφορά τον υπολογισμό των συντελεστών παραγωγής, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία που περιγράφηκε στην **Ενότητα 3.6.2**, ενώ τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, ανά περίπτωση, είναι τα ακόλουθα:

- **Ρυθμός Ανάπτυξης ΑΕΠ:** τα δεδομένα αντλήθηκαν από το ελληνικό Υπουργείο Οικονομικών και από τον ΟΟΣΑ (OECD and Staff, 2001), για την Ελλάδα και το «Υπόλοιπο του Κόσμου», αντίστοιχα.

- **Ρυθμός Ανάπτυξης Πληθυσμού:** τα δεδομένα αντλήθηκαν από το Ελληνικό Υπουργείο Οικονομικών και από και από το 2<sup>ο</sup> Διαμοιρασμένο Κοινωνικοοικονομικό Μονοπάτι (Gidden et al., 2019; Riahi et al., 2017; Rogelj et al., 2018), για την Ελλάδα και το «Υπόλοιπο του Κόσμου», αντίστοιχα.
- **Εξέλιξη Συντελεστών Παραγωγής:** τα δεδομένα αντλήθηκαν από το 2<sup>ο</sup> Διαμοιρασμένο Κοινωνικοοικονομικό Μονοπάτι του «Παγκόσμιου Ινστιτούτου για Εφαρμοσμένη Ανάλυση Συστημάτων» (Gidden et al., 2019; Riahi et al., 2017; Rogelj et al., 2018), τόσο για την Ελλάδα, όσο και για το «Υπόλοιπο του Κόσμου».
- **Ρυθμός ανάπτυξης κεφαλαίου:** τα δεδομένα αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων GTAP, όσον αφορά το συντελεστή απόσβεσης για την Ελλάδα και το «Υπόλοιπο του Κόσμου» (4%), και από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (ELSTAT, 2022) και την Παγκόσμια Τράπεζα (World Bank, 2022), όσον αφορά τις ακαθάριστες επενδύσεις παγίου κεφαλαίου για την Ελλάδα και το «Υπόλοιπο του Κόσμου». Αναφορικά με τις μελλοντικές τιμές των ακαθάριστων επενδύσεων παγίου κεφαλαίου, για τις οποίες υπήρχε ένδεια δεδομένων, πραγματοποιήθηκε πρόβλεψη, μέσω ενός μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης που συσχέτιζε τις ακαθάριστες επενδύσεις παγίου κεφαλαίου με το ΑΕΠ, τόσο για την Ελλάδα, όσο και για το «Υπόλοιπο του Κόσμου».

Οι απαιτούμενες «διαταραχές» στην οικονομία που προέκυψαν από την παραπάνω προσέγγιση, για την κατασκευή του βασικού σεναρίου αναφοράς, απεικονίζονται στον [Πίνακα 9](#).

*Πίνακας 9: «Διαταραχές» στην οικονομία που εφαρμόστηκαν στο μοντέλο GTAP-Ελλάδας, για την κατασκευή του βασικού σεναρίου αναφοράς, για την Ελλάδα και το «Υπόλοιπο του Κόσμου», κατά τις περιόδους 2020–2025 και 2020–2030.*

Μεταβλητές	Ρυθμοί Μεταβολής (%)			
	Ελλάδα		Υπόλοιπο του Κόσμου	
	2020–2025	2020–2030	2020–2025	2020–2030
ΑΕΠ	+10.79	+22.32	+16.19	+33.42
Πληθυσμός	-1.43	-3.02	+4.48	+8.55
Εργατικό Δυναμικό	-2.08	-4.37	+4.43	+8.05
Κεφάλαιο	-4.78	-5.59	+15.22	+32.76

Η τρίτη προσομοίωση, δημιουργεί το «αντιπραγματικό» (“counterfactual”) σενάριο της ανάλυσης, το οποίο απεικονίζει την εξέλιξη της ελληνικής οικονομίας, για την περίπτωση που τα μέτρα πολιτικής που προβλέπονται από τα δύο σενάρια «απολιγνιτοποίησης», ετίθεντο σε εφαρμογή. Για την κατασκευή των εξεταζόμενων σεναρίων, «απότομης απολιγνιτοποίησης» και «ήπιας απολιγνιτοποίησης», χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις των ενεργειακών μοντέλων που υποστήριξαν την κάθε έκδοση του ΕΣΕΚ της ελληνικής κυβέρνησης.

Πιο συγκεκριμένα, οι «διαταραχές» ενδιαφέροντος μοντελοποιούνται μέσω μίας ομοιόμορφης μείωσης της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης της Ελλάδας και μίας αύξησης των συνολικών επενδύσεων που κατευθύνονται στην Ελληνική οικονομία. Η ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση, αντιπροσωπεύει την ποσότητα ενέργειας που είναι απαραίτητη για την ικανοποίηση της εγχώριας κατανάλωσης της εξεταζόμενης γεωγραφικής οντότητας, και υπολογίζεται σαν το άθροισμα της κύριας ενεργειακής κατανάλωσης (“primary energy consumption”) και των καθαρών εισαγωγών (“net energy imports”). Όσον αφορά τις καθαρές εισαγωγές, υπολογίζονται σαν η διαφορά των εξαγωγών από τις εισαγωγές, συν τα επαναχρησιμοποιούμενα προϊόντα και οι μεταβολές στα αποθέματα (Eurostat, 2022).

Κατ’ αυτό τον τρόπο, η κύρια ενεργειακή παραγωγή και οι εισαγωγές της Ελλάδας «διαταράσσονται» (μειώνονται), κατά το ρυθμό που μειώνεται η ακαθάριστη ενεργειακή κατανάλωση σε κάθε ένα σενάριο «απολιγνιτοποίησης» που λαμβάνεται υπόψιν στην παρούσα μελέτη. Στον αντίποδα, οι ενεργειακές εξαγωγές της Ελλάδας, αυξάνονται κατά το ίδιο ποσοστό. Θα πρέπει να τονιστεί οι μεταβολές των ενεργειακών αποθεμάτων και τα επαναχρησιμοποιούμενα προϊόντα δεν περιλαμβάνονται στον ΠΚΛ της Ελλάδας, και άρα δεν λαμβάνονται υπόψιν στην παρούσα ανάλυση.

Επιπλέον, δεδομένου ότι οι επενδύσεις της ελληνικής οικονομίας το 2020 θεωρούνται ότι ανέρχονται στο ύψος των 28.73 δισεκατομμύρια €, βάσει του ΠΚΛ της Ελλάδας, οι συνολικές επενδύσεις που κατευθύνονται προς την ελληνική οικονομία, «διαταράσσονται» μέσω μίας αύξησής τους στο ύψος του 73% και 152%, κατά τη διάρκεια των περιόδων 2020–2025 and 2020–2030, αντίστοιχα, για το σενάριο «απότομης απολιγνιτοποίησης». Στον αντίποδα, για το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης», τα αντίστοιχα ποσοστά αύξησης κυμαίνονται στα επίπεδα του 57% και 121%, κατά τη διάρκεια των ίδιων περιόδων.

Θα πρέπει να τονιστεί, ότι οι επιπλέον επενδύσεις που απαιτούνται για την υλοποίηση των σεναρίων ενδιαφέροντος, δεν κατηγοριοποιούνται στην ανάλυση σε δημόσιες και ιδιωτικές επενδύσεις, καθώς αυτό το είδος της πληροφορίας δεν παρέχεται από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας της Ελλάδας. Όλες οι «διαταραχές» της οικονομίας που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των δύο σεναρίων ενδιαφέροντος, συνοψίζονται στον [Πίνακα 10](#), και σχετίζονται με

την κύρια ενεργειακή παραγωγή, τις ενεργειακές εισαγωγές και εξαγωγές, και τις συνολικές επενδύσεις εντός της ελληνικής οικονομίας.

**Πίνακας 10:** «Διαταραχές» που εφαρμόζονται στην ελληνική οικονομία κατά τις περιόδους 2020–2025 και 2020–2030, με σκοπό την προσομοίωση των σεναρίων «απότομης απολιγνιτοποίησης» και «ήπιας απολιγνιτοποίησης».

Μεταβλητές	Διαταραχές (%)			
	Απότομη Απολιγνιτοποίηση		Ήπια Απολιγνιτοποίηση	
	2020–2025	2020–2030	2020–2025	2020–2030
Κύρια				
Ενεργειακή Παραγωγή	-5.52	-11.88	-9.37	-8.59
Ενεργειακές Εισαγωγές	-5.52	-11.88	-9.37	-8.59
Ενεργειακές Εξαγωγές	+5.52	+11.88	+9.37	+8.59
Συνολικές Επενδύσεις	+73	+152	+57	+121

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται μία ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων, κατά τον τρόπο που περιγράφηκε στην **Ενότητα 3.7**, με σκοπό να αξιολογηθεί η ευαισθησία τους, επί της μεταβλητότητας των κύριων παραμέτρων ελαστικότητας του μοντέλου, στην περίπτωση του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης». Από πλευράς λογισμικού, όλα τα σεναρία προσομοιώνονται και η παραγόμενη πληροφορία διαχειρίζεται και οπτικοποιείται, κατά τον τρόπο που περιγράφηκε στην αντίστοιχη ενότητα της μεθοδολογίας, ήτοι στην **Ενότητα 3.8**.

#### 4.2.3 Αποτελέσματα

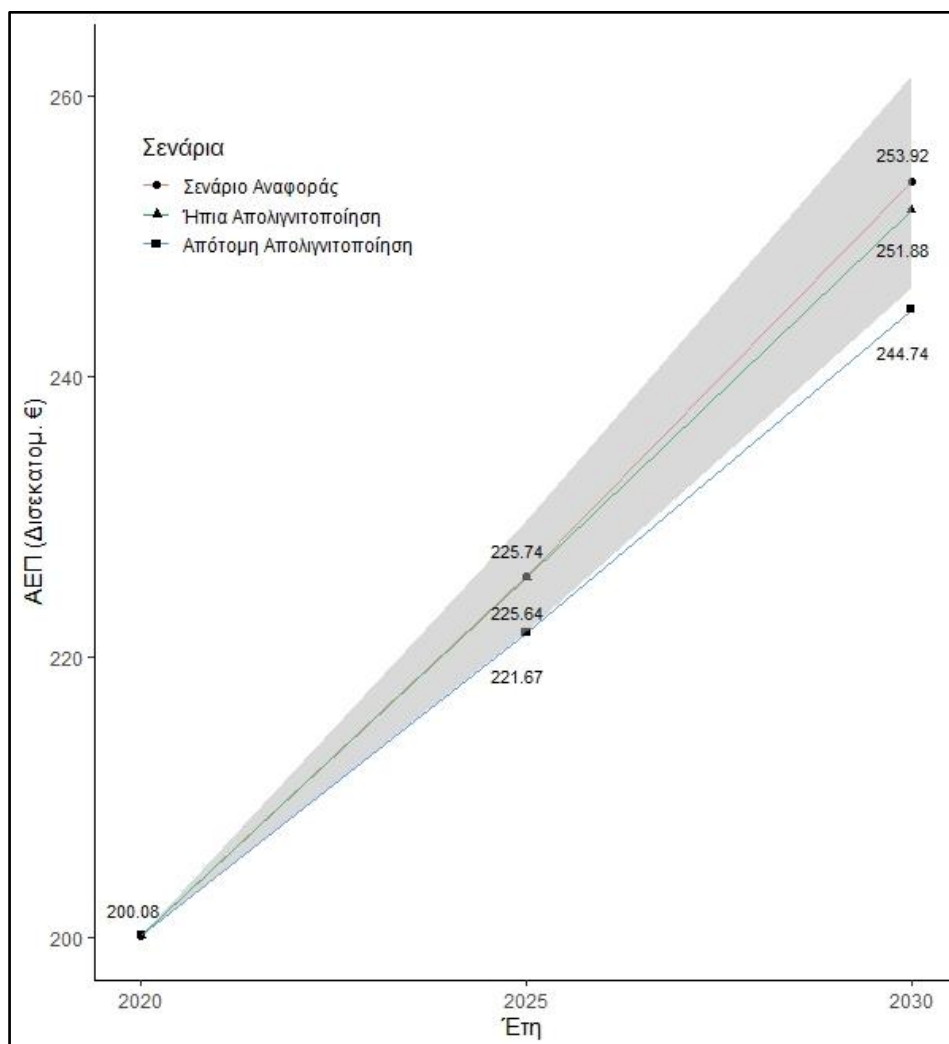
Αυτή η ενότητα, παρουσιάζει τα αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με το μακροοικονομικό και κοινωνικό αποτύπωμα μίας ταχείας «απολιγνιτοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, οι παρατηρούμενες απόλυτες διαφορές μεταξύ των σεναρίων «απολιγνιτοποίησης» που λήφθηκαν υπόψιν, αντικατοπτρίζουν ρητώς τις μακροοικονομικές επιδράσεις μίας ταχείας «απολιγνιτοποίησης». Γι' αυτό το λόγο, οι εν λόγω διαφορές, είναι υψηλότερης σημασίας από το απόλυτο μονοπάτι κάθε σεναρίου αυτό καθαυτό.

Ωστόσο, με γνώμονα την περισσότερο λεπτομερή επισκόπηση των συνεπειών των δύο εξεταζόμενων σεναρίων και την παροχή μίας ευρύτερης εικόνας στους σχεδιαστές ενεργειακών πολιτικών —άρα και την εξαγωγή χρήσιμων διδαγμάτων και συμπερασμάτων— παρουσιάζονται επίσης τα πλήρη και αναλυτικά μονοπάτια κάθε σεναρίου, καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου 2020–2030. Θα πρέπει να διευκρινιστεί σε αυτό το σημείο, ότι αν και το μοντέλο GTAP —όπως και κάθε έτερο μακροοικονομικό μοντέλο— δε λαμβάνει υπόψιν τις τεχνολογικές διαστάσεις και εξελίξεις του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, αυτές ενσωματώνονται έμμεσα στην ανάλυση, μέσω της αξιοποίησης των αποτελεσμάτων των ενεργειακών μοντέλων TIMES-Ελλάδας και Primes.

Σε αυτό το πλαίσιο, η **Εικόνα 32** παρουσιάζει την αναμενόμενη εξέλιξη του αποπληθωρισμένου ΑΕΠ της Ελληνικής οικονομίας —το οποίο αντιπροσωπεύει την αξία των προϊόντων και υπηρεσιών που παράγονται από αυτή— τόσο για την περίπτωση του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης», όσο και για την έτερη περίπτωση, αυτής της «ήπιας απολιγνιτοποίησης». Επίσης, για λόγους σύγκρισης, στο ίδιο σχήμα παρέχεται και το μονοπάτι του βασικού σεναρίου αναφοράς, δηλαδή του σεναρίου που αντικατοπτρίζει το πως αναμένεται να εξελιχθεί η ελληνική οικονομία στην περίπτωση που δεν εφαρμοζόταν κανένα από τα δύο εξεταζόμενα σενάρια, με βάση την τωρινή πορεία των πραγμάτων και χωρίς έτερα εξωγενή γεγονότα. Επιπλέον, στο ίδιο σχήμα, εκτίθεται το 95% διάστημα εμπιστοσύνης των αποτελεσμάτων του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης», με σκοπό την έκθεση της ευρωστίας των αποτελεσμάτων, επί της μεταβλητότητας των παραμέτρων ελαστικότητας του μοντέλου.

Όπως μπορεί να διαφανεί από την παραπάνω εικόνα, μία ταχεία «απολιγνιτοποίηση» της ηλεκτροπαραγωγής, αναμένεται να επιφέρει μία θετική επίδραση στο ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας. Πιο συγκεκριμένα, το ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας αναμένεται να παρουσιαστεί αυξημένο κατά 1% το 2030, στην περίπτωση του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης», σε σχέση με το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης». Σε βραχυπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα, ωστόσο, ήτοι κατά την περίοδο 2020–2025, οι παρατηρούμενες διαφορές μεταξύ των δύο σεναρίων «απολιγνιτοποίησης» είναι ανεπαίσθητες, με τα μονοπάτια τους σχεδόν να συμπίπτουν. Οπότε, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2026–2030, στο σενάριο «απότομης απολιγνιτοποίησης», το ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας αναμένεται να διογκώνονται κατά 0.2% περισσότερο, σε ετήσια βάση, σε σχέση με το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης».

**Εικόνα 32:** Γραφική απεικόνιση της εξέλιξης του ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας κατά τις περιόδους 2020–2025 και 2026–2030, για τις περιπτώσεις του βασικού σεναρίου αναφοράς και των σεναρίων «ήπιας απολιγνιτοποίησης» και «απότομης απολιγνιτοποίησης». Η μαρκαρισμένη περιοχή (γκρι χρώμα) υποδεικνύει το 95% διάστημα εμπιστοσύνης των αποτελεσμάτων του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης», επί της μεταβλητότητας (+/- 20%) των παραμέτρων ελαστικότητας του μοντέλου.



Επιπλέον, ιδιαίτερος σημαντικό εύρημα, αποτελεί το γεγονός ότι μεταξύ των δύο επισκοπούμενων σεναρίων «απολιγνιτοποίησης» και του βασικού σεναρίου αναφοράς, παρατηρούνται σημαντικές διαφορές, τόσο βραχυπρόθεσμα, όσο και μεσοπρόθεσμα. Αυτές οι διαφορές, υποδηλώνουν το θετικό μακροοικονομικό αποτύπωμα της υιοθέτησης και εφαρμογής πολιτικών «απολιγνιτοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής. Με άλλα λόγια, η «απολιγνιτοποίηση» της ηλεκτροπαραγωγής, ανεξαρτήτου της ταχύτητας με την οποία υλοποιείται, αναμένεται να επιφέρει θετικά μακροοικονομικά αποτελέσματα.

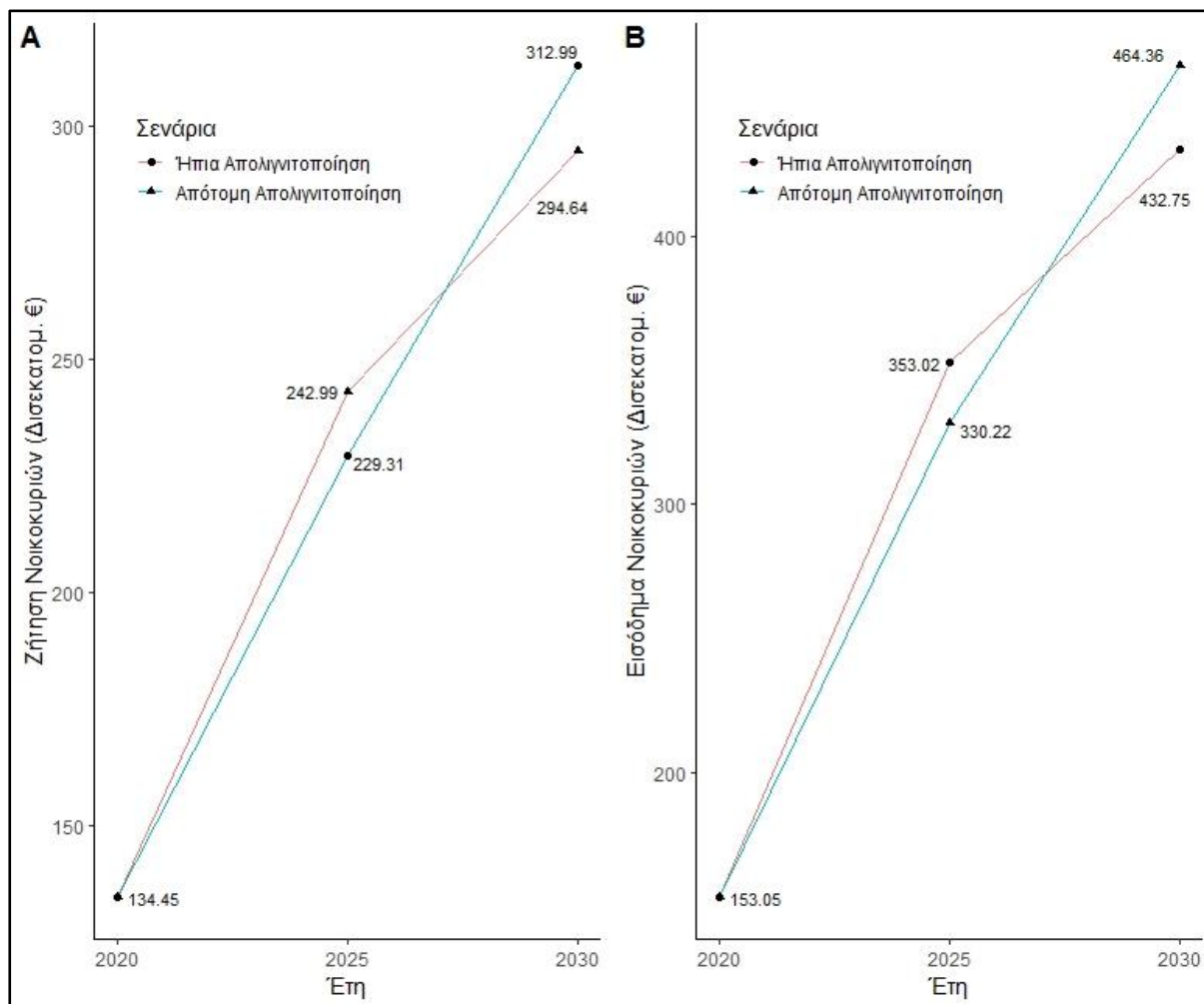
Επίσης, παρατηρείται ένα υψηλό επίπεδο ευρωστίας των αποτελεσμάτων του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης», εν σχέσει με τις τιμές των παραμέτρων ελαστικότητας του

μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψιν το 95% διάστημα εμπιστοσύνης των αποτελεσμάτων, δημιουργείται μία αυτοπεποίθηση σχετικά με τον θετικό μακροοικονομικό αντίκτυπο πολιτικών «απολιγνιτοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής. Ωστόσο, όσον αφορά την επίδραση ταχύτερων «απολιγνιτοποιήσεων» της ηλεκτροπαραγωγής στο ΑΕΠ, παρατηρείται μία αβεβαιότητα σχετικά με το βαθμό υπεροχής τους, έναντι «απολιγνιτοποιήσεων» ηπιότερης έντασης, υποδηλώνοντας κατά κύριο λόγο επιδράσεις όμοιας κλίμακας σε όρους επιπτώσεων στο ΑΕΠ της οικονομίας.

Με γνώμονα την ερμηνεία των παραπάνω αποτελεσμάτων, θα πρέπει να τονιστεί ότι το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης», περιλαμβάνει μία πιο απότομη μείωση της ακαθάριστης ενεργειακής κατανάλωσης βραχυπρόθεσμα (από τη χρονική σκοπιά του 2025), σε σχέση με το σενάριο «απότομης απολιγνιτοποίησης». Το εν λόγω γεγονός, προκαλεί μία υψηλότερη ζήτηση για τους παραγωγικούς συντελεστές (εργασία, κεφάλαιο, γη, φυσικοί πόροι), με σκοπό να υποκαθιστήσουν τη μειούμενη ενέργεια που χρησιμοποιείται στην παραγωγή, οδηγώντας —κατ' αυτό τον τρόπο— στην αύξηση της αποζημίωσή τους. Με άλλα λόγια, η εν λόγω προέκταση μπορεί να παρουσιασθεί και ως εξής: παρουσιάζεται ένα αυξημένο επίπεδο ζήτησης, για το ίδιο επίπεδο προσφοράς παραγωγικών συντελεστών. Η αυξημένη αποζημίωση των παραγωγικών συντελεστών με τη σειρά της, οδηγεί στην αύξηση του εισοδήματος των νοικοκυριών, κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου, και —συνεπακόλουθα— στην αύξηση της ζήτησης των νοικοκυριών.

Ωστόσο, παρά τα παραπάνω γεγονότα, σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα (το 2025), το ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας στο σενάριο «απότομης απολιγνιτοποίησης», όχι μόνο δεν παρουσιάζεται μειωμένο, σε σχέση με το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης», αλλά αντίθετα εντοπίζεται ελαφρώς αυξημένο (στο επίπεδο περίπου του 0.05%). Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο, στα υψηλότερα ύψη επενδύσεων που λαμβάνουν χώρα στο σενάριο «απότομης απολιγνιτοποίησης». Αυτή η τάση, ωστόσο, αντιστρέφεται μεσοπρόθεσμα, όπου το σενάριο «απότομης απολιγνιτοποίησης» περικλείει μία μεγαλύτερη μείωση της ακαθάριστης ενεργειακής κατανάλωσης. Οι εν λόγω προεκτάσεις, μπορούν να παρατηρηθούν σχηματικά στην **Εικόνα 33**, η οποία εκθέτει την εξέλιξη της ζήτησης των νοικοκυριών (**Εικόνα 33; Α**) και του εισοδήματός τους (**Εικόνα 33; Β**), τόσο για την περίπτωση της «απότομης απολιγνιτοποίησης», όσο και για αυτήν της «ήπιας απολιγνιτοποίησης».

**Εικόνα 33:** Γραφική απεικόνιση της εξέλιξης της ζήτησης των νοικοκυριών (γράφημα Α) και του εισοδήματός τους (γράφημα Β), κατά τις περιόδους 2020–2025 και 2026–2030, για τις περιπτώσεις των σεναρίων «ήπιας απολιγνιτοποίησης» και «απότομης απολιγνιτοποίησης».



Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στην παραπάνω εικόνα, η ζήτηση των νοικοκυριών παρουσιάζεται αυξημένη κατά 5.96%, στην περίπτωση του σεναρίου «ήπιας απολιγνιτοποίησης» το 2025, σε σχέση με το σενάριο «απότομης απολιγνιτοποίησης». Ωστόσο, η κατάσταση αντιστρέφεται το 2030, με τη ζήτηση των νοικοκυριών να παρουσιάζεται αυξημένη κατά 6.23% το 2030, στο σενάριο «απότομης απολιγνιτοποίησης», σε αντιπαραβολή με το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης». Επιπλέον, το εισόδημα των νοικοκυριών, το οποίο αποτελεί και τον καθοριστικό παράγοντα για την εξέλιξη της ζήτησης των νοικοκυριών, αναμένεται να ακολουθήσει μία παρόμοια πορεία με αυτή της ζήτησης, με το ποσοστό της αύξησής του το 2030 στην περίπτωση του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης» να φθάνει το επίπεδο του 7.30%, εν σχέσει με το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης».



Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι η αύξηση της ζήτησης των νοικοκυριών στο σενάριο «απότομης απολιγνιτοποίησης» μεσοπρόθεσμα, επηρεάζει θετικά —ήτοι την αυξάνει— τη ζήτηση από τη μεριά της κυβέρνησης. Αυτό λαμβάνει χώρα, καθώς μία αυξημένη ζήτηση από τη μεριά των νοικοκυριών, οδηγεί σε αυξημένους φόρους κατανάλωσης, ενώ με τη σειρά του το υψηλότερο επίπεδο εισοδήματος, σε υψηλότερους φόρους εισοδήματος. Είναι προφανές ότι και στις δύο περιπτώσεις, αυξάνονται τα έσοδα της κυβέρνησης, και κατ' επέκταση η ζήτηση από τη μεριά της κυβέρνησης, η οποία αναμένεται να παρουσιαστεί αυξημένη κατά 7.45% το 2030, σε σχέση με το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης».

Όσον αφορά το επίπεδο των μισθών ολόκληρης της ελληνικής οικονομίας μεσοπρόθεσμα, η εξειδικευμένη εργασία (“skilled labor”) αναμένεται να επωφεληθεί θετικά, στην περίπτωση μίας ταχείας «απολιγνιτοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής (+0.72% το 2030 εν σχέσει με το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης»), ενώ η ανειδίκευτη εργασία (“unskilled labor”), στην περίπτωση της «ήπιας απολιγνιτοποίησης» (+0.53% το 2030 εν σχέσει με το σενάριο «απότομης απολιγνιτοποίησης»). Αυτό το εύρημα, υποδηλώνει ότι μία πιο απότομη μετάβαση σε μία ανθρακικά ουδέτερη ηλεκτροπαραγωγή, απαιτεί περισσότερο ανεπτυγμένη τεχνολογία, η οποία με τη σειρά της αυξάνει τη ζήτηση για υπαλλήλους με ανεπτυγμένες γνώσεις, δεξιότητες και ικανότητες, οι οποίοι θα είναι σε θέση να τη σχεδιάσουν, αναπτύξουν και λειτουργήσουν. Ωστόσο, συνολικά, από τη χρονική σκοπιά του 2030, οι διαφορές μεταξύ των μισθών που προβλέπονται για κάθε μία μορφή εργασίας, σε κάθε ένα από τα εξεταζόμενα σενάρια, είναι αμελητέες.

Η άμεση επίδραση της υψηλότερης ζήτησης από την πλευρά των νοικοκυριών, είναι η αύξηση του επιπέδου των τιμών της ελληνικής οικονομίας, με βάση το Δείκτη Τιμών Καταναλωτή και το Δείκτη Τιμών Παραγωγού. Ο Δείκτης Τιμών Καταναλωτή εκφράζει τις τιμές από τη σκοπιά των καταναλωτών, ενώ ο Δείκτης Τιμών Παραγωγού από τη μεριά των παραγωγών των προϊόντων. Είναι προφανές, ότι η εξέλιξη του Δείκτη Τιμών Παραγωγού καθορίζει και την πορεία του επιπέδου τιμών των εξαγόμενων ελληνικών προϊόντων. Πιο συγκεκριμένα, όταν ο Δείκτης Τιμών Παραγωγού ακολουθεί μία ανοδική πορεία, οδηγεί στην αύξηση του επιπέδου τιμών των εξαγωγών. Αυτό το γεγονός, μετατρέπει τα ελληνικά προϊόντα σε λιγότερα ανταγωνιστικά. Στον αντίποδα, όταν ο Δείκτης Τιμών Παραγωγού ακολουθεί μία καθοδική πορεία, αυξάνει το επίπεδο ελκυστικότητας και ανταγωνιστικότητας των ελληνικών προϊόντων, και κατ' επέκταση το επίπεδο ανταγωνιστικότητας της ελληνικής οικονομίας.

Από την άλλη μεριά, το επίπεδο τιμών των εισαγωγών, εξαρτάται από τα εγχώρια επίπεδα τιμών των χωρών από τις οποίες εισέρχονται τα προϊόντα στην ελληνική επικράτεια, όπως επίσης και από ενδεχόμενα είδη δασμών, τα οποία δύναται να επιβαρύνουν τις τιμές των εισαγόμενων προϊόντων. Άρα, η μεταβολή του δείκτη τιμών των εισαγόμενων προϊόντων, δεν μπορεί να εξηγηθεί από αλλαγές

που λαμβάνουν χώρα εντός της ελληνικής οικονομίας, αλλά από αλλαγές στην ευρύτερη παγκόσμια οικονομία, οπότε η ερμηνεία αυτής της μεταβολής υπερβαίνει τους σκοπούς της διενεργούμενης ανάλυσης.

Υπό αυτό το υπόβαθρο, η **Εικόνα 34** εκθέτει το πως αναμένεται να εξελιχθούν ο Δείκτης Τιμών Καταναλωτή (**Εικόνα 34; Α**), ο Δείκτης Τιμών Παραγωγού (**Εικόνα 34; Β**), ο Δείκτης Τιμών Εισαγωγών (**Εικόνα 34; Γ**) και ο Δείκτης Τιμών Εξαγωγών (**Εικόνα 34; Δ**), στην περίπτωση της «ήπιας απολιγνιτοποίησης» και της «απότομης απολιγνιτοποίησης» της ελληνικής ηλεκτροπαραγωγής, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2020–2030. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στην εν λόγω εικόνα, στην περίπτωση του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης», οι Δείκτες Τιμών Καταναλωτή και Παραγωγού, αναμένεται να παρουσιαστούν αυξημένοι κατά 4.42% και 3.03% το 2030, αντίστοιχα, σε σχέση με το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης». Από την άλλη μεριά, ο Δείκτης Τιμών Εισαγωγών αναμένεται να κυμανθεί σε αυξημένα επίπεδα το 2030 (+1.38%), στην περίπτωση του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης», ενώ το ίδιο ισχύει και για το Δείκτη Τιμών Εξαγωγών (+4.24%). Αυτά τα ευρήματα, υποστηρίζουν τις αλληλεπιδράσεις των δυνάμεων —και των κανόνων προσφοράς και ζήτησης— της οικονομίας, οι οποίες αναλύθηκαν στην παραπάνω παράγραφο.

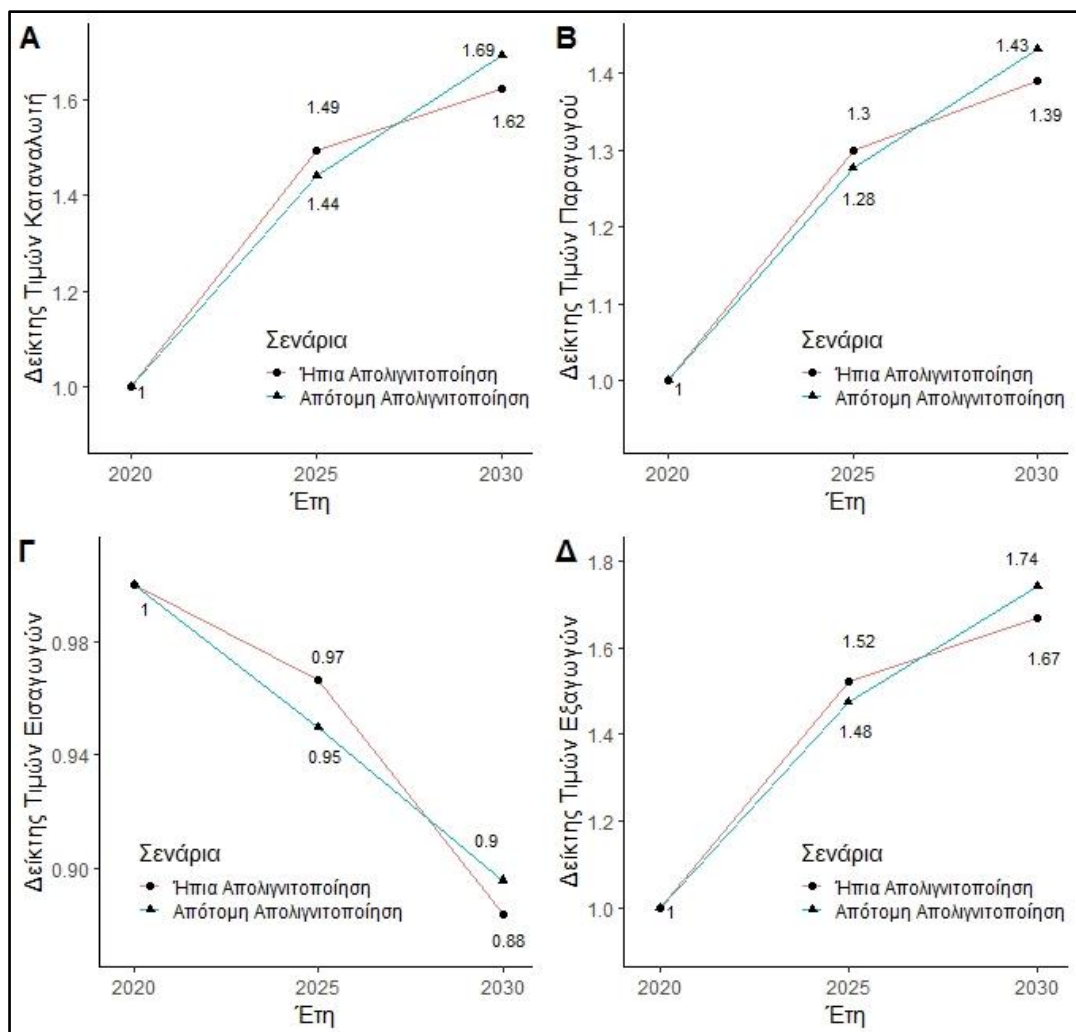
Η αυξημένη τιμή των εξαγωγών, μεσοπρόθεσμα, στην περίπτωση του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης», επηρεάζει αρνητικά τη διεθνή ανταγωνιστικότητα και εξωστρέφεια των ελληνικών προϊόντων και υπηρεσιών. Αυτό το γεγονός, σε συνδυασμό με την αύξηση της εγχώριας ζήτησης και του εθνικού εισοδήματος, ενθαρρύνει τις ελληνικές εταιρείες να μεταφέρουν τις δραστηριότητές τους από το εξωτερικό στο εσωτερικό, καθώς αυτό αναμένεται να τους αποφέρει περισσότερα κέρδη. Παράλληλα, όμως, αυτό το γεγονός οδηγεί και στη μείωση των συνολικών εξαγωγών της ελληνικής οικονομίας. Σε αυτό το πλαίσιο, στην περίπτωση του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης», οι εξαγωγές αναμένεται να μειωθούν κατά 10% το 2030, σε σχέση με το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης».

Στον αντίποδα, οι εισαγωγές αναμένεται να είναι αυξημένες κατά 3.75% το 2030, στην περίπτωση του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης», σε σχέση με το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης». Η συνολική ζήτηση για εισαγωγές, ακολουθεί την ίδια πορεία με την εγχώρια ζήτηση, καθώς οι εταιρείες καταναλώνουν περισσότερες πρώτες ύλες, και τα νοικοκυριά περισσότερα προϊόντα και υπηρεσίες. Είναι προφανές, ότι ένας μέρος της αυξημένης ζήτησης καλύπτεται από εισαγωγές.

Όσον αφορά την προστιθέμενη αξία του ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας, η πορεία της αναμένεται να είναι παρόμοια στα δύο εξεταζόμενα σενάρια «απολιγνιτοποίησης». Οπότε, το γεγονός ότι το επίπεδο της προσφοράς (παραγωγής) της ελληνικής οικονομίας, αναμένεται να διογκωθεί μεσοπρόθεσμα, ως απόρροια της ταχύτερης «απολιγνιτοποίησης» της ελληνικής ηλεκτροπαραγωγής, σε συνδυασμό με το ότι η προστιθέμενη αξία του ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας

αναμένεται να παραμείνει στα ίδια επίπεδα, μπορεί να οδηγήσει σε μία ιδιαίτερος σημαντική προέκταση. Πιο συγκεκριμένα, με βάση αυτά τα στοιχεία, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η παραγωγικότητα της ελληνικής οικονομίας αναμένεται να βελτιωθεί. Αυτό μπορεί να περιγραφεί και ως εξής: η ίδια αξία συντελεστών παραγωγής, παράγει προϊόντα υψηλότερης αξίας ή, με άλλα λόγια, το ποσό τη προστιθέμενης αξίας που απαιτείται για κάθε μία μονάδα παραγόμενου προϊόντος, μειώνεται.

**Εικόνα 34:** Γραφική απεικόνιση της εξέλιξης του Δείκτη Τιμών Καταναλωτή (γράφημα Α), του Δείκτη Τιμών Παραγωγού (γράφημα Β), του Δείκτη Τιμών Εισαγωγών (γράφημα Γ) και του Δείκτη Τιμών Εξαγωγών (γράφημα Δ), κατά τις περιόδους 2020–2025 και 2026–2030, για τις περιπτώσεις των σεναρίων «ήπια απολιγνιτοποίησης» και «απότομη απολιγνιτοποίησης».



Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι η παραγωγικότητα μίας οικονομίας, αποτελεί μία από τις καθοριστικότερες παραμέτρους της ανταγωνιστικότητά της (Schreyer and Pilat, 2001). Ως εκ τούτου, το συγκεκριμένο εύρημα, αποτελεί κρίσιμης σημασίας δίδαγμα για τους αποφασίζοντες και

σχεδιαστές πολιτικών, σχετικά με τις μακροοικονομικές προεκτάσεις υψηλότερων ταχυτήτων «απανθρακοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής.

Από τη σκοπιά του κοινωνικού αποτυπώματος των εξεταζόμενων σεναρίων, το κατά κεφαλήν ΑΕΠ —δηλαδή η συνολική παραγωγή ολόκληρης της οικονομίας που αντιστοιχεί σε κάθε πολίτη— αποτελεί ένα πρόσφορο μέτρο το οποίο λαμβάνεται συνήθως υπόψιν για αυτό το σκοπό, καθώς αντικατοπτρίζει το πως μεταβάλλεται το βιοτικό επίπεδο των πολιτών της εξεταζόμενης οικονομίας. Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας ανάλυσης, το κατά κεφαλήν ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας αναμένεται να διογκωθεί κατά €70.21 κατά μέσο όρο σε ετήσια βάση (σε σταθερές τιμές του οικονομικού έτους 2010), κατά την περίοδο 2020–2030, στην περίπτωση της υλοποίησης του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης», σε σύγκριση με το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης».

Επιπλέον, τα αποτελέσματα της ανάλυσης υποδηλώνουν μία μέση αύξηση του κατά κεφαλήν εισοδήματος κατά €9.34, και του κατά κεφαλήν μισθού κατά €60.17, σε ετήσια βάση, κατά την ίδια περίοδο. Κατά συνέπεια, η αγοραστική δύναμη των Ελλήνων πολιτών αναμένεται να βελτιωθεί, όπως επίσης και το επίπεδο ευημερίας τους, εξαιτίας της ταχύτερης «απολιγνιτοποίησης» της εγχώριας ηλεκτροπαραγωγής.

Θα πρέπει να διευκρινιστεί, ότι όσον αφορά την αναμενόμενη επίδραση των εξεταζόμενων πολιτικών στις θέσεις εργασίας της ελληνικής οικονομίας, με βάση τη δομή του μοντέλου (*“model closure”*) που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο αυτής της μελέτης, η προσφορά εργασίας θεωρείται σταθερή και πλήρως χρησιμοποιούμενη (μηδενική ανεργία). Στον αντίποδα, η αποζημίωση (μισθοί) των μορφών εργασίας που λαμβάνονται υπόψιν μπορεί να τροποποιηθεί, με βάση το πως μεταβάλλεται η ζήτησή τους, ήτοι να αυξηθεί στην περίπτωση αυξημένης ζήτησης για εργασία, και να μειωθεί στην περίπτωση μειωμένης ζήτησης για εργασία. Αυτή η δομή του μοντέλου, καλείται «δομή εργασίας» (*“employment closure”*). Οπότε, με βάση αυτή τη δομή, η επίδραση των υπό εξέταση πολιτικών στο επίπεδο απασχόλησης της ελληνικής οικονομίας, δεν μπορεί να αξιολογηθεί άμεσα από το μοντέλο.

Για να πραγματοποιούνταν αυτού του είδους η αξιολόγηση, θα έπρεπε να γίνει «ανταλλαγή» της μεταβλητής της προσφοράς εργασίας, με αυτήν που αντιστοιχεί στο επίπεδο αποζημίωσης κάθε μορφής εργασίας. Δηλαδή, η πρώτη να γίνει ενδογενής μεταβλητή, προκύπτοντας σαν λύση των εξισώσεων του μοντέλου, και η δεύτερη να γίνει εξωγενής για το μοντέλο, όντας σε θέση να μεταβληθεί από το αρχικό επίπεδό της, μόνο ύστερα από μία σχετική ενέργεια του αναλυτή. Αυτή η δομή του μοντέλου, καλείται ως «δομή ανεργίας» (*“unemployment closure”*).

Ωστόσο, έχει αποδειχτεί ότι οι ίδιες «διαταραχές» στην οικονομία, δύναται να οδηγήσουν σε αρκετά διαφορετικά αποτελέσματα για την εξεταζόμενη οικονομία, στην περίπτωση που η «δομή ανεργίας» χρησιμοποιείται στο μακροοικονομικό μοντέλο της ανάλυσης, έναντι της «δομής

εργασίας» (Burfisher, 2017). Αυτό συμβαίνει, καθώς σε αυτή την περίπτωση τα μοντέλα «γενικής ισορροπίας» γίνονται περισσότερα ευαίσθητα στην ανάπτυξη της οικονομίας, παράγοντας υπεραισιόδοξα αποτελέσματα. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξε και η παρούσα διατριβή, μέσω των προσομοιώσεων που έλαβαν χώρα με τη «δομή ανεργίας» στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης περίπτωσης.

Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη τη μεγαλύτερη διόγκωση της ελληνικής οικονομίας, στην περίπτωση του σεναρίου «απότομης απολιγνιτοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής μεσοπρόθεσμα, γίνεται προφανές ότι η ζήτηση εργασίας αναμένεται να αυξηθεί κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει και η αντίστοιχη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του ΕΣΕΚ της ελληνικής κυβέρνησης, η οποία αναφέρει ότι αναμένεται να δημιουργηθούν 60,000 θέσεις εργασίας στην ελληνική οικονομία, ως απόρροια της υλοποίησης του σεναρίου-στόχου της ελληνικής κυβέρνησης που περιγράφεται στο ΕΣΕΚ, και πιο συγκεκριμένα: +37,000 θέσεις εργασίας πλήρους απασχόλησης λόγω επενδύσεων σε έργα ΑΠΕ, και +25,000 θέσεις εργασίας πλήρους απασχόλησης λόγω επενδύσεων σε ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων. Άρα, 5,000 επιπλέον θέσεις εργασίας, σε σχέση με τις θέσεις εργασίας που θα δημιουργούνταν από την υλοποίηση της αρχικής έκδοσης του ΕΣΕΚ της ελληνικής κυβέρνησης.

Θα πρέπει να τονιστεί, ωστόσο, ότι αυτό το νούμερο δεν περιγράφει την καθαρή επίδραση των μέτρων πολιτικής που προβλέπονται στο ΕΣΕΚ στις θέσεις εργασίας της ελληνικής οικονομίας, καθώς δεν περιλαμβάνει τις θέσεις εργασίας που αναμένεται να απολεσθούν εξαιτίας της υλοποίησης των μέτρων πολιτικής του ΕΣΕΚ (π.χ. από το κλείσιμο των λιγνιτικών ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων).

Συνοψίζοντας τα όσα αναφέρθηκαν σε αυτή την ενότητα, το σενάριο «απότομης απολιγνιτοποίησης» της ελληνικής ηλεκτροπαραγωγής, αναμένεται να έχει ένα θετικό μακροοικονομικό αποτύπωμα μεσοπρόθεσμα, τόσο από μακροοικονομική, όσο και από κοινωνική σκοπιά. Ωστόσο, εμπεριέχει και έναν υψηλότερο κίνδυνο, υπό την έννοια ότι η υλοποίησή του είναι άμεσα συνυφασμένη, με τη διασφάλιση υψηλότερων επενδυτικών κεφαλαίων. Θα πρέπει να διευκρινιστεί, όμως, ότι η συγκεκριμένη αβεβαιότητα αμβλύνεται, ως απόρροια της οικονομικής ενίσχυσης που αναμένεται να παρασχει από την ΕΕ, για τη μετάβαση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος.

## 4.3 Επιλέγοντας την Κατάλληλη Ταχύτητα Διείσδυσης του Πράσινου Υδρογόνου

### 4.3.1 Υπόβαθρο

Εκτός από σημαντική πρόοδο στις διαστάσεις της ενεργειακής αποδοτικότητας και του εξηλεκτρισμού της οικονομίας (Koutsandreas et al., 2022), η μετάβαση σε κλιματικά ουδέτερες οικονομίες, υπαγορεύει την υιοθέτηση νέων καινοτόμων καθαρών τεχνολογιών (IEA, 2021a). Περίοπτη θέση μεταξύ αυτών των επιλογών, καταλαμβάνει το πράσινο υδρογόνο, το οποίο τη δεδομένη χρονική στιγμή απολαμβάνει ένα —διαρκώς— αυξανόμενο ενδιαφέρον σχετικά με τη χρήση του, ενώ παρατηρείται μία δυναμική για αυτό, από τις πολιτικές ηγεσίες και τον επιχειρηματικό κόσμο σε παγκόσμιο επίπεδο (IEA, 2021d, 2021e). Αυτό μπορεί να αποδοθεί, αρχικά, στις αυξημένες τιμές των δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και στα —διαρκώς— μειούμενα κόστη των τεχνολογιών ΑΠΕ, και συνεπακόλουθα του πράσινου υδρογόνου (IRENA, 2019; Ishaq and Dincer, 2021).

Το πράσινο υδρογόνο, θα μπορούσε να αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα στην επιχειρούμενη ενεργειακή μετάβαση, δρώντας σαν ένα ισχυρό εργαλείο στα χέρια των κυβερνήσεων, κυρίως μέσω της σταθεροποίησης της καθαρής ηλεκτροπαραγωγής ως απόρροια της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας —κατ' αυτό τον τρόπο— τις απώλειες στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας (Sadik-Zada, 2021). Ισοδύναμης αξίας, είναι η ικανότητά του να συνεισφέρει στην «απανθρακοποίηση» τομέων της οικονομίας που παρουσιάζουν αντικειμενικές δυσκολίες ως προς αυτή τη διάσταση (π.χ. ο τομέας των μεταφορών), στους τομείς δηλαδή που ο ηλεκτρισμός αποτελεί μία μη αποδοτική λύση, ή η χρήση του δεν είναι εφικτή λόγω τεχνολογικών περιορισμών (Charman et al., 2019; The Economist, 2021).

Η εδραίωση μίας οικονομίας πράσινου υδρογόνου, είναι ιδιαίτερα συναφής με χώρες όπως η Ελλάδα, που παρουσιάζουν μία σημαντική ικανότητα παραγωγής μεταβαλλόμενης καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας (Dianellou et al., 2021), ήτοι παραγωγής από τεχνολογίες που στηρίζονται στον άνεμο και στον ήλιο. Ως εκ τούτου, η Ελλάδα θα μπορούσε να επιτύχει τους φιλόδοξους ενεργειακούς και κλιματικούς στόχους που έχει θέσει (HMEE, 2019a), τόσο μεσοπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα, μεταξύ άλλων, μέσω της αξιοποίησης της δυνατότητάς της να παράξει πράσινο υδρογόνο σε ευρεία κλίμακα. Είναι άξιο αναφοράς, ότι σε αυτή τη διαδικασία, θα μπορούσε παράλληλα να εκμεταλλευτεί και τα αναμφίλεκτα παράπλευρα πλεονεκτήματα μίας οικονομίας πράσινου υδρογόνου, όπως παραδείγματος χάριν σε όρους δημιουργίας θέσεων εργασίας (Trinomics, 2020).

Σε αυτό πλαίσιο, η ελληνική κυβέρνηση έχει αναλάβει μία σειρά από πρωτοβουλίες, προς την κατεύθυνση της εκκίνησης της εγχώριας οικονομίας πράσινου υδρογόνου. Ενδεικτικά, προς αυτή την

κατεύθυνση, έχει σχηματιστεί μία εθνική επιτροπή, με σκοπό το σχεδιασμό της στρατηγικής της Ελλάδας για το πράσινο υδρογόνο. Στο ίδιο πλαίσιο, πέντε προτάσεις σχετικά με έργα υδρογόνου κατατέθηκαν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή, με σκοπό να συμπεριληφθούν στα «Σημαντικά Έργα Κοινού Ευρωπαϊκού Ενδιαφέροντος» (“European Significant Projects of Common European Interest”; DEPA, 2021; Dimitrov, 2021). Μεταξύ αυτών των έργων, η πρόταση για το έργο «Άσπρος Δράκος» (“White Dragon”) αποτελεί την πλέον εμβληματική, καθώς φιλοδοξεί να επιφέρει σημαντικά οφέλη στη Δυτική Μακεδονία, μία περιοχή η οποία έχει ήδη σημαντικά πληγεί —και θα συνεχίσει να πλήττεται σφόδρα— από την «απολιγνιτοποίηση» του ελληνικού ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος. Το εν λόγω έργο, υπολογίζεται ότι θα μπορούσε να δημιουργήσει 18,000 άμεσες και 29,000 έμμεσες θέσεις εργασίας, διοχετεύοντας στην τοπική κοινωνία κεφάλαια που ανέρχονται στο ύψος των 8 δισεκατομμυρίων € (DEPA, 2021).

Η σχεδίαση των κατάλληλων πολιτικών που θα οδηγήσουν σε μία οικονομία μηδενικών εκπομπών, εμπεριέχει τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την κατάλληλη ταχύτητα δράσης, όπως παραδείγματος χάριν, αναφορικά με την ταχύτητα με την οποία νέα καθαρά καύσιμα πρέπει να εισέρχονται στην ηλεκτροπαραγωγή, με σκοπό την επίτευξη μίας ευρείας γκάμας στόχων (π.χ. κοινωνικών, μακροοικονομικών), πέρα από του τεθέντες ενεργειακούς στόχους (Koutsandreas et al., 2021a). Ωστόσο, μέχρι σήμερα, η εν λόγω διάσταση εντοπίζεται ως σημαντικά παραμελημένη στη διεθνή βιβλιογραφία, καθώς η διάσταση του χρονισμού, έχει κυρίως συνδεθεί με το χρόνο επίτευξης συγκεκριμένων στόχων (π.χ. μηδενικές εκπομπές), ή εφαρμογής μίας δεδομένης πολιτικής (π.χ. απόσυρση μίας τεχνολογίας), παρά με την ένταση της δράσης —ειδικά όσον αφορά τη διοχέτευση νέων καθαρών τεχνολογιών στην ηλεκτροπαραγωγή.

Επιπλέον, εγγενής διάσταση του ενεργειακού προγραμματισμού αποτελεί, αρχικά, το εκτενές εύρος των ισχυρών αντισταθμίσεων που παρουσιάζει μία πολιτική, μεταξύ διαφορετικών διαστάσεων επί των οποίων εκτείνεται η εμβέλειά της (Choi et al., 2020). Επίσης, έτερο θεμελιώδες χαρακτηριστικό του ενεργειακού προγραμματισμού, αποτελεί η εμπλοκή διαφόρων φορέων, οι οποίοι παρουσιάζουν διαφορετικές προτιμήσεις και αντικρουόμενες απόψεις, όπως επίσης και ετερογενή συμφέροντα και ανομοιογενείς επιρροές, ήτοι αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα πολλαπλών φορέων (“multi-actor problem”; Feitosa and Costa, 2021b).

Επιπλέον, ο ηλεκτροπαραγωγικός προγραμματισμός περιλαμβάνει διάφορες εγγενείς ισχυρές αβεβαιότητες (Moradi et al., 2020), καθώς πραγματοποιείται επί της βάσης μίας ευρείας γκάμας προβλέψεων, αναφορικά με την εξέλιξη βασικών συνιστωσών του ενεργειακού συστήματος, ενώ ο χρονικός ορίζοντας των ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών εκτείνεται συνήθως πολλαπλά έτη στο μέλλον (π.χ. 30-40 έτη). Αυτού τους είδους η αβεβαιότητα επιτείνεται έτι περαιτέρω, από τις σύνθετες αλληλεπιδράσεις που λαμβάνουν χώρα, τόσο εντός του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, όσο

και μεταξύ του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα και τη ευρύτερης οικονομίας, οι οποίες μετατρέπουν την πρόβλεψη της εξέλιξης του «μονοπατιού» μέσω του οποίου αναμένεται να διέλθει, σε μία απαιτητική και χρονοβόρο εργασία (Yue et al., 2018).

Σε αυτό το πλαίσιο, στην παρούσα εφαρμογή, εφαρμόζεται μία προσέγγιση μοντελοποίησης, η οποία στηρίζεται στη μέτρηση των «βαθμών δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων, με σκοπό την εξαγωγή γνώσης και διδαγμάτων, και —κατ' επέκταση— τη βελτίωση του επιπέδου κατανόησης των αποφασιζόντων αναφορικά με την ταχύτητα με την οποία νέες καθαρές τεχνολογίες πρέπει να εισέρχονται στην ηλεκτροπαραγωγή. Η παρούσα ανάλυση εστιάζει στην περίπτωση του πράσινου υδρογόνου και στον ηλεκτροπαραγωγικό τομέα της Ελλάδας, κατά την περίοδο 2030-2050.

Για τη εξέταση της κατάλληλης ταχύτητας υιοθέτησης του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, σχηματίζονται διάφορες στρατηγικές, κάθε μία από τις οποίες περιλαμβάνει ένα διαφορετικό ρυθμό, με τον οποίο το πράσινο υδρογόνο εισέρχεται στην ηλεκτροπαραγωγή και αυξάνεται η δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας. Στην εν λόγω εφαρμογή, η εγγενής αβεβαιότητα του ηλεκτροπαραγωγικού προγραμματισμού, διαχειρίζεται μέσω τη θεώρησης πολλαπλών διακριτών μονοπατιών για τα κόστη του ενεργειακού συστήματος και την τιμολόγηση των δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, λαμβάνοντας υπόψιν την ταυτόχρονη μεταβλητότητά τους. Σαν αποτέλεσμα, σχηματίζονται και προσομοιώνονται 45 ηλεκτροπαραγωγικά σενάρια για την περίπτωση της Ελλάδας με το πλαίσιο ενεργειακής μοντελοποίησης OSeMOSYS, μέσω του οποίου αποτυπώνεται ο ηλεκτροπαραγωγικός τομέας της Ελλάδας κατά την περίοδο 2019-2050.

### 4.3.2 Πολιτικές για το Πράσινο Υδρογόνο

Η εν λόγω ανάλυση έχει σκοπό να εξάγει κάποια χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την ταχύτητα με την οποία νέα καθαρά καύσιμα, πρέπει να εισέρχονται στον ηλεκτροπαραγωγικό μίγμα μίας χώρας, με σκοπό την εκπλήρωση μίας σειράς στόχων, πλέον των ενεργειακών στόχων αυτών καθεαυτών. Σε αυτό το πλαίσιο, στην παρούσα ανάλυση, κατασκευάζονται τέσσερις πολιτικές σχετικά με τη διείσδυση του πράσινου υδρογόνου στον ηλεκτροπαραγωγό τομέα της Ελλάδας, πλέον του βασικού σεναρίου αναφοράς, με βάση τις τεχνολογικές δυνατότητες που παρουσιάζει το ελληνικό ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα για παραγωγή πράσινου υδρογόνου (HMEE, 2019b).

Πιο συγκεκριμένα, το σενάριο αναφοράς περιλαμβάνει τους ήδη αναληφθέντες στόχους και τα ήδη ανακοινωθέντα μέτρα πολιτικής από την ελληνική κυβέρνηση —τα οποία περιγράφονται κυρίως στο ΕΣΕΚ της ελληνικής κυβέρνησης— χωρίς επιπλέον μέτρα από το 2030 και έπειτα. Αυτοί οι στόχοι σχετίζονται κυρίως με το μερίδιο των ΑΠΕ στην εγχώρια ηλεκτροπαραγωγή, το οποίο επιδιώκεται από την ελληνική κυβέρνηση να φθάσει στο ύψος τουλάχιστον του 65% το 2030. Ο έτερος κυρίαρχος στόχος, σχετίζεται με την απόσυρση των λιγνιτικών ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων μέχρι το 2025, το



οποίο ήταν η πρόθεση της ελληνικής κυβέρνησης την περίοδο διενέργειας της παρούσας ανάλυσης. Ωστόσο, θα πρέπει να τονιστεί ότι το έτος-στόχος απόσυρσης των λιγνιτικών μονάδων, αναθεωρήθηκε εκ νέου από την ελληνική κυβέρνηση στο 2028, όπως προβλέπεται δηλαδή στο ΕΣΕΚ. Οπότε, αυτό το σενάριο θα μπορούσε να θεωρηθεί ως το βασικό σενάριο αναφοράς (“bau”) της ανάλυσης, στο οποίο δε γίνεται καμία ρητή αναφορά σχετικά με τη συμμετοχή του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή.

Πλέον του βασικού σεναρίου που περιγράφηκε παραπάνω, θεωρήθηκαν τέσσερις πολιτικές για το πράσινο υδρογόνο, ως εξής: «ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ1», «ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ2», «ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ3», «ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ4». Κάθε μία από αυτές τις πολιτικές, προβλέπει μία διαφορετική ταχύτητα εισαγωγής του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή της Ελλάδα μετά το 2030, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 35**. Θα πρέπει να τονιστεί ότι όλες αυτές οι πολιτικές, προβλέπουν το ίδιο ποσοστό πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή από τη χρονική σκοπιά του 2030 (**Εικόνα 35-A**), εξαιτίας των τεχνολογικών περιορισμών που παρουσιάζονται αναφορικά με τη νωρίτερη υιοθέτησή του. Ωστόσο, μεταξύ του 2030 και του 2050, η ταχύτητα με την οποία το πράσινο υδρογόνο εισέρχεται στην ηλεκτροπαραγωγή, διαφέρει μεταξύ των εξεταζόμενων σεναρίων.

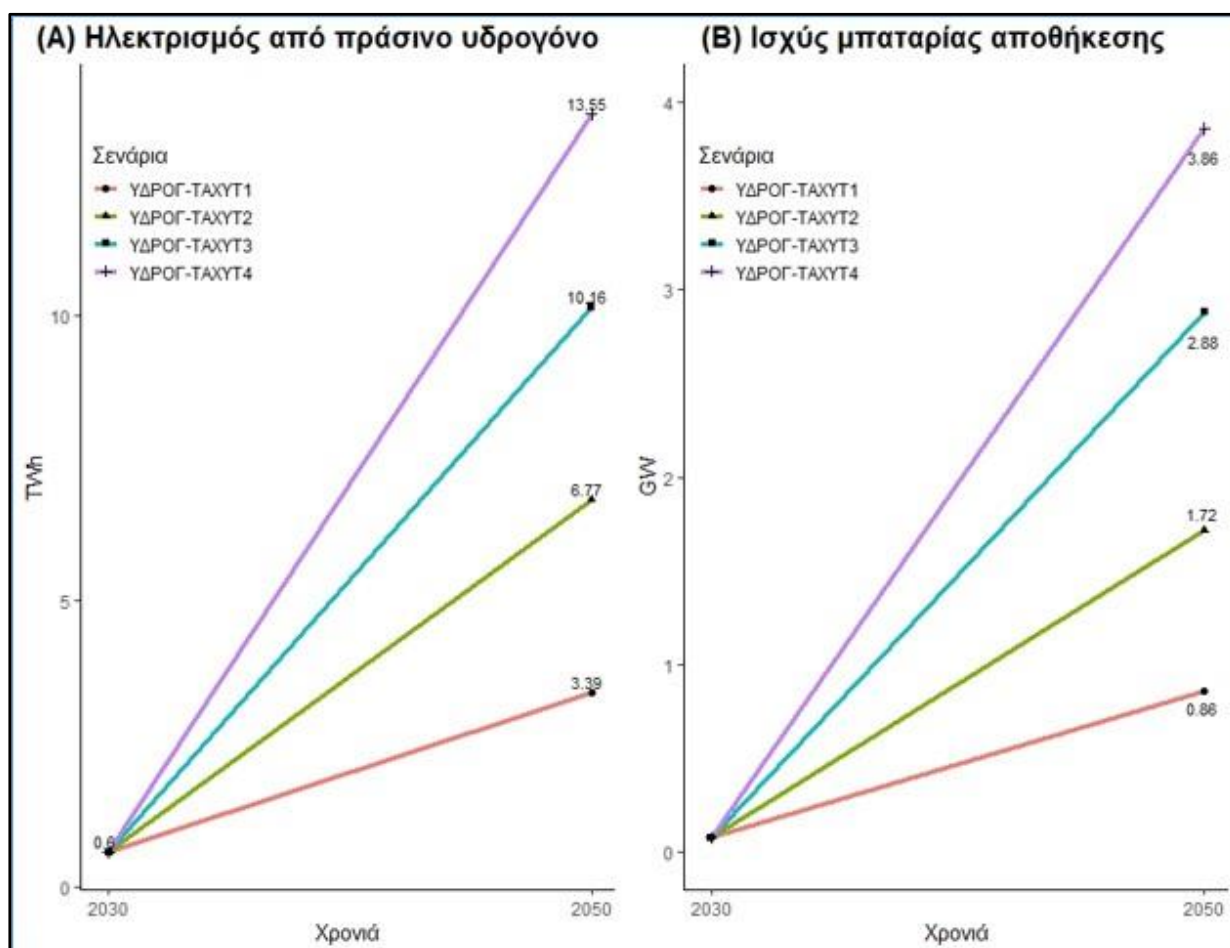
Πιο συγκεκριμένα, στην πολιτική «ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ1», που αποτελεί την πολιτική χαμηλότερης φιλοδοξίας σχετικά με τη διάχυση του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, σε σύγκριση με τις έτερες στρατηγικές για το πράσινο υδρογόνο, θεωρείται ότι το 2050, το 5% της τελικής ζήτησης ηλεκτρισμού (3.39 τεραβατώρες; **Εικόνα 35-A**) προέρχεται από πράσινο υδρογόνο. Από την άλλη μεριά, στην πολιτική «ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ4», η οποία αποτελεί αυτήν που προβλέπει την υψηλότερη ταχύτητα διάχυσης του πράσινου υδρογόνου μεταξύ του 2030-2050, προβλέπεται ότι το 2050, το 20% της τελικής ηλεκτρικής ζήτησης ηλεκτρισμού προέρχεται από πράσινο υδρογόνο (13.55 τεραβατώρες; **Εικόνα 35-A**). Θα πρέπει να τονιστεί ότι 1.46 μονάδες υδρογόνου απαιτούνται για την παραγωγή μίας μονάδας ηλεκτρισμού μέσω κυψελών καυσίμου (“fuel cells”), και 1.22 μονάδες ηλεκτρισμού για την παραγωγή μίας μονάδας υδρογόνου (1.27 το 2030; 1.18 το 2050), κατά μέσο όρο την περίοδο 2030-2050 (EC, 2021a).

Επιπλέον, προς την κατεύθυνση της εξασφάλισης της απαιτούμενης ποσότητας ΑΠΕ για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου και παράλληλα την κάλυψη των υπολοίπων αναγκών του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, στις πολιτικές που κατασκευάζονται θεωρείται μία αυξανόμενη ισχύς αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μπαταριών, για τις ηλιακές και αιολικές ηλεκτροπαραγωγικές τεχνολογίες του συστήματος, καθώς αυξάνεται η παραγωγή πράσινου υδρογόνου (**Εικόνα 35-B**). Το ύψος της ισχύος αποθήκευσης ορίστηκε κατά τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε η αύξηση του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, να μη συνοδεύεται από μία παράλληλη αύξηση της χρήσης ορυκτών καυσίμων, και δη ορυκτού αερίου. Το κίνητρο πίσω από τον εν λόγω

χειρισμό της άσκησης, εδράζεται στο ότι μία τέτοια επίδραση, θα αντέκειτο με τα κίνητρα και τους σκοπούς μίας εμπειριστατωμένης πολιτικής για το πράσινο υδρογόνο.

Η ικανότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος, μοντελοποιήθηκε μέσω αυξημένων «συντελεστών χωρητικότητας» (“capacity factors”) της χερσαίας αιολικής ηλεκτροπαραγωγής, των εμπορικών φωτοβολταϊκών και της συγκεντρωτικής ηλιακής ενέργειας (“Concentrated Solar Power”—CSP), ως απόρροια του γεγονότος ότι παρουσιάζουν την υψηλότερη μεταβλητότητα όσον αφορά την ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν, εξαιτίας της εξάρτησής τους στις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες. Ως εκ τούτου, η περαιτέρω αξιοποίησή τους και συνεπακόλουθα η αύξηση της παραγωγής τους, θα μπορούσε να αυξηθεί σημαντικά μέσω της σύνδεσής του με τεχνολογίες αποθήκευσης.

*Εικόνα 35: Ύψος τελικής ζήτησης ηλεκτρισμού προερχόμενου από πράσινο υδρογόνο (Α) και ισχύς μπαταρίας αποθήκευσης (Β), ανά εξεταζόμενο σενάριο πολιτικής την περίοδο 2030-2050.*



Για τον καθορισμό του κατάλληλου επιπέδου αύξησης των «συντελεστών χωρητικότητας» των τεχνολογιών που συνδέθηκαν με μπαταρία αποθήκευσης, έλαβε χώρα μία προκαταρκτική σειρά από

προσομοιώσεις, με σκοπό την αναγνώριση του επιπέδου εκείνου που καταλήγει σε επαρκή παραγωγή ΑΠΕ. Η επιπλέον παραγωγή από αυτές τις τεχνολογίες, εν συνεχεία, σε σχέση με την παραγωγή τους που παρατηρείται στο βασικό σενάριο αναφοράς, θεωρήθηκε ότι προέρχεται από αποθήκευση, υπολογίζοντας την αντίστοιχη δυναμικότητα αποθηκευτικής μπαταρίας (μπαταρία χαμηλής κλίμακας-2 ώρες), και προσθέτοντας παράλληλα τα αντίστοιχα έξοδα αποθήκευσης, ήτοι τις απαιτούμενες επενδύσεις κεφαλαίου (Augustine and Blair, 2021) και τα σταθερά και μεταβλητά κόστη λειτουργίας (Mongird et al., 2019), στα κόστη του συστήματος.

Θα πρέπει να διευκρινιστεί σε αυτό το σημείο, ότι στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, το υδρογόνο θεωρείται ότι παράγεται αποκλειστικά μέσω ηλεκτρόλυσης, με χρήση ηλεκτρισμού ο οποίος προέρχεται από τις καθαρές τεχνολογίες του συστήματος, άρα πρόκειται για πράσινο υδρογόνο. Στη συνέχεια, το παραγόμενο πράσινο υδρογόνο μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό, προτού μεταφερθεί στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, και από εκεί στους τελικούς τομείς κατανάλωσης.

#### 4.3.3 Μοντέλο Βελτιστοποίησης του Προγραμματισμού της Ηλεκτροπαραγωγής για την Ελλάδα

Οι παραπάνω περιγραφείσες πολιτικές για το πράσινο υδρογόνο, προσομοιώθηκαν με το πλαίσιο ενεργειακής μοντελοποίησης OSeMOSYS (Howells et al., 2011), τα χαρακτηριστικά του οποίου έχουν αναλυθεί διεξοδικά έως τώρα στην παρούσα διδακτορική διατριβή. Για τις ανάγκες της παρούσας διδακτορικής διατριβής, και με βάση το εν λόγω πλαίσιο ενεργειακής μοντελοποίησης, αναπτύχθηκε το **OSeMOSYS-Ελλάδα** με τέτοιον τρόπο, ώστε να αναπαριστά την ιδιοσυγκρασία του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος της Ελλάδας, κατά την περίοδο 2019-2050.

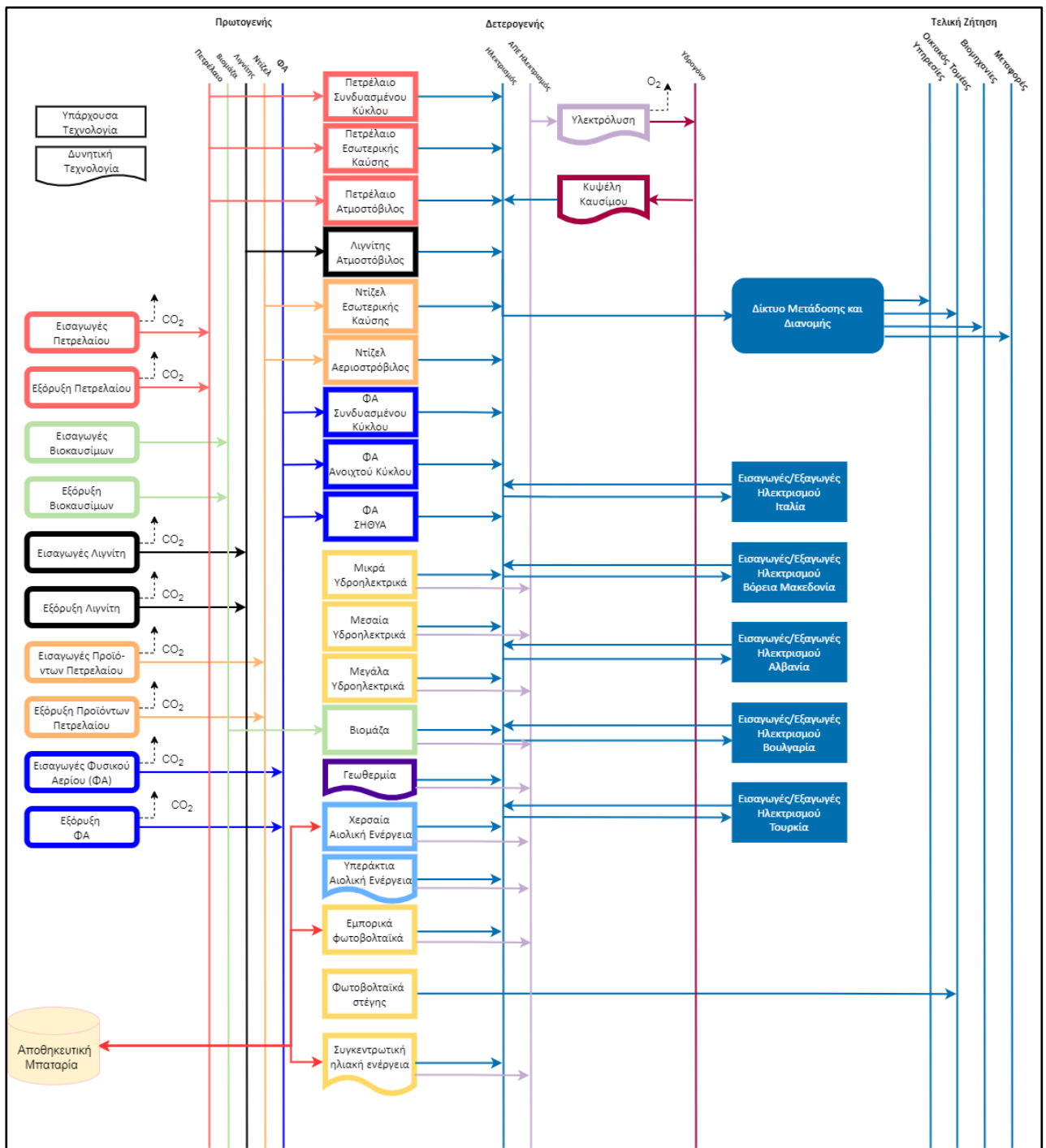
Η λογική πίσω από την επιλογή του 2019 σαν το αρχικό έτος βάσης της μοντελοποίησης, σχετίζεται με τη ρύθμιση του μοντέλου στα αρχικά χρόνια της ανάλυσης, μέσω χρήσης ιστορικών δεδομένων αντί προβλέψεων, εξασφαλίζοντας —κατ' αυτόν τον τρόπο— μία ομαλή έναρξη της διαδικασίας ρύθμισης του OSeMOSYS στο ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα της Ελλάδας. Στην ίδια κατεύθυνση και με γνώμονα την αποδοτική αναπαράσταση του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα της Ελλάδας, εισήλθαν στο μοντέλο μία σειρά από τεχνοοικονομικές παραμέτρους, όπως επίσης ενσωματώθηκαν η τωρινή και δυνητική δομή του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα της Ελλάδας.

Αυτή η δομή φαίνεται στην **Εικόνα 36**, η οποία απεικονίζει το Ηλεκτροπαραγωγικό Σύστημα Αναφοράς που σχεδιάστηκε για την περίπτωση της Ελλάδας. Σε αυτή την εικόνα απεικονίζεται με έναν αφηρηματικό τρόπο, όλο το εύρος και οι ροές των διαδικασιών οι οποίες υλοποιούνται, από τη συλλογή των πρωτογενών ενεργειακών καυσίμων, διαμέσου των ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών μετασχηματισμού, μέχρι τη διανομή του ηλεκτρισμού στους τελικούς τομείς ζήτησης. Τα τετράγωνα απεικονίζουν τις ηλεκτροπαραγωγικές τεχνολογίες του συστήματος και τα τόξα ροές καυσίμων, οι οποίες εισέρχονται και εξέρχονται από αυτές τις τεχνολογίες, όντας είσοδοι (πρώτη ύλη) ή έξοδοι (παραγωγή) αυτών.

Το μίγμα των ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών που λαμβάνεται υπόψιν σε αυτό το σχήμα, αποτελείται τόσο από τις υπάρχουσες, όσο και από τις δυνητικές τεχνολογίες του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος της Ελλάδας, με σκοπό να απαντηθούν μία σειρά από κρίσιμα ερωτήματα πολιτικής που ταλανίζουν τους σχεδιαστές ενεργειακών πολιτικών στην Ελλάδα, όπως το *πότε* πρέπει να εισαχθούν οι νέες τεχνολογίες και σε τι κλίμακα («πόσο γρήγορα»);). Οι δυνητικές τεχνολογίες απεικονίζονται με «παραμορφωμένα» τετράγωνα και αποτελούνται από τη γεωθερμία, την παράκτια αιολική ενέργεια, τη συγκεντρωτική ηλιακή ενέργεια, τη μπαταρία αποθήκευσης, την τεχνολογία ηλεκτρόλυσης και τις κυψέλες καυσίμου, με βάση τις ηλεκτροπαραγωγικές τεχνολογίες που δύναται ή σχεδιάζεται από την ελληνική κυβέρνηση να εισέλθουν μελλοντικά (**Εικόνα 36**).

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στην **Εικόνα 36**, οι καθαρές τεχνολογίες του συστήματος μπορούν να διοχετεύσουν την παραγόμενη ηλεκτρική τους ενέργεια είτε κατευθείαν στο δίκτυο, ή ως πρώτη ύλη για την παραγωγή υδρογόνου, κάτι το οποίο επετεύχθη μέσω της δημιουργίας δύο καταστάσεων λειτουργίας στο OSeMOSYS-Ελλάδας για τις τεχνολογίες ΑΠΕ του συστήματος. Το παραγόμενο πράσινο υδρογόνο από τις καθαρές τεχνολογίες του συστήματος, στη συνέχεια μετατρέπεται εκ νέου σε ηλεκτρισμό, πριν μεταφερθεί στους τελικούς τομείς ζήτησης. Οπότε, στο πλαίσιο αυτής της μελέτης, δε λαμβάνεται υπόψιν η απευθείας τελική κατανάλωση υδρογόνου. Επίσης, λαμβάνονται υπόψιν και μοντελοποιούνται, οι εμπορικές διασυνδέσεις ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας με την Αλβανία, τη Βουλγαρία, τη Βόρεια Μακεδονία, την Τουρκία και την Ιταλία (**Εικόνα 36**).

Εικόνα 36: Ηλεκτροπαραγωγικό Σύστημα Αναφοράς που ρυθμίστηκε στο OSeMOSYS-Ελλάδας.

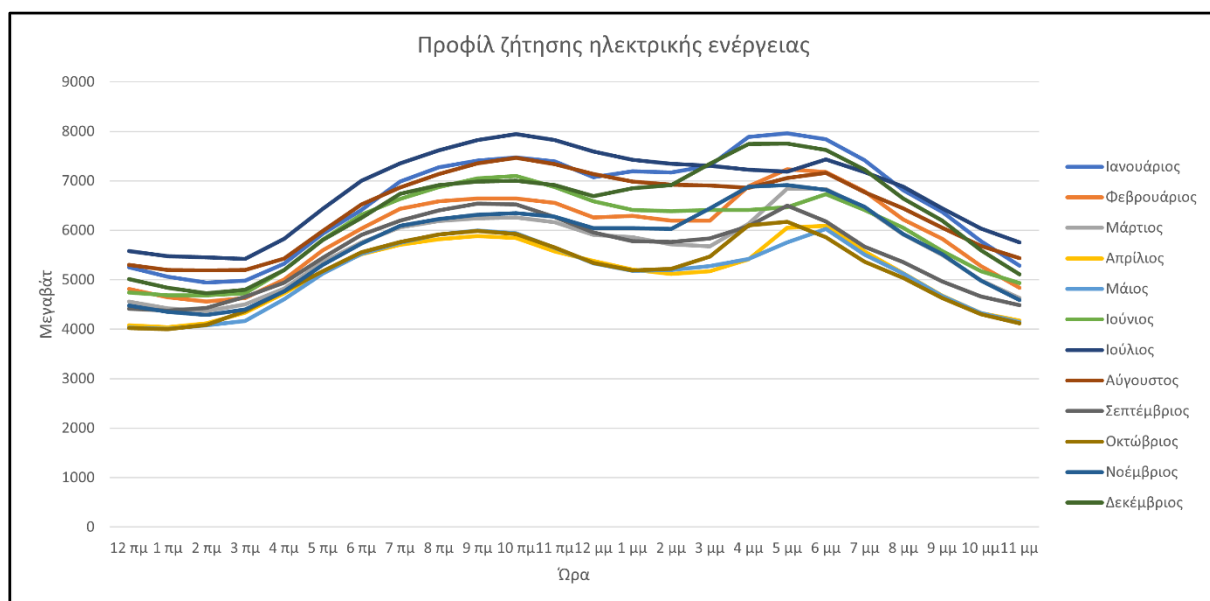


Σχετικά με τον καθορισμό των τεχνοοικονομικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο OSeMOSYS-Ελλάδας και τις βασικές προβλέψεις για την εξέλιξη του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα της Ελλάδας (π.χ., τελική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, τιμολόγηση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα), έγινε χρήση κυρίως των δεδομένων που αναφέρονται στη «Μακροχρόνια Στρατηγική της Ελληνικής Κυβέρνησης» για το 2050 (ΗΜΕΕ, 2019b). Η εν λόγω μελέτη χρησιμοποιήθηκε λόγω του ότι παρέχει

μία χαρακτηριστική εικόνα του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα της Ελλάδας, και άρα προσφέρεται για την αποδοτική αποτύπωσή του. Στην περίπτωση που κάποιο είδος δεδομένων δεν αναφέρονταν στο εν λόγω έγγραφο, χρησιμοποιήθηκαν τα αντίστοιχα δεδομένα από έτερες μελέτες έγκριτων οργανισμών, οι οποίες παρουσιάζουν έναν πιο παγκόσμιο ή ευρωπαϊκό γεωγραφικό προσανατολισμό (π.χ., Carlsson et al., 2014; EC, 2021; IEA, 2021d).

Επίσης, για τη μοντελοποίηση των κλιματικών χαρακτηριστικών των περιοχών της ελληνικής επικράτειας στο OSeMOSYS-Ελλάδας, έγινε χρήση διαδικτυακών προσομοιωτών, π.χ., (Staffell and Pfenniger, 2016), οι οποίοι παρέχουν τη σχετική πληροφόρηση ανά περιοχή της ελληνικής επικράτειας. Επιπλέον, το προφίλ ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας, εξήχθη από τη βάση δεδομένων “ENTSO-E” (Hirth et al., 2018) και ορίστηκε κατά μήκος 24ων χρονικών περιόδων, πιο συγκεκριμένα δώδεκα μηνών και δύο ειδών ημέρας (ημέρα και νύχτα). Η **Εικόνα 37** απεικονίζει το προφίλ ζήτησης που ορίστηκε στο OSeMOSYS-Ελλάδας, με βάση τη συνάθροιση (μέσος όρος) των δεδομένων που εμπεριέχει η βάση “ENTSO-E” αναφορικά με το προφίλ ζήτησης του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα της Ελλάδας, για τα έτη 2015, 2016 και 2017.

**Εικόνα 37:** Προφίλ ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια μιας ημέρας και ανά μήνα, κατά τον τρόπο που ορίστηκε στο OSeMOSYS-Ελλάδας.



Το κόστος κεφαλαίου τέθηκε ίσο με 8%, με βάση τη μελέτη από την οποία εξήχθησαν, κατά κύριο λόγο, τα κόστη —σε όρους επενδύσεων κεφαλαίου— των ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών που εισήλθαν στο μοντέλο (HMEE, 2019b), τα οποία απεικονίζονται στην **Εικόνα 38**, για τις τεχνολογίες ΑΠΕ, και στην **Εικόνα 39**, για τις τεχνολογίες ορυκτών καυσίμων. Όλα τα κόστη του συστήματος, ορίστηκαν στο μοντέλο σε σταθερές τιμές του οικονομικό έτους 2019 (δηλαδή του έτους βάσης της

μοντελοποίησης), εκπεφρασμένες σε δολάρια. Σε αυτή την προσπάθεια, χρησιμοποιήθηκε η συναλλαγματική ισοτιμία μεταξύ δολαρίων και ευρώ, στο επίπεδο του 1.12 Δολάρια/Ευρώ, με βάση το μέσο όρο της συναλλαγματικής ισοτιμίας για το οικονομικό έτος 2019. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε ο πληθωρισμός της ελληνικής οικονομίας (ELSTAT, 2021), όπου χρειάστηκε να γίνει προεκβολή νομισματικών μονάδων σε προγενέστερο ή μεταγενέστερο χρόνο από αυτόν τον οποίο αναφέρονταν αρχικά.

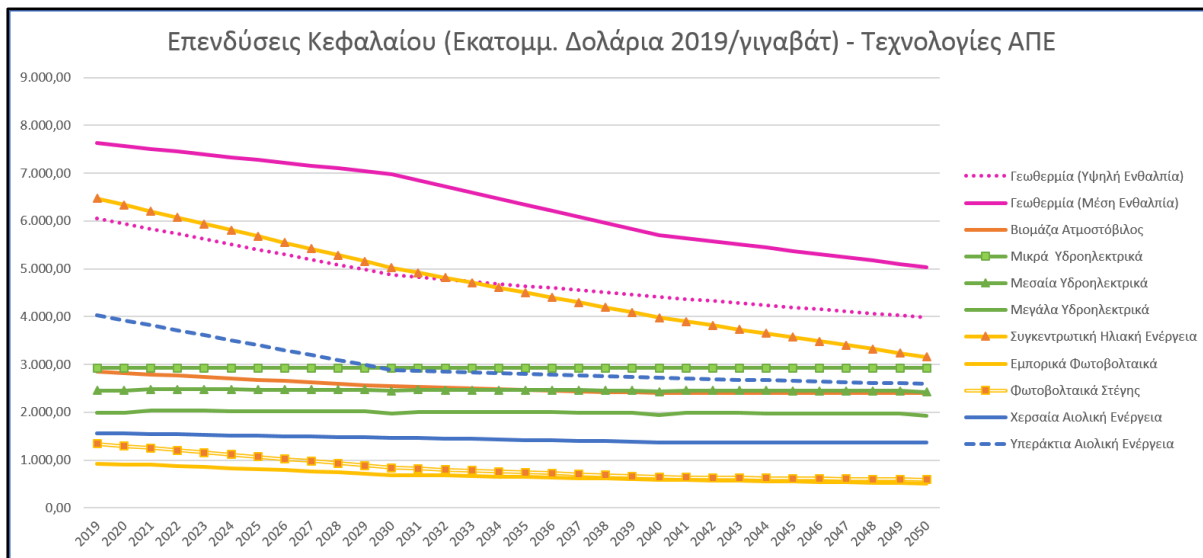
Θα πρέπει να τονιστεί ότι στις απαιτούμενες επενδύσεις κεφαλαίου ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος των τεχνολογιών του συστήματος, συνυπολογίστηκαν και τα χρηματοοικονομικά κόστη που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της κατασκευής των εργοστασίων, τα οποία προστέθηκαν στις «επενδύσεις κεφαλαίου μίας ημέρας» (ΕΚΜΗ; “overnight capital costs”), σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{Επενδύσεις Κεφαλαίου} = \text{ΕΚΜΗ} * (1 + \text{επιτόκιο})^{\text{Έτη Κατασκευής}} \quad (25)$$

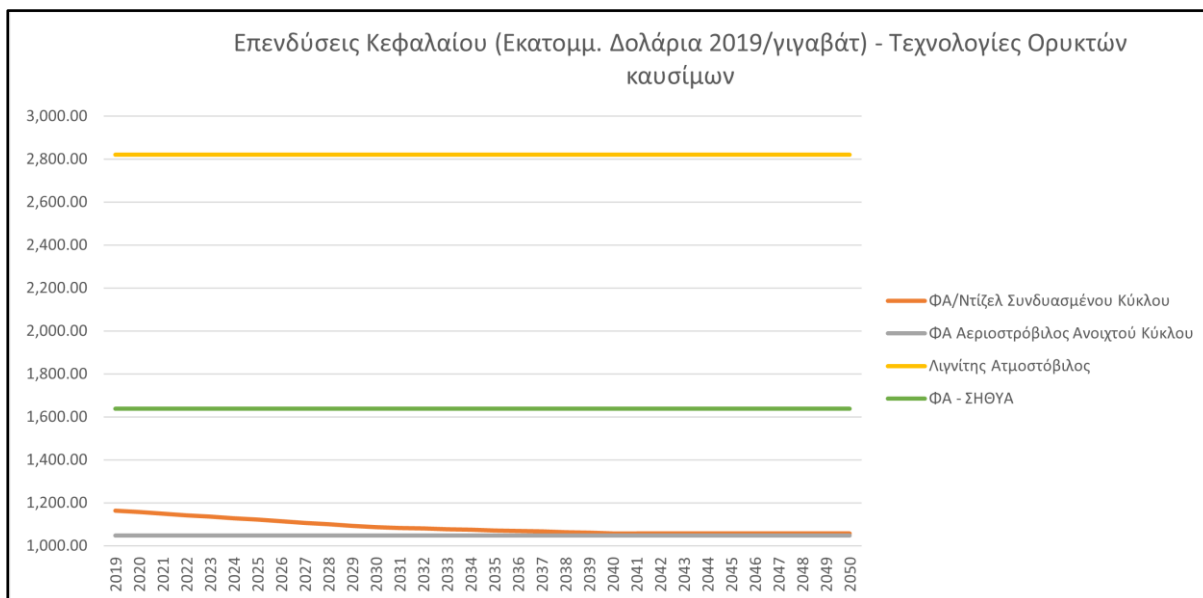
Οι «επενδύσεις κεφαλαίου μίας ημέρας» αντικατοπτρίζουν τα κεφάλαια που θα απαιτούνταν στην περίπτωση που ένα ηλεκτροπαραγωγικό εργοστάσιο μίας δεδομένης τεχνολογίας, κατασκευάζονταν εντός μιας ημέρας. Ωστόσο, είναι προφανές ότι στην πραγματικότητα για την κατασκευή ενός ηλεκτροπαραγωγικού εργοστασίου απαιτείται μία σειρά ετών, το ακριβές ύψος των οποίων διαφοροποιείται από την εκάστοτε εμπλεκόμενη ηλεκτροπαραγωγική τεχνολογία και τις ιδιομορφίες της εξεταζόμενης περιοχής.

Με βάση τα δεδομένα που παρουσιάζονται στην **Εικόνα 38**, δύναται να υπολογισθεί ο ρυθμός εκμάθησης ανά τεχνολογία ΑΠΕ, σε χρονικό ορίζοντα δεκαετίας: ο βαθμός στον οποίο μειώνονται οι απαιτούμενες επενδύσεις κεφαλαίου ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος. Οι βαθμοί εκμάθησης ανά καθαρή ηλεκτροπαραγωγική τεχνολογία απεικονίζονται στην **Εικόνα 40**, ανά δεκαετία της περιόδου 2020-2050, όπως και ο μεσοσταθμικός ρυθμός εκμάθησης του συνόλου των ηλεκτροπαραγωγικών τεχνολογιών που παρουσιάζονται στο εν λόγω σχήμα.

**Εικόνα 38:** Αναμενόμενη εξέλιξη των απαιτούμενων επενδύσεων κεφαλαίου ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος, για κάθε τύπο καθαρής ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας την περίοδο 2019-2050.

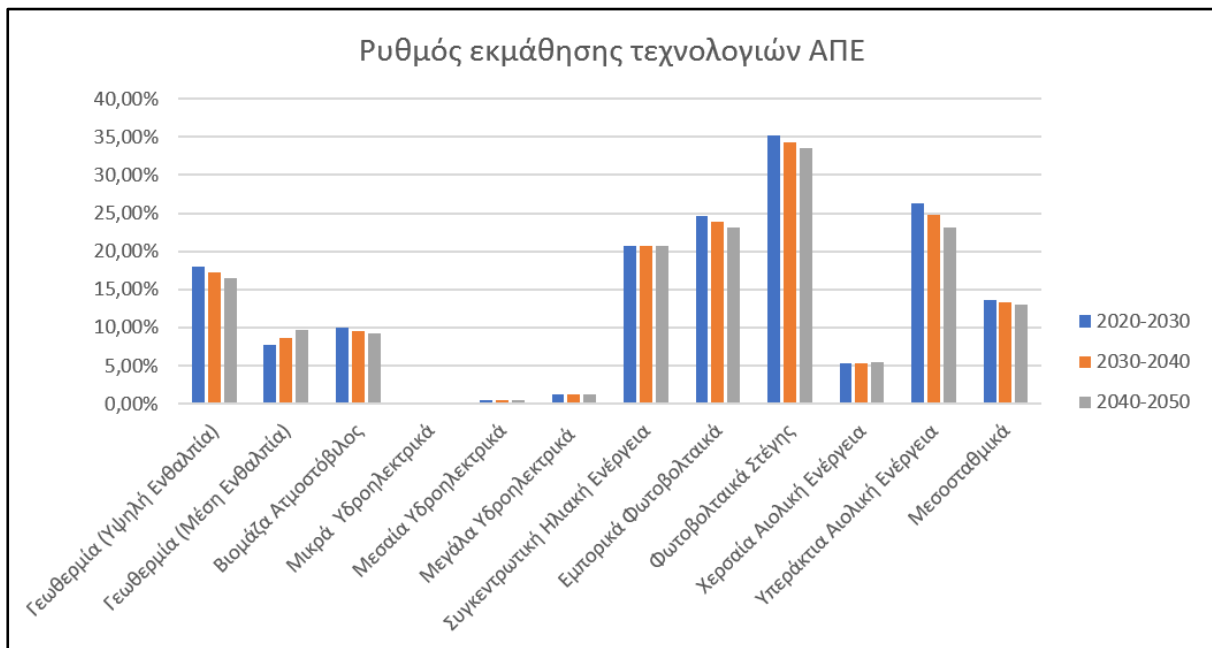


**Εικόνα 39:** Αναμενόμενη εξέλιξη των απαιτούμενων επενδύσεων κεφαλαίου ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος, για κάθε τύπο ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας ορυκτών καυσίμων την περίοδο 2019-2050.





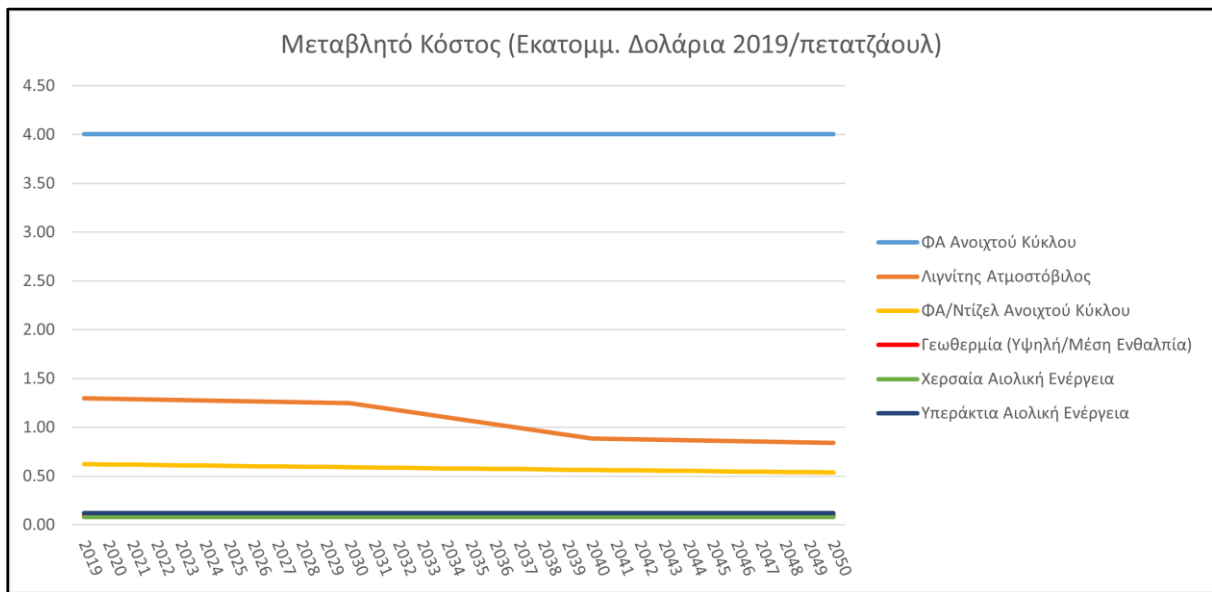
**Εικόνα 40:** Αναμενόμενος ρυθμός εκμάθησης ανά τύπο καθαρής ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας, σε χρονικό ορίζοντα δεκαετίας, την περίοδο 2020-2050.



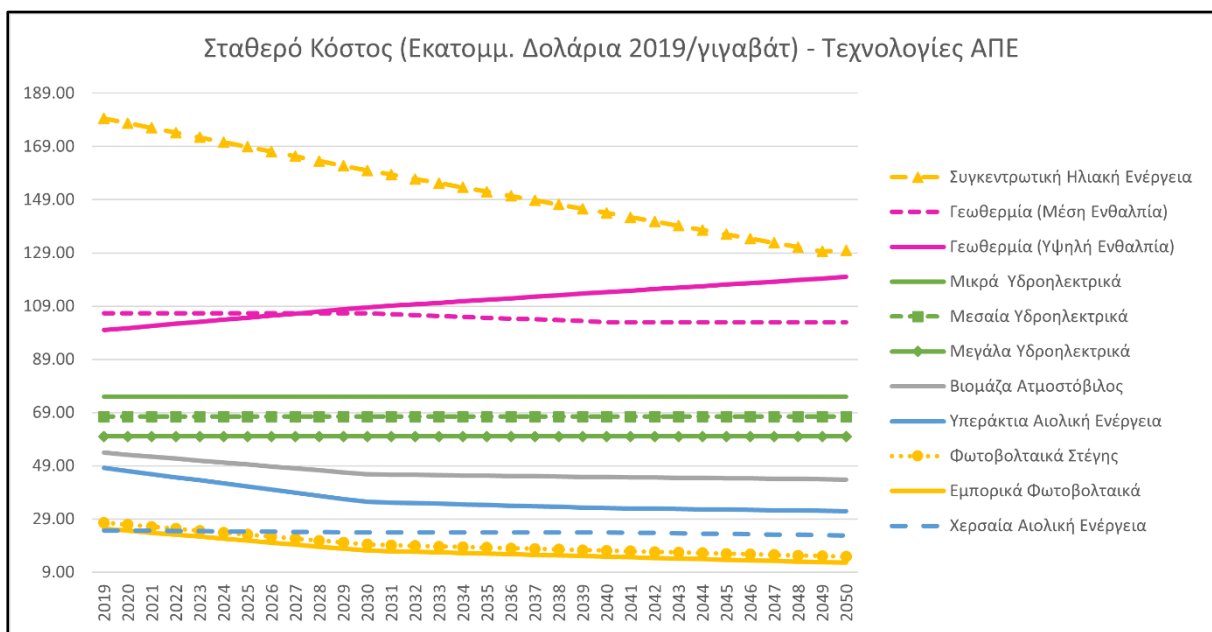
Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα, τα φωτοβολταϊκά στέγης παρουσιάζουν το μεγαλύτερο βαθμό εκμάθησης καθ' όλη την περίοδο που εκτείνεται από το 2020 μέχρι το 2050, ακολουθούμενα από την υπεράκτια αιολική ενέργεια, τα εμπορικά φωτοβολταϊκά, τη συγκεντρωτική ηλεκτρική ενέργεια και τη γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας.

Όσον αφορά τα μεταβλητά κόστη λειτουργίας ανά τύπο ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας, απεικονίζονται στην [Εικόνα 41](#) για τη χρονική περίοδο 2019-2050. Στον αντίποδα, στην [Εικόνα 42](#) απεικονίζονται τα σταθερά κόστη λειτουργίας ανά τύπο καθαρής ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας, και στην [Εικόνα 43](#) ανά τύπο ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας ορυκτών καυσίμων, με χρονικό ορίζοντα που εκτείνεται μέχρι το 2050.

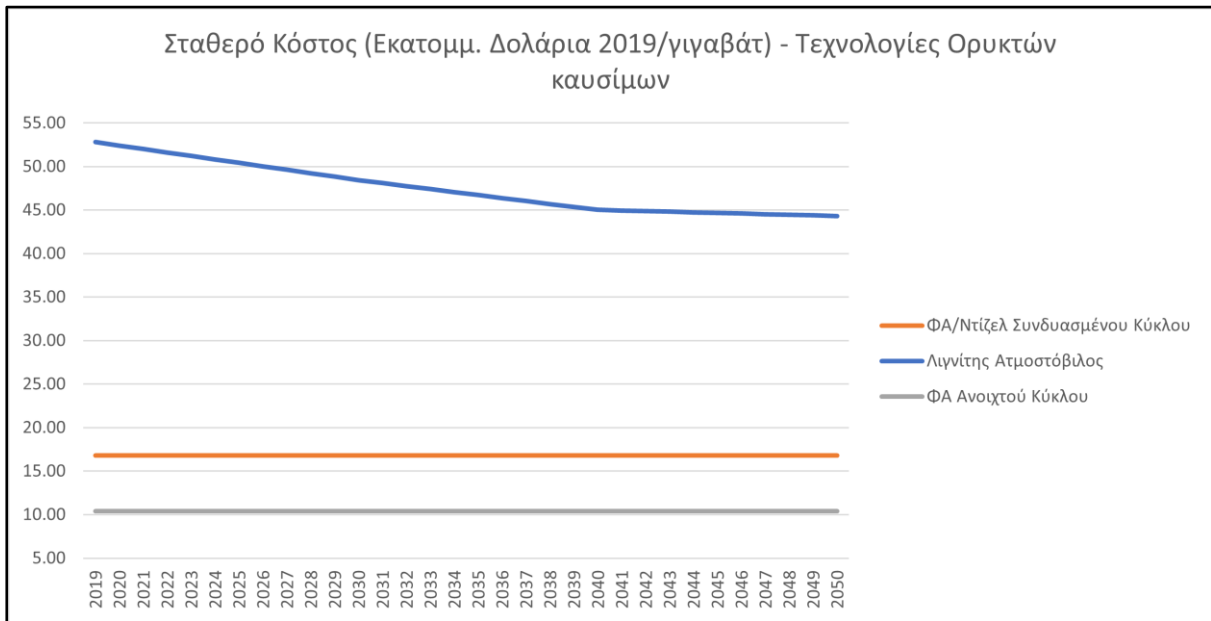
**Εικόνα 41:** Αναμενόμενη εξέλιξη του μεταβλητού κόστους παραγωγής ηλεκτρισμού, ανά τύπο ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας την περίοδο 2019-2050.



**Εικόνα 42:** Αναμενόμενη εξέλιξη του σταθερού κόστους λειτουργίας ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος, ανά τύπο καθαρής ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας την περίοδο 2019-2050.

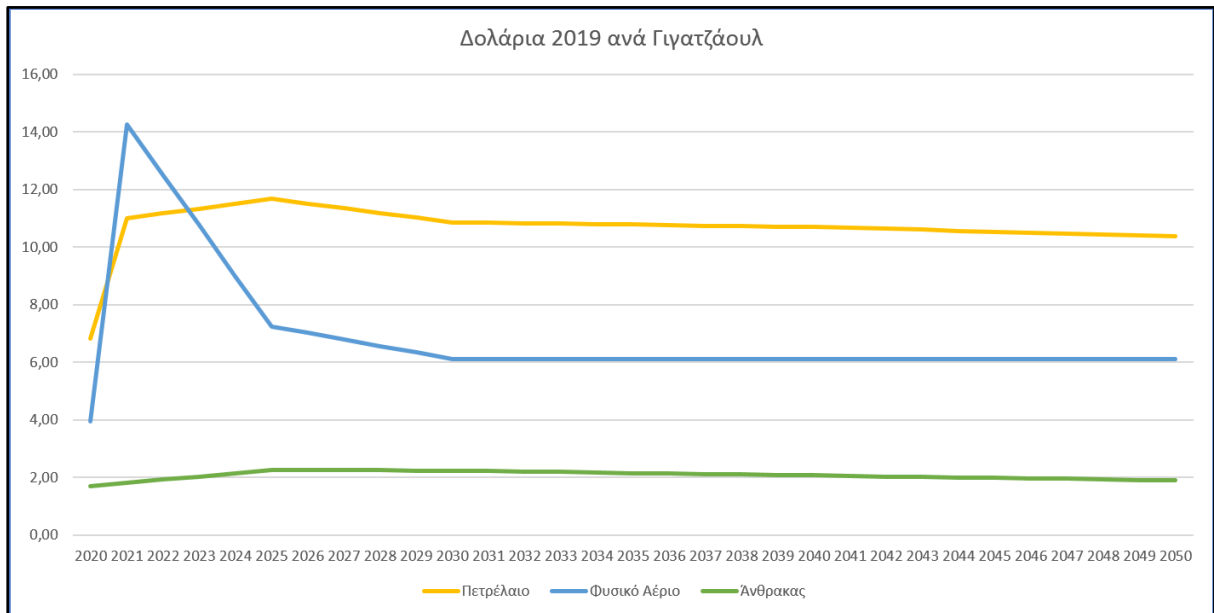


**Εικόνα 43:** Αναμενόμενη εξέλιξη του σταθερού κόστους λειτουργίας ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος, ανά τύπο ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας ορυκτών καυσίμων την περίοδο 2019-2050.

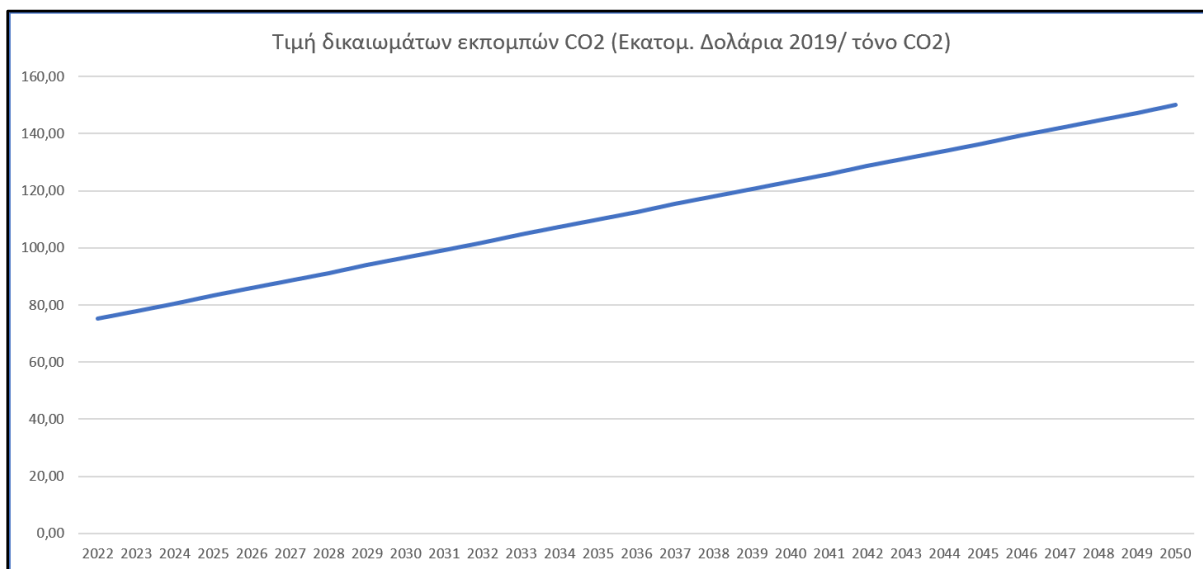


Όσον αφορά την αναμενόμενη εξέλιξη των τιμών ορυκτών καυσίμων και των δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, απεικονίζονται στις **Εικόνες 44-45** και ορίστηκαν με βάση το σενάριο “EU Reference 2020”.

**Εικόνα 44:** Αναμενόμενη εξέλιξη των τιμών ορυκτών καυσίμων μέχρι το 2050 (EC, 2021a).

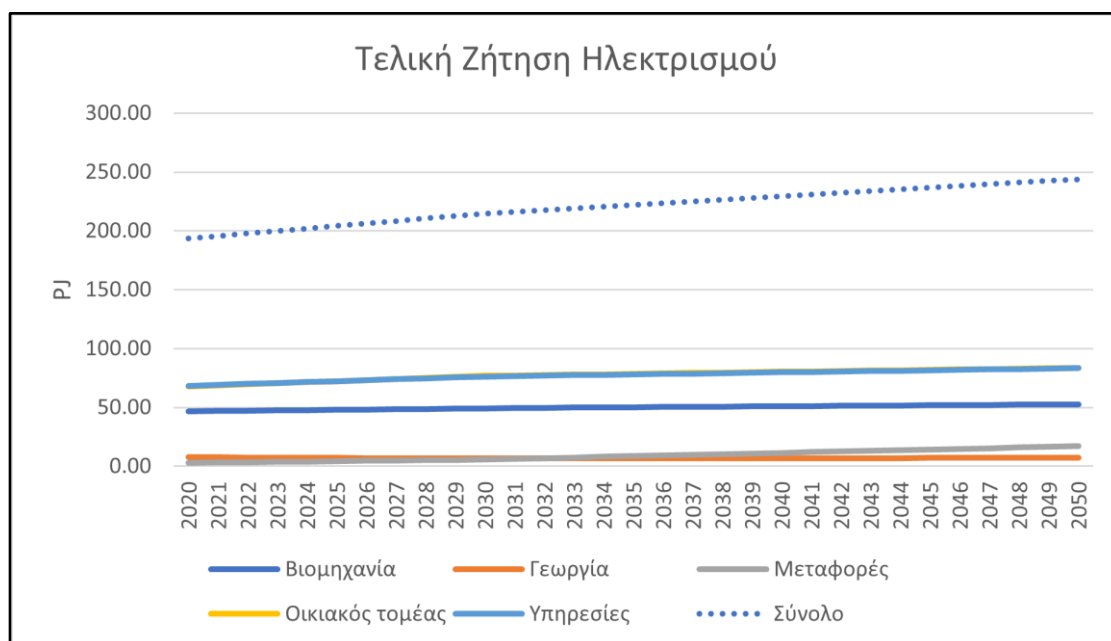


**Εικόνα 45:** Αναμενόμενη εξέλιξη των τιμών δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, μέχρι το 2050 (EC, 2021a).



Όσον αφορά την τελική ζήτηση ηλεκτρισμού που ορίστηκε στο OSeMOSYS-Ελλάδας, απεικονίζεται στην **Εικόνα 46**, ανά τομέα τελικής ζήτησης και συνολικά. Ο ορισμός της βασίστηκε στα δεδομένα της Μακροχρόνιας Στρατηγικής της ελληνικής κυβέρνησης, για το σενάριο το οποίο περιλαμβάνει τους στόχους του ΕΣΕΚ χωρίς επιπλέον στόχους μετά το 2030, ήτοι για το ΕΣΕΚ2030 (περισσότερες πληροφορίες στην **Ενότητα 4.1.2**), το οποίο λόγω αυτών των χαρακτηριστικών του μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιστοιχεί στο θεωρούμενο σενάριο αναφοράς της διενεργούμενης άσκησης.

**Εικόνα 46:** Αναμενόμενη εξέλιξη της τελικής ζήτησης ηλεκτρισμού μέχρι το 2050 ανά τομέα, κατά τον τρόπο που ορίστηκε στο OSeMOSYS-Ελλάδας.



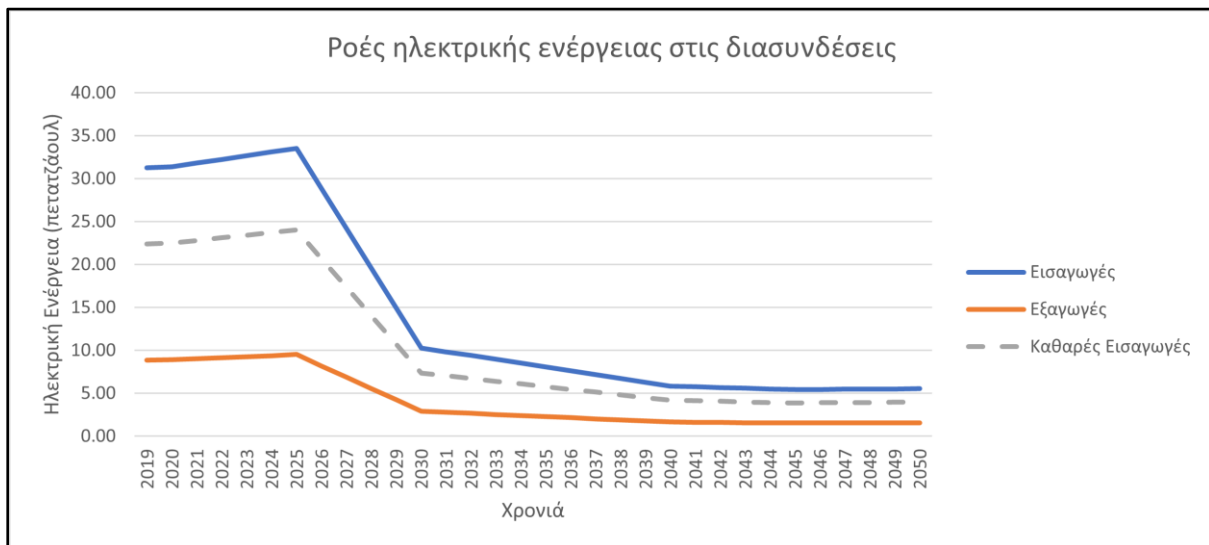
Η **Εικόνα 47** απεικονίζει το λειτουργικό χρόνο ζωής και τον απαιτούμενο χρόνο κατασκευής, ανά τύπο ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας, κατά τον τρόπο που ορίστηκαν στο OSeMOSYS-Ελλάδας.

**Εικόνα 47:** Λειτουργικός χρόνος ζωής και απαιτούμενος χρόνος κατασκευής εγκαταστάσεων, ανά ηλεκτροπαραγωγική τεχνολογία (ΗΜΕΕ, 2019b; IEA, 2021b).



Όσον αφορά τις ροές ηλεκτρικής ενέργειας με άλλες χώρες, ορίστηκαν εξωγενώς στο μοντέλο, χρησιμοποιώντας τις προβλέψεις που παρέχονται στο σενάριο “EU Reference 2020”. Με αυτό τον τρόπο, αποφεύχθηκαν αυξομειώσεις στο επίπεδο της εγχώριας ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίες θα λάμβαναν χώρα στην περίπτωση που καθορίζονταν ενδογενώς από το μοντέλο ως αποτέλεσμα των εξισώσεών του, εξαιτίας αλλαγών στις δυναμικές των τιμών. Αυτό το εύρημα, προέκυψε κατά τη διενέργεια δοκιμαστικών προσομοιώσεων, κατά τις οποίες οι ροές ηλεκτρικής ενέργειας με άλλες χώρες προέκυψαν ενδογενώς από το OSeMOSYS-Ελλάδας, ως λύσεις των εξισώσεών του. Στην **Εικόνα 48** απεικονίζεται πως αναμένεται να εξελιχθούν οι ροές ηλεκτρικής ενέργειας στα σημεία διασύνδεσης με άλλες χώρες, κατά την περίοδο 20219-2050.

**Εικόνα 48:** Αναμενόμενη εξέλιξη των ροών ηλεκτρικής ενέργειας στα σημεία διασύνδεσης με άλλες χώρες, κατά την περίοδο 2019-2050 (EC, 2021a).



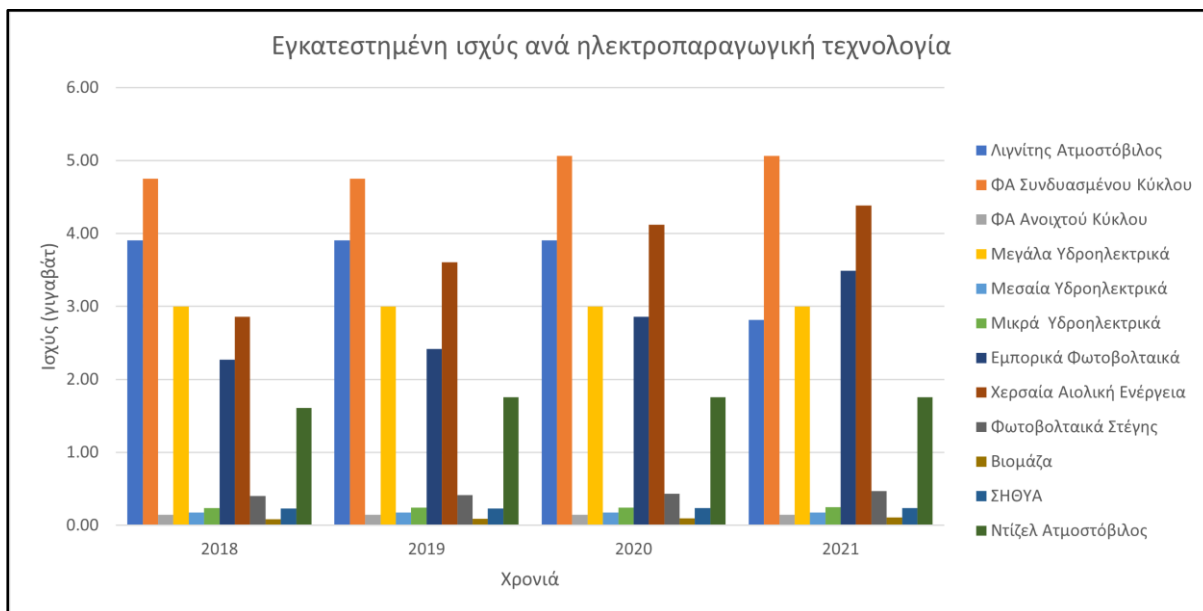
Όσον αφορά την απεικόνιση των ιδιαιτεροτήτων του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος της Ελλάδας, αναφορικά με την υπάρχουσα δυναμικότητα του συστήματος σε όρους εγκατεστημένης ισχύος ανά τύπο ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας, όπως και για τη δυνητικά μέγιστη ετήσια αύξηση της δυναμικότητάς τους που μπορεί να παρατηρηθεί, έλαβε χώρα μία επισκόπηση σχετικών μελετών με γεωγραφική αναφορά στην περίπτωση της Ελλάδας (IPTO, 2019), καθώς και ανάλυση των ιστορικών δεδομένων του ελληνικού ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος (π.χ., IEA, 2021e). Σε αυτό το πλαίσιο, στην **Εικόνα 49** απεικονίζεται η εγκατεστημένη ισχύς ανά τύπο ηλεκτροπαραγωγικής τεχνολογίας για τα έτη 2018, 2019, 2020 και 2021, με βάση την οποία ρυθμίστηκε το μοντέλο στα πρώτα έτη λειτουργίας του.

Όσον αφορά τους συντελεστές εντάσεως εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, για τα ορυκτά καύσιμα που ορίστηκαν στο OSeMOSYS-Ελλάδας, απεικονίζονται στην **Εικόνα 50**.

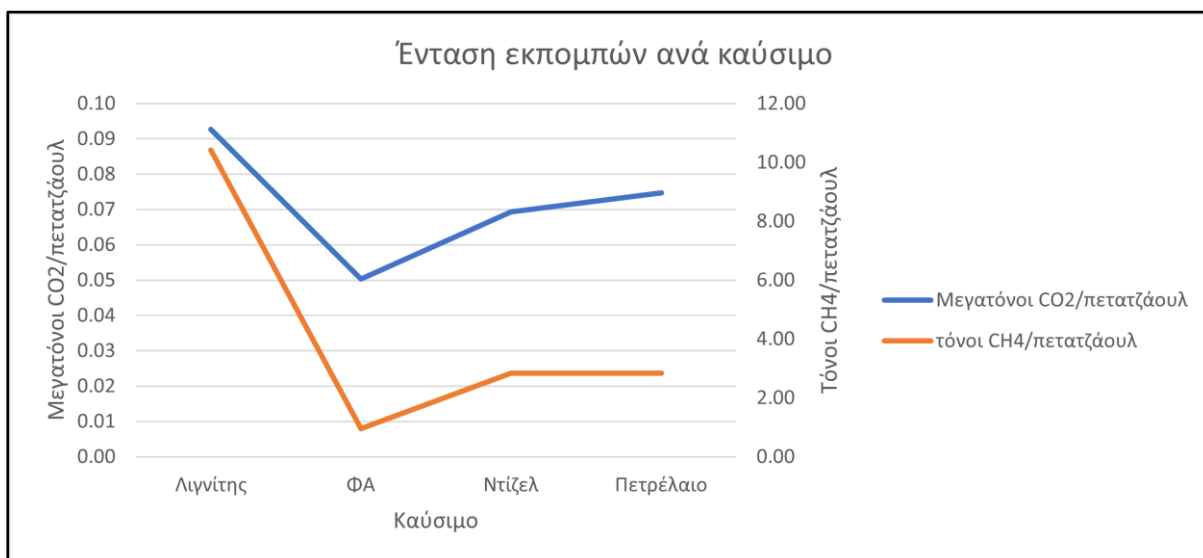
Θα πρέπει να αναφερθεί ότι δεδομένου ότι το OSeMOSYS αποτελεί ένα δυναμικό μοντέλο, δηλαδή παράγει τα αποτελέσματα του σε ετήσια βάση, τα δεδομένα εισόδου που λαμβάνει πρέπει να του παρέχονται με έναν αντίστοιχο τρόπο, δηλαδή ανά έτος. Συνήθως, όμως, αρκετές βιβλιογραφικές πηγές παράσχουν τις προβλέψεις τους για συγκεκριμένα μελλοντικά έτη, συνήθως σε χρονικό ορίζοντα δεκαετίας. Οπότε, σε αυτές τις περιπτώσεις, οι ενδιάμεσες τιμές υπολογίστηκαν μέσω μίας γραμμικής προεκβολής των τιμών βάσης. Πιο συγκεκριμένα, αν αναφερόταν ότι η τιμή βάσης μιας μεταβλητής το 2030 (έτος βάσης— $\epsilon_\beta$ ) είναι  $X$  μονάδες, και το 2040 (έτος στόχος— $\epsilon_\sigma$ ) αναμένεται να φθάσει τις  $Y$  μονάδες, οι επιμέρους τιμές ( $X_\epsilon$ ) για κάθε ενδιάμεσο έτος ( $\epsilon_\epsilon$ ) υπολογίστηκαν με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$X_{\varepsilon} = X * (1 + ((Y/X - 1) * ((\varepsilon_{\varepsilon} - \varepsilon_{\beta}) / (\varepsilon_{\sigma} - \varepsilon_{\beta})))) \tag{26}$$

**Εικόνα 49:** Εγκατεστημένη ισχύς ανά τεχνολογία του ελληνικού ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, για τα έτη 2018, 2019, 2020 και 2021.



**Εικόνα 50:** Συντελεστές εντάσεως εκπομπών ανά ορυκτό καύσιμο, κατά τον τρόπο που ορίστηκαν στο OSeMOSYS-Ελλάδας (ΕΙΑ, 2022; ΕΡΑ, 2018).



#### 4.3.4 Διαχείριση Αβεβαιότητας

Όσον αφορά τον τρόπο που διαχειρίζεται η αβεβαιότητα σχετικά με τα δεδομένα εισόδου του OSeMOSYS-Ελλάδας, εφαρμόζεται η μεθοδολογία που περιγράφηκε στην [Ενότητα 3.3](#), θεωρώντας ως αβέβαιες παραμέτρους —για τους σκοπούς της παρούσας ανάλυσης— τα κόστη του συστήματος και το ύψος της τιμολόγησης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (“carbon pricing”).

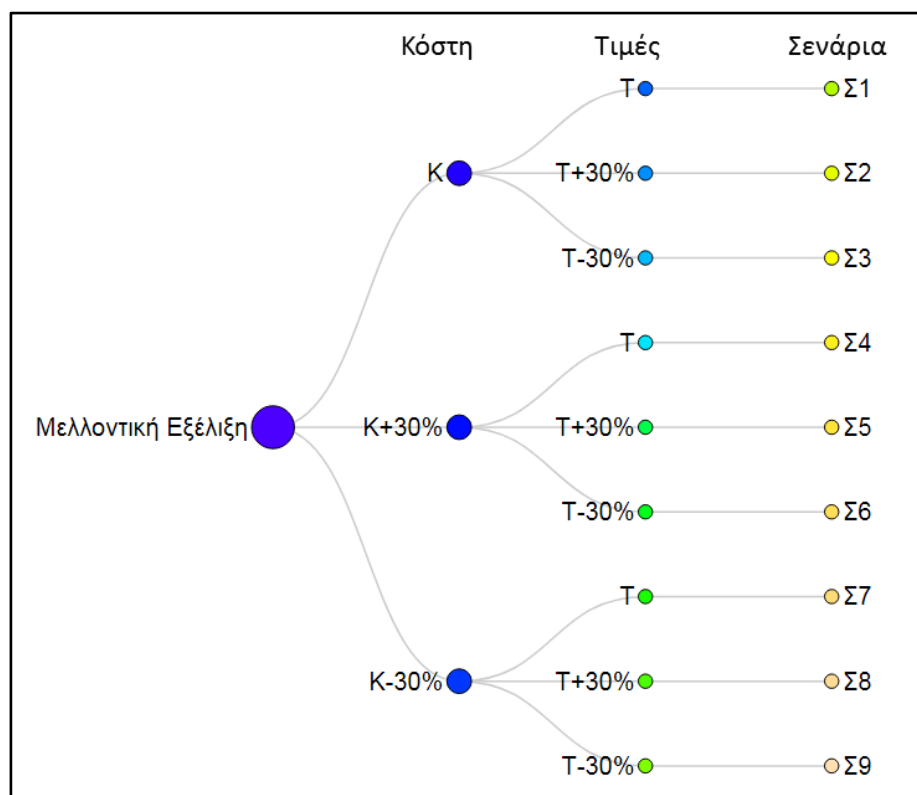
Πιο συγκεκριμένα, αναφορικά με τα κόστη του συστήματος, συμπεριλαμβανόμενων των επενδύσεων κεφαλαίου και των σταθερών και μεταβλητών εξόδων λειτουργίας του συστήματος, λαμβάνονται υπόψιν τρία σενάρια. Το πρώτο σενάριο περιγράφει την περίπτωση «μέσου κόστους» (Kv), και περιλαμβάνει τα αναμενόμενα κόστη, όπως αυτά προέκυψαν από βιβλιογραφική επισκόπηση (EC, 2021b; HMEE, 2019a). Στον αντίποδα, το σενάριο «αυξημένου κόστους», θεωρεί κόστη τα οποία είναι αυξημένα κατά 30% σε σχέση με το σενάριο «μέσου κόστους» (Kv+30%). Τέλος, το σενάριο «μειωμένου κόστους», θεωρεί ότι τα κόστη είναι μειωμένα κατά 30%, σε σχέση με το σενάριο «μέσου κόστους» (Kv-30%).

Παρομοίως, για τις οριζόμενες τιμές δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, λαμβάνονται υπόψιν τρία σενάρια. Πιο συγκεκριμένα, το σενάριο «μέσων τιμών» (Tv), με βάση επίσημες προβλέψεις σχετικά με την εξέλιξή τους (HMEE, 2019b), το σενάριο «αυξημένων τιμών», που τις θεωρεί διογκωμένες στο ύψος του 30%, σε σχέση με το σενάριο «μέσων τιμών» (Tv+30%), και, αντίστοιχα, το σενάριο «μειωμένων τιμών», που τις θεωρεί συρρικνωμένες στο επίπεδο του 30%, σε σχέση με το σενάριο «μέσων τιμών» (Tv-30%).

Όπως αναφέρθηκε ενδελεχώς στην αντίστοιχη ενότητα της μεθοδολογίας ([Ενότητα 3.3](#)), λαμβάνονται υπόψιν όλοι οι διαθέσιμοι συνδυασμοί μεταξύ των εξεταζόμενων παραμέτρων αβεβαιότητας, κάτι το οποίο οδηγεί σε 9 σενάρια, τα οποία απεικονίζονται στην [Εικόνα 51](#). Στην ίδια εικόνα, περιλαμβάνονται και τα επίπεδα των παραμέτρων αβεβαιότητας που θεωρούνται στο πλαίσιο καθενός εξεταζόμενου σεναρίου. Κάθε μία από τις τέσσερις εξεταζόμενες πολιτικές για το πράσινο υδρογόνο, όπως και σενάριο αναφοράς, προσομοιώνεται κατά μήκος αυτών των 9 σεναρίων, κάτι το οποίο οδηγεί σε 45 σενάρια πολιτικής συνολικά.



**Εικόνα 51:** Θεωρούμενα επίπεδα για τις αβέβαιες παραμέτρους της ανάλυσης (τιμολόγηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και κόστη συστήματος), ανά εξεταζόμενο σενάριο ( $\Sigma_i, i=1,\dots,9$ ).



#### 4.3.5 Πολυκριτήρια Αξιολόγηση Πολιτικών Πράσινου Υδρογόνου

Στη συνέχεια, οι πολιτικές για το πράσινο υδρογόνο αξιολογούνται από μία πολυκριτήρια σκοπιά, εφαρμόζοντας το μεθοδολογικό πλαίσιο ReReVITO, που περιγράφηκε ενδελεχώς στην **Ενότητα 3.4**. Τα κριτήρια επίδοσης επί της βάσης των οποίων διενεργείται αυτή η αξιολόγηση, απεικονίζονται στον **Πίνακα 11**. Με βάση αυτή τη μεθοδολογία, οι πολιτικές ενδιαφέροντος για το πράσινο υδρογόνο, αξιολογούνται, αρχικά, επί της βάσης της ευρωστίας τους έναντι της αβεβαιότητας, με βάση τα μέτρα —ποσοτικοποίησης των «βαθμών δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων— της «συνολικής χρησιμότητας» και της «μέγιστης δυσαρέσκειας». Έπειτα, οι εν λόγω πολιτικές, αξιολογούνται επί της βάσης της συνολικής επίδοσής τους στα κριτήρια της ανάλυσης, με βάση την εφαρμογή των πολυκριτήριων μεθόδων VIKOR και TOPSIS. Τα αποτελέσματα που παράγονται, κατηγοριοποιούνται με βάση το προφίλ του αποφασίζοντα απέναντι στον κίνδυνο.

**Πίνακας 11:** Δομή και χαρακτηριστικά των κριτηρίων επίδοσης της ανάλυσης.

Οικογένεια Κριτηρίων	Υπο-κριτήρια	Μονάδα Μέτρησης	Χαρακτηριστικά
Περιβαλλοντικά	K <sub>1</sub> : Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα	Μεγατόνοι	▼
	K <sub>2</sub> : Επενδύσεις κεφαλαίου		▼
Οικονομικά	K <sub>3</sub> : Μεταβλητά κόστη λειτουργίας	Εκατομμύρια Ευρώ (Καθαρά παρούσα Αξία)	▼
	K <sub>4</sub> : Σταθερά κόστη λειτουργίας		▼
Τεχνικά	K <sub>5</sub> : Εξάρτηση σε Εισαγωγές*	Αδιάστατο μέγεθος	▼
	K <sub>6</sub> : Συνολική Ισχύς	Γιγαβάτ	▲

▼: Κριτήριο Κόστους, ▲: Κριτήριο Οφέλους, (\*): Εισαγωγές/Τελική Ζήτηση (Eurostat, 2021)

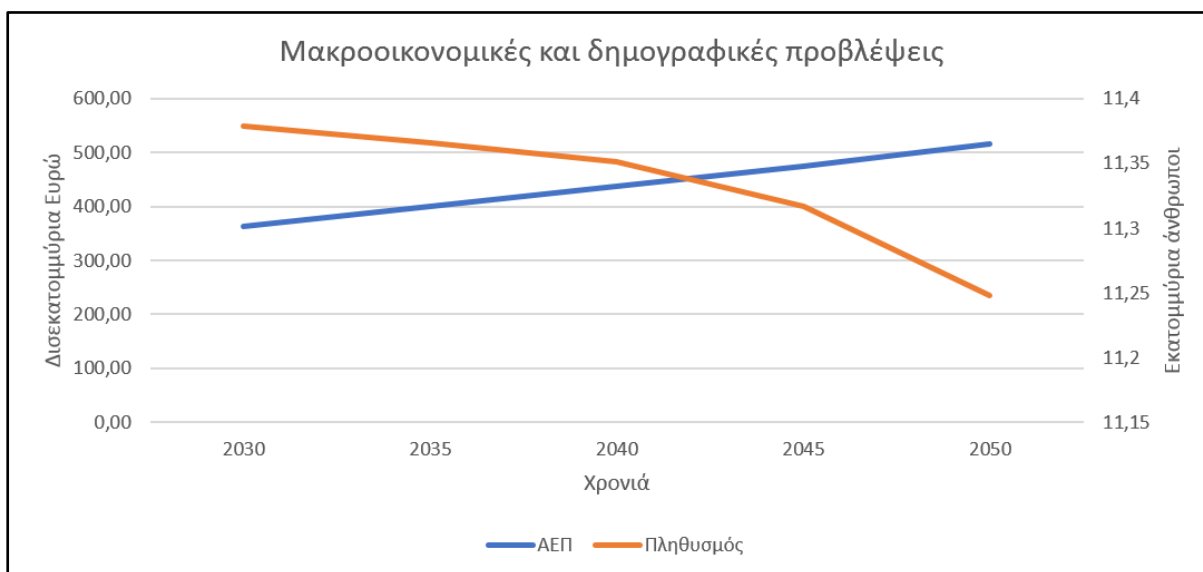
#### 4.3.6 Εξέταση του Μακροοικονομικού Αποτυπώματος των Πολιτικών Πράσινου Υδρογόνου

Σε αυτό το στάδιο της ανάλυσης, επιχειρείται να αξιολογηθεί το δυνητικό μακροοικονομικό και κοινωνικό αποτύπωμα των εξεταζόμενων πολιτικών για το πράσινο υδρογόνο, και δη αυτών που προέκυψαν ότι παρουσιάζουν τις καλύτερες προδιαγραφές ανά προφίλ αποφασιζόντων, με βάση τη συμπεριφορά τους απέναντι στην αβεβαιότητα. Για να υλοποιηθεί το εν λόγω εγχείρημα, χρησιμοποιήθηκε η πληροφορία που εξήχθη από το OSeMOSYS-Ελλάδας, αναφορικά με το κόστος υλοποίησης των εξεταζόμενων πολιτικών πράσινου υδρογόνου πλέον του βασικού σεναρίου αναφοράς, συμπεριλαμβανομένων των επενδυτικών αναγκών και του σταθερού και μεταβλητού κόστους λειτουργίας του συστήματος. Η εν λόγω πληροφορία «ενημέρωσε» το GTAP-Ελλάδας, το οποίο είναι σε θέση να απαντήσει σε ερωτήσεις που αφορούν σε ολόκληρη την ελληνική οικονομία.

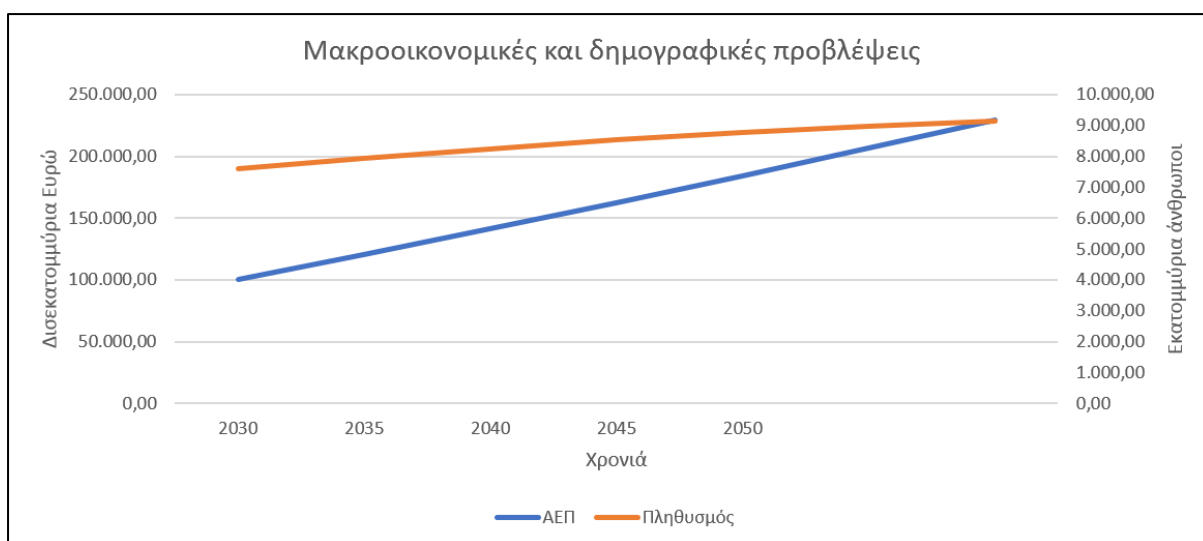
Αρχικά, κατασκευάστηκε με το GTAP-Ελλάδας το σενάριο αναφοράς για την ελληνική οικονομία και για το «Υπόλοιπο του Κόσμου» (δηλαδή για την παγκόσμια οικονομία εκτός από την ελληνική) κατά την περίοδο 2030-2050, με βάση τα δεδομένα του 2ου «Διαμοιρασμένου Κοινωνικοοικονομικού Μονοπατιού» (SSP2), όπως αυτό παρέχεται από το «Παγκόσμιο Ινστιτούτο Εφαρμοσμένης Ανάλυσης Συστημάτων». Οι **Εικόνες 52-55** απεικονίζουν τις βασικές μακροοικονομικές και δημογραφικές προβλέψεις, επί των οποίων κατασκευάστηκε το βασικό

σενάριο αναφοράς κατά την περίοδο 2030-2050, τόσο για την ελληνική οικονομία, όσο και για το «Υπόλοιπο του Κόσμου». Πιο συγκεκριμένα, οι **Εικόνες 52-53** απεικονίζουν την εξέλιξη του ΑΕΠ και του πληθυσμού, τόσο για την Ελλάδα, όσο και για το «Υπόλοιπο του Κόσμου». Οι **Εικόνες 54-55** παρουσιάζουν τις έτερες προβλέψεις αναφορικά με τις διαστάσεις του εργατικού δυναμικού και της συσσώρευσης κεφαλαίου, τόσο για την ελληνική οικονομία, όσο και για το «Υπόλοιπο του Κόσμου».

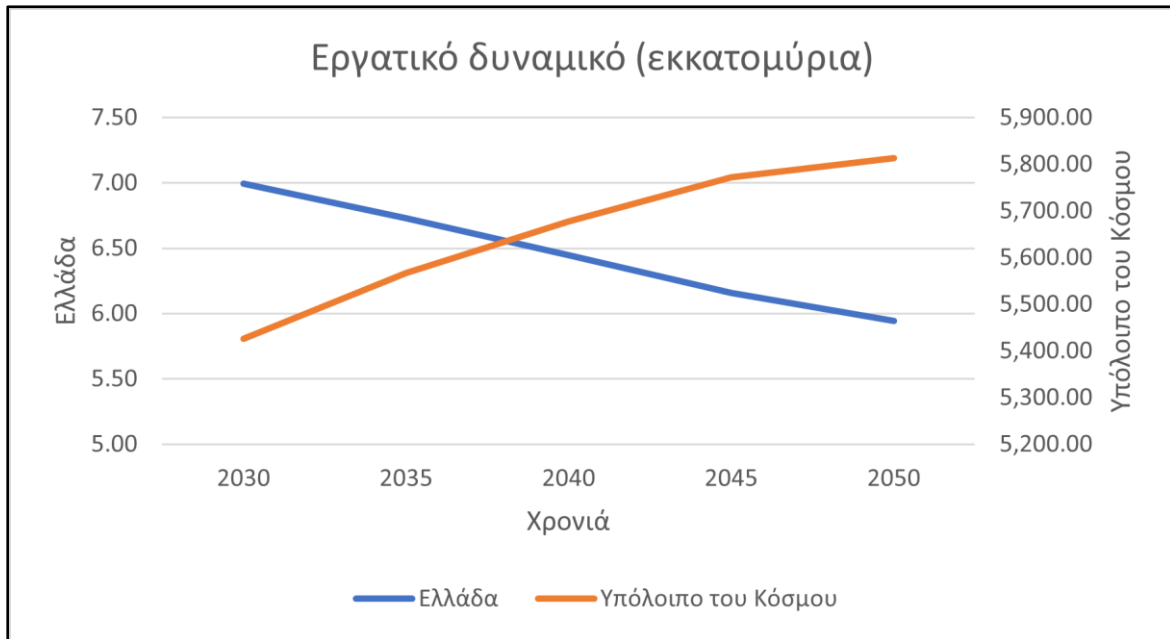
**Εικόνα 52:** Εξέλιξη του ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας και του ελληνικού πληθυσμού κατά την περίοδο 2030-2050.



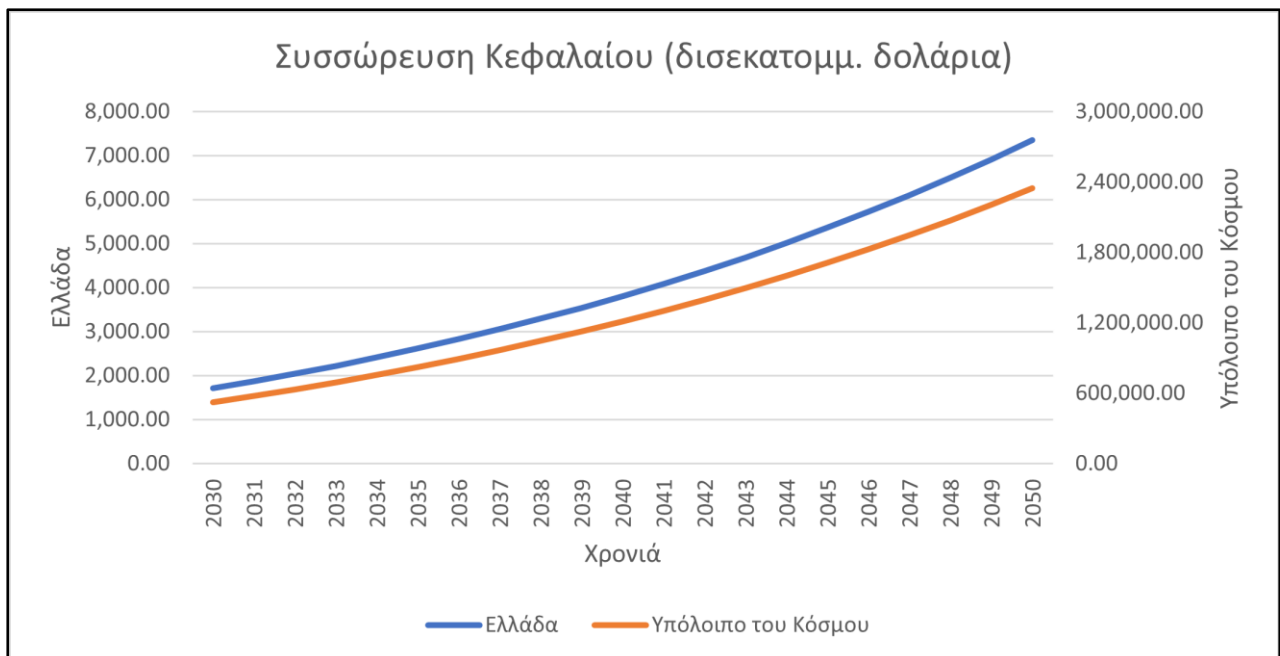
**Εικόνα 53:** Εξέλιξη του ΑΕΠ και του πληθυσμού για το «Υπόλοιπο του Κόσμου» κατά την περίοδο 2030-2050.



**Εικόνα 54:** Εξέλιξη του εργατικού δυναμικού για την Ελλάδα και το «Υπόλοιπο του Κόσμου» κατά την περίοδο 2030-2050.



**Εικόνα 55:** Εξέλιξη της συσσώρευσης κεφαλαίου για την ελληνική οικονομία και το «Υπόλοιπο του Κόσμου» κατά την περίοδο 2030-2050.



Οπότε, με βάση αυτές τις υποθέσεις, ανακτήθηκαν οι «διαταραχές» στην οικονομία με τις οποίες κατασκευάστηκε το βασικό σενάριο αναφοράς για την Ελλάδα και το «Υπόλοιπο του Κόσμου», κατά την περίοδο 2030-2050. Αυτές οι διαταραχές απεικονίζονται στον [Πίνακα 12](#).

**Πίνακας 12:** «Διαταραχές» στην οικονομία που εφαρμόστηκαν στο μοντέλο GTAP-Ελλάδας, για την κατασκευή του βασικού σεναρίου αναφοράς για την Ελλάδα και το «Υπόλοιπο του Κόσμου», κατά τις περιόδους 2030–2035, 2030–2040, 2030–2045 και 2030–2050.

Μεταβλητή	Περιοχή	2030-2035	2030-2040	2030-2045	2030-2050
ΑΕΠ	Ελλάδα	9.94%	20.28%	30.79%	41.85%
	ΥτΚ	14.77%	30.10%	45.93%	61.99%
Πληθυσμός	Ελλάδα	-0.11%	-0.25%	-0.54%	-1.15%
	ΥτΚ	3.38%	6.36%	8.91%	10.98%
Προσφορά εργασίας	Ελλάδα	-3.80%	-7.86%	-11.96%	-15.01%
	ΥτΚ	2.60%	4.65%	6.38%	7.14%
Προσφορά Κεφαλαίου	Ελλάδα	10.35%	23.58%	39.34%	57.50%
	ΥτΚ	12.70%	26.66%	41.70%	57.67%

ΥτΚ: Υπόλοιπο του Κόσμου

Θα πρέπει να τονιστεί, ότι δεδομένου ότι οι αρχικοί ΠΚΛ της ελληνικής και παγκόσμιας οικονομίας που εξήχθησαν από τη βάση δεδομένων GTAP έκδοση 11, είχαν έτος αναφοράς το 2017, τα δεδομένα τους ανανεώθηκαν με σκοπό την απεικόνιση της ελληνικής και της παγκόσμιας οικονομίας για το 2030, που είναι και το έτος βάσης (έναρξης) της παρούσας ανάλυσης. Αυτό έλαβε χώρα με γνώμονα την ενσωμάτωση στα δεδομένα της ελληνικής και παγκόσμιας οικονομίας, των αλλαγών που έλαβαν —ή αναμένεται να λάβουν— χώρα κατά την περίοδο 2017-2030, με βάση τις μακροοικονομικές προβλέψεις από το 2<sup>ο</sup> Διαμοιρασμένο Κοινωνικοοικονομικό Μονοπάτι που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Αναλυτικότερες πληροφορίες για τον τρόπο διενέργειας της εν λόγω εργασίας, δηλαδή της ανανέωσης του έτους βάσης ενός ΠΚΛ, παράσχησαν στην [Ενότητα 3.6.1](#) και στην [Ενότητα 4.2.2](#).

Μία βασική παράμετρος η οποία επηρεάζει την ανάλυση για το μακροοικονομικό αποτύπωμα ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων πολιτικής, αποτελεί η θεώρηση σχετικά με τον παράγοντα της οικονομίας ο οποίος αναμένεται να καλύψει το απαιτούμενο κόστος υλοποίησης των πολιτικών. Πιο συγκεκριμένα, το εν λόγω κόστος δύναται να καλυφθεί από τον τελικό καταναλωτή, είτε μέσω απευθείας επενδύσεων (π.χ. εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στέγης), είτε μέσω της μετακύλισης του κόστους στην τελική τιμή ενέργειας. Επίσης, το κόστος υλοποίησης μπορεί να χρηματοδοτείται από την εκάστοτε κυβέρνηση, μέσω επιδότησης στα νοικοκυριά ή στις επιχειρήσεις, ενώ μπορεί να καλυφθεί και μέσω κάποιας εξωτερικής χρηματοδότησης, η οποία δεν προκαλεί αύξηση του

δανεισμού για τα νοικοκυριά ή την κυβέρνηση. Είναι προφανές και μάλιστα πολύ συχνό φαινόμενο, ότι μπορεί στην πράξη να εφαρμοστεί μία υβριδική προσέγγιση, η οποία να συνδυάζει παραπάνω από μία από τις προαναφερθείσες πηγές χρηματοδότησης.

Οπότε, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, για τις δύο πολιτικές οι οποίες εντοπίστηκαν ως οι καταλληλότερες για κάθε τύπο αποφασιζόντων, εξετάζονται τα ακόλουθα σενάρια χρηματοδότησης:

- **«ΚΥΒ»:** Σε αυτό το σενάριο η κυβέρνηση καλύπτει εξ' ολοκλήρου το κόστος μετατροπής του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος.
- **«ΝΟΙΚ»:** Σε αυτό το σενάριο τα νοικοκυριά καλύπτουν εξ' ολοκλήρου το κόστος μετατροπής του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος.
- **«50-50»:** Σε αυτό το σενάριο το κόστος μετατροπής του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος καλύπτεται ισομερώς από την κυβέρνηση και τα νοικοκυριά.
- **«ΕΠΙΔΟΤ»:** Σε αυτό το σενάριο τα νοικοκυριά καλύπτουν εξ' ολοκλήρου το κόστος μετατροπής του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, από το οποίο όμως σε αυτή την περίπτωση επιδοτούνται τα 6 δισεκατομμύρια € σε χρονικό ορίζοντα 20ετίας, από το «Ταμείο Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας» (“Recovery and Resilience Facility”—RRF), ή αλλιώς 1,5 δισεκατομμύριο € ανά πενταετία της περιόδου 2030-2050.

Με βάση τα ανωτέρω σενάρια που λαμβάνονται υπόψιν σχετικά τον τρόπο χρηματοδότησης των πολιτικών πράσινου υδρογόνου, επιχειρείται να εξαχθεί μία αντιπροσωπευτικότερη εικόνα σχετικά με τις δυνητικές μακροοικονομικές και κοινωνικές προεκτάσεις των εξεταζόμενων πολιτικών, κάτι το οποίο θα υποστηρίξει αποδοτικότερα τους αποφασίζοντες και θα τους παράσχει μία πιο εμπειρισταωμένη καθοδήγηση. Θα πρέπει να τονιστεί ότι στα μοντέλα «γενικής ισορροπίας», οι επιχειρήσεις αποτελούν συνήθως ενδιάμεσο λογαριασμό, ο οποίος συνδέεται με τον τελικό λογαριασμό που αντιστοιχεί στα νοικοκυριά. Με άλλα λόγια, τα νοικοκυριά είναι οι ιδιοκτήτες των επιχειρήσεων, οπότε είναι και αυτά που προσπορίζονται τα κέρδη των επιχειρήσεων, ή αυτά που καλούνται να επωμιστούν ενδεχόμενες ζημιές και δυνητικά κόστη.

#### 4.3.7 Αποτελέσματα

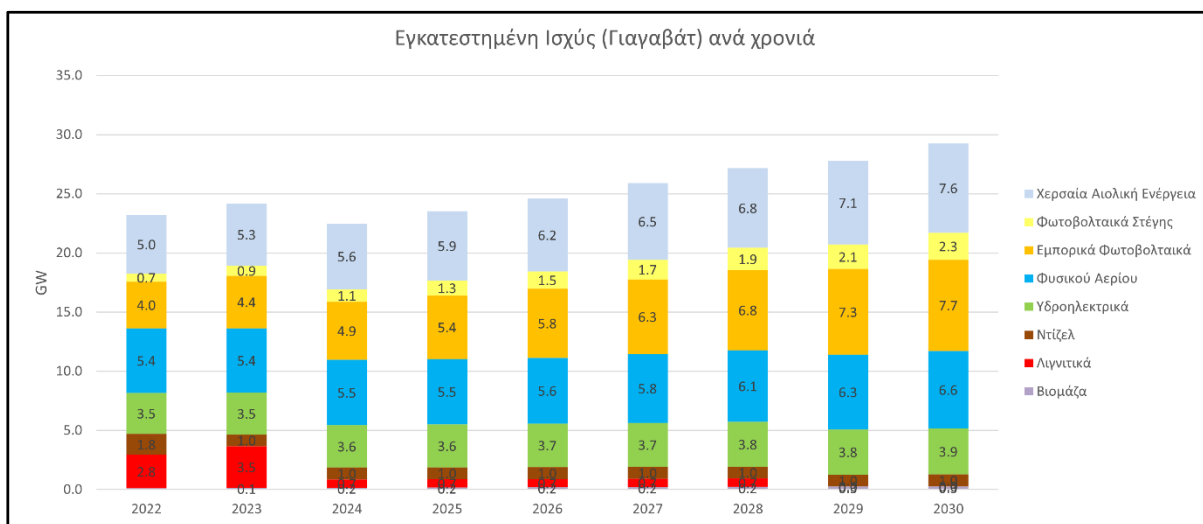
Αυτή η ενότητα παρουσιάζει τα αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με την κατάλληλη ταχύτητα διάχυσης του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή. Τα αποτελέσματα παρήχθησαν σε επίπεδο πολιτικής, κατά μήκος τόσο των εξεταζόμενων σεναρίων, όσο και ανά κριτήριο της ανάλυσης, κατά την περίοδο 2030-2050. Θα πρέπει να τονιστεί ότι αν και ο ορίζοντας μοντελοποίησης εκτείνεται από το 2019 μέχρι το 2050, με δυναμική παραγωγή αποτελεσμάτων σε ετήσια βάση, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται κατά την περίοδο 2030-2050. Αυτό συμβαίνει καθώς

οι κύριες υποθέσεις των εξεταζόμενων πολιτικών, διαφοροποιούνται μετά το 2030 —όταν δηλαδή ξεκινά η διάχυση του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, με μία διαφορετική ένταση ανά εξεταζόμενη στρατηγική.

Η επίδοση κάθε επισκοπούμενης πολιτικής για το πράσινο υδρογόνο, αξιολογείται με βάση τα συνολικά αποτελέσματα όλης της περιόδου ενδιαφέροντος, δηλαδή του διαστήματος 2030-2050, ενώ όσον αφορά τις μεταβλητές που αφορούν χρηματικές μονάδες, τα αποτελέσματα συναθροίζονται προεξοφλώντας τις μελλοντικές χρηματοροές, μέσω του μέτρου της ΚΠΑ. Κατ' αυτό τον τρόπο, ενσωματώνεται στην ανάλυση η διάσταση του χρονισμού, αναφορικά με το πότε εκπίπτουν οι μελλοντικές χρηματοροές κόστους. Είναι προφανές ότι για το ίδιο επίπεδο κόστους, όσο μεταγενέστερα εκπίπτει η πληρωμή του, τόσο πιο ελκυστική γίνεται η επισκοπούμενη πολιτική, κάτι το οποίο αποδεικνύεται και μαθηματικά μέσω μικρότερης ΚΠΑ.

Στην **Εικόνα 56** απεικονίζεται πως αναμένεται να εξελιχθεί η εγκατεστημένη ισχύς ανά ηλεκτροπαραγωγική τεχνολογία του συστήματος, κατά την περίοδο 2022-2030, για το σενάριο αναφοράς, με βάση τα αποτελέσματα του OSeMOSYS-Ελλάδας. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το σενάριο αναφοράς δημιουργήθηκε επί της βάσης των ανακοινωθέντων ηλεκτροπαραγωγικών στόχων της ελληνικής κυβέρνησης, όπως αυτοί περιγράφονται σε επίσημα έγγραφα, χωρίς ρητή αναφορά για την εισαγωγή του πράσινου υδρογόνου.

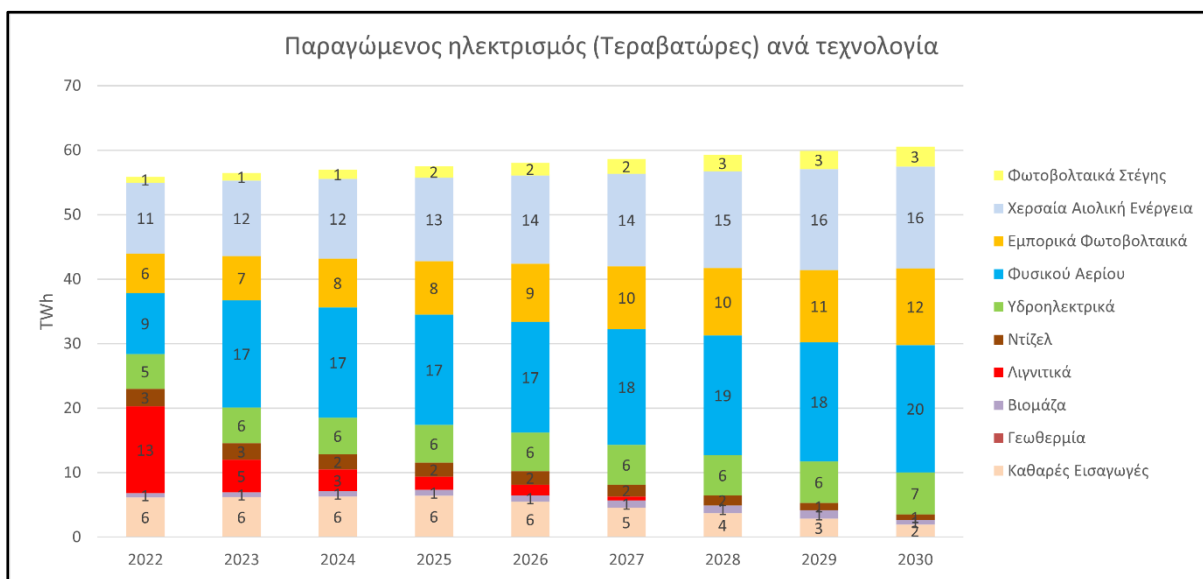
**Εικόνα 56:** Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος ανά ηλεκτροπαραγωγική τεχνολογία του συστήματος, κατά την περίοδο 2022-2030, για το σενάριο αναφοράς.



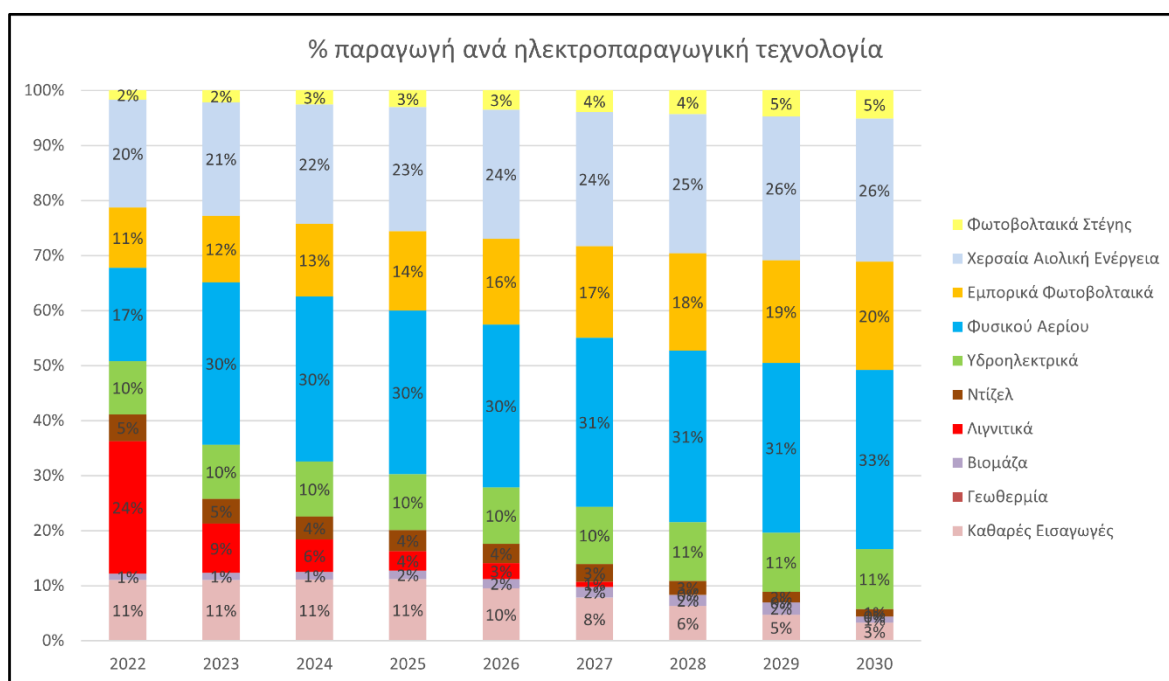
Στον αντίποδα, οι **Εικόνες 57-58** απεικονίζουν τα αποτελέσματα σχετικά με την παραγόμενο ηλεκτρισμό ανά τεχνολογία του συστήματος, για το σενάριο αναφοράς και κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου: η **Εικόνα 57** παρουσιάζει το ύψος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ανά τεχνολογία σε ετήσια βάση, και η **Εικόνα 58** το ποσοστό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ανά τεχνολογία

—σε σχέση με τη συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του συστήματος— σε ετήσια βάση. Επίσης, η **Εικόνα 59** απεικονίζει το πως αναμένεται να εξελιχθεί το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος για το σενάριο αναφοράς, κατά την περίοδο 2022-2030, σε όρους κόστους ανά μονάδα ηλεκτρισμού που διοχετεύεται στους τελικούς τομείς ζήτησης. Αυτά τα αποτελέσματα λειτουργούν και σαν έλεγχος της ευρωστίας του μοντέλου που αναπτύχθηκε για τη βελτιστοποίηση του προγραμματισμού της ελληνικής ηλεκτροπαραγωγής, ήτοι του OSeMOSYS-Ελλάδας.

**Εικόνα 57:** Εξέλιξη της παραγόμενης ενέργειας ανά ηλεκτροπαραγωγική τεχνολογία του συστήματος, κατά την περίοδο 2022-2030, για το σενάριο αναφοράς.

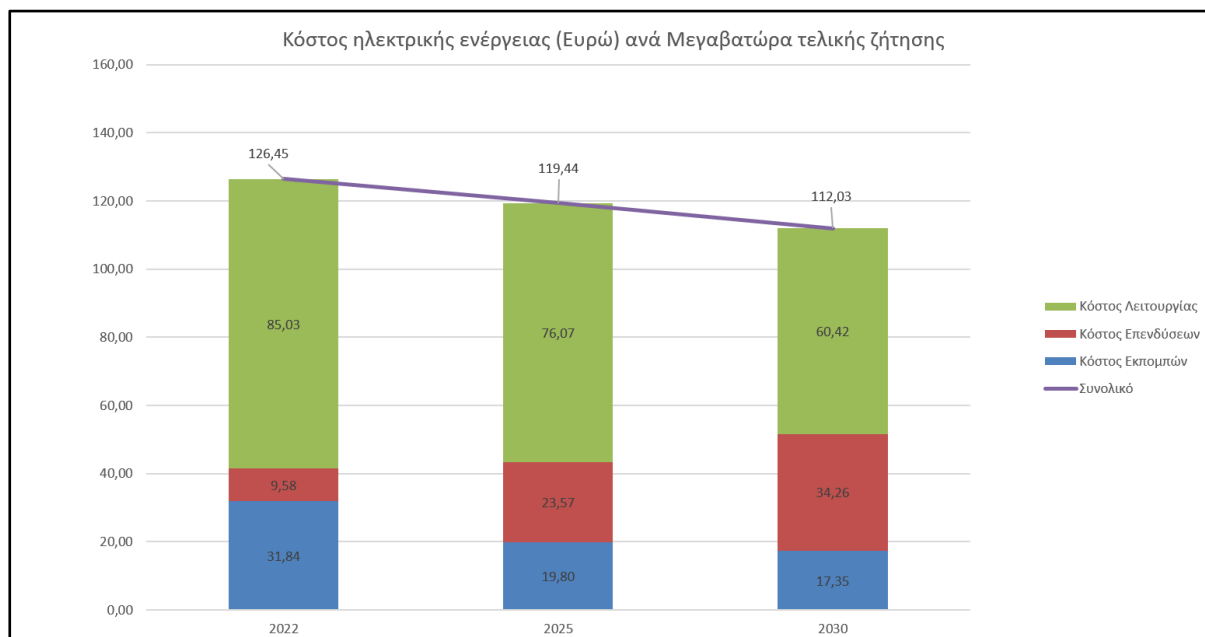


**Εικόνα 58:** Εξέλιξη του ποσοστού παραγόμενης ενέργειας ανά ηλεκτροπαραγωγική τεχνολογία του συστήματος, κατά την περίοδο 2022-2030, για το σενάριο αναφοράς.





**Εικόνα 59:** Εξέλιξη του κόστους ηλεκτρικής ενέργειας ανά μεγαβατώρα τελικής ζήτησης, κατά την περίοδο 2022-2030, για το σενάριο αναφοράς.



Ο **Πίνακας 13** παρουσιάζει τα σωρευτικά αποτελέσματα που προέκυψαν από το μοντέλο OSeMOSYS-Ελλάδας για κάθε πολιτική πράσινου υδρογόνου αλλά και για το σενάριο αναφοράς, κατά μήκος των σχηματιζόμενων σεναρίων, για την περίοδο 2030-2050.

*Πίνακας 13: Σωρευτικά αποτελέσματα (από το OSeMOSYS-Ελλάδας) για τις εξεταζόμενες πολιτικές πράσινου υδρογόνου και το σενάριο αναφοράς κατά μήκος των κριτηρίων και σεναρίων της ανάλυσης, την περίοδο 2030-2050.*

Πολιτική	Σενάριο	Εκπομπές (Μεγατόνοι)	Επενδύσεις Κεφαλαίου (Εκατομ. \$ 2019)*	Μεταβλητό Κόστος (Εκατομ. \$ 2019)*	Σταθερό Κόστος (Εκατομ. \$ 2019)*	Ισχύς (Γιγαβάτ)	Εξάρτηση σε Εισαγωγές (-)
Σεν. Αναφοράς	Σ <sub>1</sub>	61.90	16,656.55	13,898.97	8,846.50	724.69	22.67
Σεν. Αναφοράς	Σ <sub>2</sub>	60.25	17,086.32	13,690.75	8,869.50	722.07	22.30
Σεν. Αναφοράς	Σ <sub>3</sub>	64.85	16,763.16	13,894.83	8,845.77	727.36	22.74
Σεν. Αναφοράς	Σ <sub>4</sub>	62.78	21,940.48	18,074.86	8,884.60	726.65	22.38
Σεν. Αναφοράς	Σ <sub>5</sub>	61.13	21,994.83	17,994.80	8,880.51	723.02	22.41
Σεν. Αναφοράς	Σ <sub>6</sub>	65.45	21,784.81	18,014.49	8,852.04	727.08	22.63
Σεν. Αναφοράς	Σ <sub>7</sub>	49.71	12,850.27	9,152.26	4,354.24	705.22	20.14
Σεν. Αναφοράς	Σ <sub>8</sub>	44.34	13,159.29	8,640.89	4,223.53	700.35	18.24
Σεν. Αναφοράς	Σ <sub>9</sub>	55.93	12,753.03	9,329.95	4,387.62	711.36	21.81
ΥΔΡ-TAXYT1	Σ <sub>1</sub>	55.93	19,594.32	13,489.22	8,963.95	725.25	21.29
ΥΔΡ-TAXYT1	Σ <sub>2</sub>	55.19	21,110.80	13,315.06	8,963.09	726.55	21.27
ΥΔΡ-TAXYT1	Σ <sub>3</sub>	57.24	21,131.91	13,418.13	8,977.54	727.20	21.41
ΥΔΡ-TAXYT1	Σ <sub>4</sub>	56.32	27,728.60	17,570.98	9,034.55	727.48	21.26
ΥΔΡ-TAXYT1	Σ <sub>5</sub>	55.03	27,394.98	17,462.24	9,025.12	726.45	21.12
ΥΔΡ-TAXYT1	Σ <sub>6</sub>	57.10	27,442.93	17,526.49	9,030.39	726.55	21.43
ΥΔΡ-TAXYT1	Σ <sub>7</sub>	46.54	15,564.14	8,649.83	4,352.65	724.24	18.98
ΥΔΡ-TAXYT1	Σ <sub>8</sub>	44.34	17,247.91	8,479.61	4,203.58	721.23	18.36
ΥΔΡ-TAXYT1	Σ <sub>9</sub>	51.36	15,257.05	8,881.30	4,365.43	721.55	20.21
ΥΔΡ-TAXYT2	Σ <sub>1</sub>	53.50	21,948.16	13,280.35	8,980.53	722.81	20.79
ΥΔΡ-TAXYT2	Σ <sub>2</sub>	51.27	24,834.27	12,959.61	9,041.08	726.72	20.28
ΥΔΡ-TAXYT2	Σ <sub>3</sub>	53.48	24,677.84	13,191.94	9,035.90	725.17	20.80
ΥΔΡ-TAXYT2	Σ <sub>4</sub>	52.56	32,363.81	17,238.44	9,111.69	725.75	20.61
ΥΔΡ-TAXYT2	Σ <sub>5</sub>	51.74	32,103.63	17,114.19	9,106.24	725.66	20.38
ΥΔΡ-TAXYT2	Σ <sub>6</sub>	53.39	32,033.34	17,198.36	9,100.71	724.87	20.78
ΥΔΡ-TAXYT2	Σ <sub>7</sub>	43.99	18,261.43	8,320.51	4,425.77	728.67	18.21
ΥΔΡ-TAXYT2	Σ <sub>8</sub>	41.10	21,001.70	8,166.65	4,281.09	727.94	17.46
ΥΔΡ-TAXYT2	Σ <sub>9</sub>	48.69	17,861.72	8,476.93	4,416.51	728.24	19.36

ΥΔΡ-TAXYT3	$\Sigma_1$	44.95	26,507.08	12,249.71	9,073.75	731.60	18.36
ΥΔΡ-TAXYT3	$\Sigma_2$	44.49	30,993.52	12,088.59	9,127.40	733.01	18.28
ΥΔΡ-TAXYT3	$\Sigma_3$	44.44	31,335.67	12,160.83	9,169.28	732.71	18.30
ΥΔΡ-TAXYT3	$\Sigma_4$	44.37	40,626.64	15,943.50	9,248.64	732.63	18.26
ΥΔΡ-TAXYT3	$\Sigma_5$	44.75	40,170.05	15,894.23	9,220.12	732.69	18.29
ΥΔΡ-TAXYT3	$\Sigma_6$	44.34	40,700.62	15,841.04	9,258.93	732.64	18.27
ΥΔΡ-TAXYT3	$\Sigma_7$	39.20	22,631.74	7,699.82	4,458.95	737.32	16.66
ΥΔΡ-TAXYT3	$\Sigma_8$	36.11	27,249.47	7,597.11	4,361.51	736.08	15.80
ΥΔΡ-TAXYT3	$\Sigma_9$	42.33	22,150.41	7,948.82	4,518.83	733.19	17.42
ΥΔΡ-TAXYT4	$\Sigma_1$	39.56	30,201.19	11,492.97	9,142.49	732.12	16.77
ΥΔΡ-TAXYT4	$\Sigma_2$	39.64	36,105.38	11,333.46	9,200.01	732.71	16.85
ΥΔΡ-TAXYT4	$\Sigma_3$	38.68	36,562.91	11,394.37	9,287.82	734.23	16.57
ΥΔΡ-TAXYT4	$\Sigma_4$	39.10	47,067.23	15,007.61	9,361.68	732.59	16.67
ΥΔΡ-TAXYT4	$\Sigma_5$	39.36	46,827.85	15,011.32	9,342.77	732.01	16.73
ΥΔΡ-TAXYT4	$\Sigma_6$	38.62	47,496.53	14,822.13	9,393.79	734.11	16.56
ΥΔΡ-TAXYT4	$\Sigma_7$	34.91	26,047.72	7,287.70	4,493.05	738.67	15.38
ΥΔΡ-TAXYT4	$\Sigma_8$	34.10	32,082.97	7,220.54	4,373.92	738.88	15.11
ΥΔΡ-TAXYT4	$\Sigma_9$	37.33	25,745.06	7,559.33	4,559.62	731.57	16.09

\*Οι χρηματοροές συναθροίζονται μέσω του υπολογισμού της καθαρής παρούσας αξίας (ΚΠΑ) τους, με επιτόκιο προεξόφλησης ίσο με 8%.

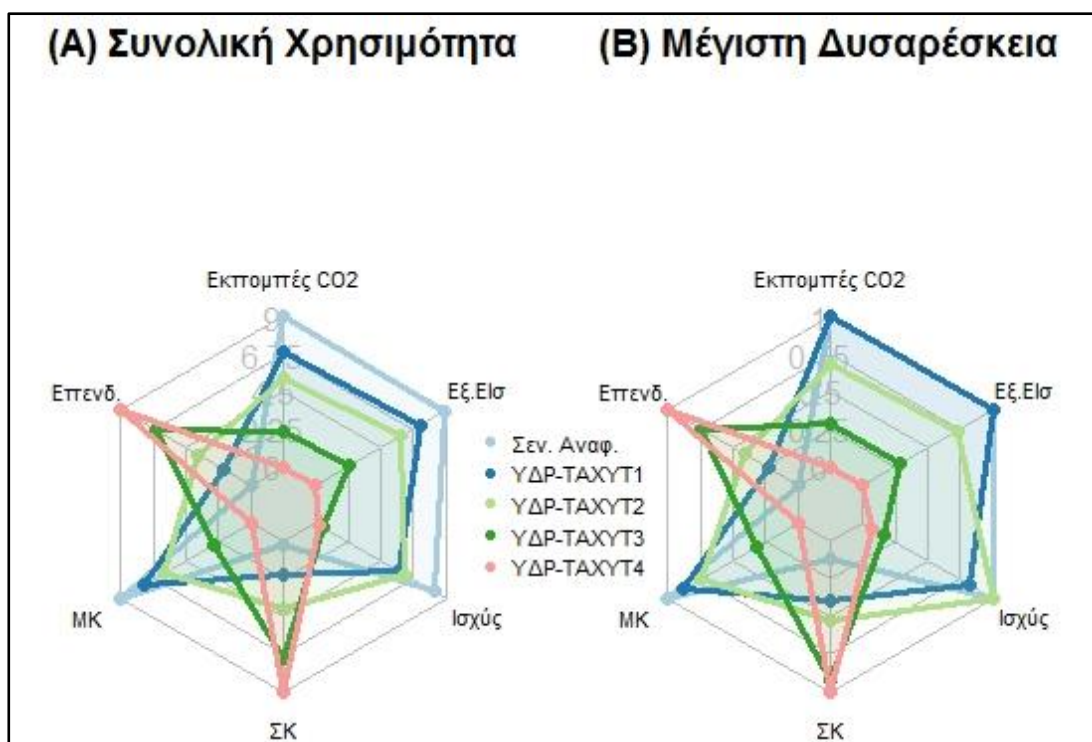
Με βάση τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα, τα οποία προέκυψαν από το OSeMOSYS-Ελλάδας, υπολογίστηκαν τα μέτρα «συνολικής χρησιμότητας» και «μέγιστης δυσαρέσκειας» για τις εξεταζόμενες πολιτικές, κατά μήκος των διαμορφούμενων σεναρίων. Κατ' αυτό τον τρόπο, κατέστη δυνατή η αξιολόγηση του βαθμού της ευρωστίας τους κατά μήκος των διαμορφούμενων διακριτών σεναρίων, όπως επίσης και της επίδοσή τους, κατά μήκος των κριτηρίων επίδοσης της ανάλυσης. Οι «βαθμοί δυσαρέσκειας» που προέκυψαν, απεικονίζονται στην **Εικόνα 60**, για κάθε ένα μέτρο ποσοτικοποίησης των «βαθμών δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων που χρησιμοποιήθηκε.

Είναι προφανές ότι και στις δύο περιπτώσεις, ένας μεγαλύτερος «βαθμός δυσαρέσκειας» συνδέεται με ένα υψηλότερο κόστος: στην πρώτη περίπτωση, αυτής της «συνολικής χρησιμότητας», σε όρους μεγαλύτερης απόστασης από την ιδανική κατάσταση, η οποία υλοποιείται υπό την ύπαρξη τέλει ενόρασης (*“perfect foresight”*), άρα εν είδη υψηλότερου κόστους ευκαιρίας. Στον αντίποδα, στην έτερη περίπτωση, αυτής της «μέγιστης δυσαρέσκειας», σαν ο μεγαλύτερος «βαθμός δυσαρέσκειας» (απόσταση από την καλύτερη κατάσταση), σε κάθε ένα σενάριο της ανάλυσης. Θα πρέπει να διευκρινιστεί, ότι παρά το γεγονός ότι στο βασικό σενάριο αναφοράς της ανάλυσης δεν ορίζεται εξωγενώς, καθ' οιονδήποτε τρόπο, η συμμετοχή του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, τα κόστη που περιλαμβάνει η διείσδυσή του, οδηγούν στον ολοκληρωτικό αποκλεισμό του από το ηλεκτροπαραγωγικό μίγμα.

Όπως μπορεί να διαφανεί στην **Εικόνα 60**, από την οπτική του μέτρου της «συνολικής χρησιμότητας», όσο υψηλότερη είναι η ταχύτητα διάχυσης του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, τόσο υψηλότερες είναι και οι απαιτούμενες επενδύσεις κεφαλαίου, όπως επίσης και τα σταθερά κόστη λειτουργίας του συστήματος. Ως εκ τούτου, όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή που προβλέπει μία πολιτική, τόσο χειρότερη είναι η επίδοση αυτής της πολιτικής στις εν λόγω συνιστώσες της ανάλυσης.

Ωστόσο, από την πλευρά του μεταβλητού κόστους λειτουργίας του συστήματος, παρατηρείται η αντίθετη τάση. Πιο συγκεκριμένα, όσο αυξάνεται το ποσοστό του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, τόσο μειώνεται το μεταβλητό κόστος λειτουργίας του συστήματος. Αυτό οφείλεται, κυρίως, στο γεγονός ότι οι πολιτικές που προβλέπουν χαμηλότερους βαθμούς διάχυσης πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, συνοδεύονται από ένα υψηλότερο ποσοστό συμμετοχής του ορυκτού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή, και από έναν υψηλότερο βαθμό εξάρτησης στη γεωθερμία. Στον αντίποδα, οι πολιτικές που προβλέπουν υψηλότερους βαθμούς διάχυσης πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, συνοδεύονται από υψηλότερη κυριαρχία της αιολικής και ηλιακής ενέργειας, λόγω του γεγονότος ότι εμπεριέχουν μία υψηλότερη δυναμικότητα αποθήκευσης ενέργειας, η οποία επιτρέπει την περαιτέρω αξιοποίηση των εν λόγω τεχνολογιών.

**Εικόνα 60.** «Βαθμοί δυσaréσκειας» των αποφασιζόντων κατά μήκος των εξεταζόμενων σεναρίων και ανά διάσταση της ανάλυσης, για κάθε πολιτική πράσινου υδρογόνου που εξετάζεται, με βάση τα μέτρα «συνολικής χρησιμότητας» (Α) και «μέγιστης δυσaréσκειας» (Β).



ΜΚ: Μεταβλητό Κόστος, ΣΚ: Σταθερό Κόστος, Εξ.Εισ: Εξάρτηση σε εισαγωγές, Επενδ.: Επενδύσεις Κεφαλαίου

Άρα, σε αυτή την περίπτωση, ο επιπλέον ηλεκτρισμός που παράγεται από τις τεχνολογίες που στηρίζονται στον ήλιο και στον άνεμο, επαρκεί τόσο για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου, όσο και για την —έως ένα βαθμό— υποκατάσταση πιο ακριβών τεχνολογιών ΑΠΕ, όπως αυτές που στηρίζονται στη γεωθερμία. Όσον αφορά τη διάσταση του βαθμού εξάρτησης στις εισαγωγές, όσο αυξάνεται η διείσδυση του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, παρατηρείται μία καθοδική τάση των εισερχόμενων ρών ενέργειας, λόγω της παράλληλης μείωσης του ποσοστού του ορυκτού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή, το οποίο καταλαμβάνει τη «μερίδα του λέοντος» των εισαγωγών.

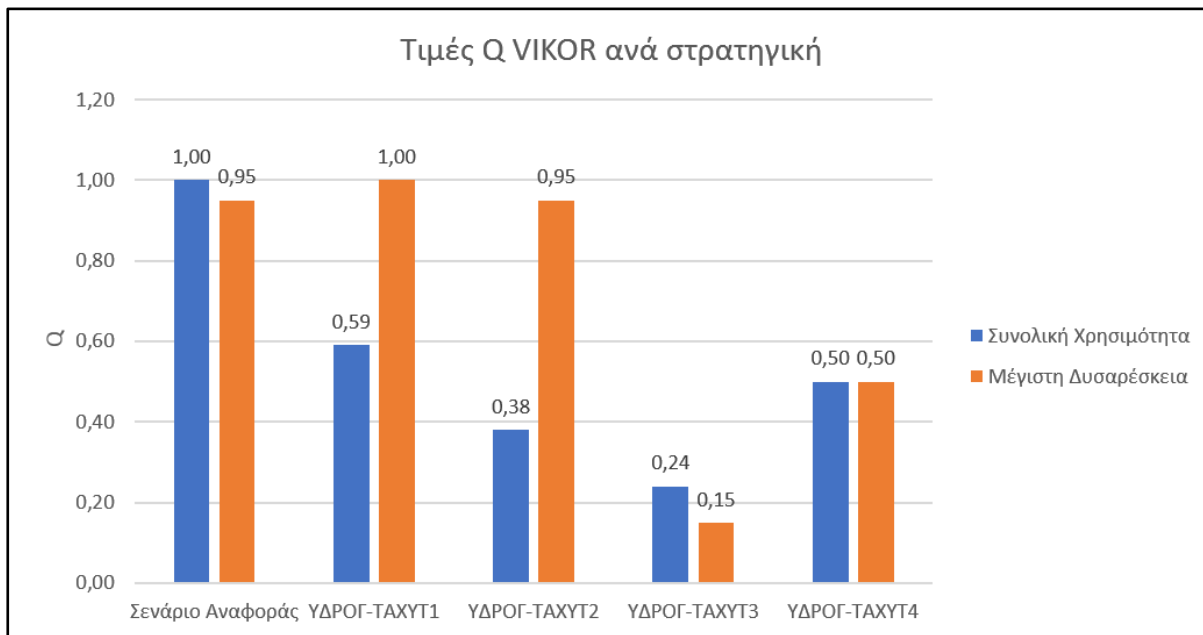
Παρομοίως, η διάχυση του πράσινου υδρογόνου είναι επωφελής για τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος, κυρίως λόγω της υψηλότερης δυναμικότητας καθαρής ηλεκτροπαραγωγής και αποθήκευσης, οι οποίες συνοδεύουν τη συμμετοχή του πράσινου υδρογόνου στο μίγμα ηλεκτροπαραγωγής. Επιπλέον, η υψηλότερη διείσδυση του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, δεδομένου ότι οδηγεί σε χαμηλότερη χρήση ορυκτού αερίου, βελτιώνει την περιβαλλοντική επίδοση του συστήματος σε όρους χαμηλότερων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Παρόμοια συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν και στην περίπτωση του μέτρου της «μέγιστης δυσαρέσκειας», μολοντί παρατηρούνται κάποιες εξαιρέσεις, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με την ισάξια επίδοση μερικών πολιτικών, υπό το πρίσμα συγκεκριμένων συνιστωσών της ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, αυτό αφορά τις διαστάσεις του «βαθμού εξάρτησης σε εισαγωγές» και της «συνολικής ισχύς του συστήματος». Αυτά τα ευρήματα, υποδηλώνουν ότι όταν λαμβάνεται υπόψιν η επίδοση των πολιτικών ενδιαφέροντος εντός ολόκληρου τους εύρους των σεναρίων την ανάλυσης, ήτοι στην περίπτωση του μέτρου «συνολικής χρησιμότητας», παρέχεται μία ευκρινέστερη εικόνα σχετικά με την ελκυστικότητά τους σε κάθε συνιστώσα της ανάλυσης, αλλά και συνεπακόλουθα εν συνόλω. Σε αντιδιαστολή με αυτή την περίπτωση, εντοπίζεται η περίπτωση κατά την οποία λαμβάνεται υπόψιν μόνο η χειρότερη επίδοση των πολιτικών κατά μήκος των σεναρίων της ανάλυσης, ήτοι στην περίπτωση του μέτρου «μέγιστης δυσαρέσκειας».

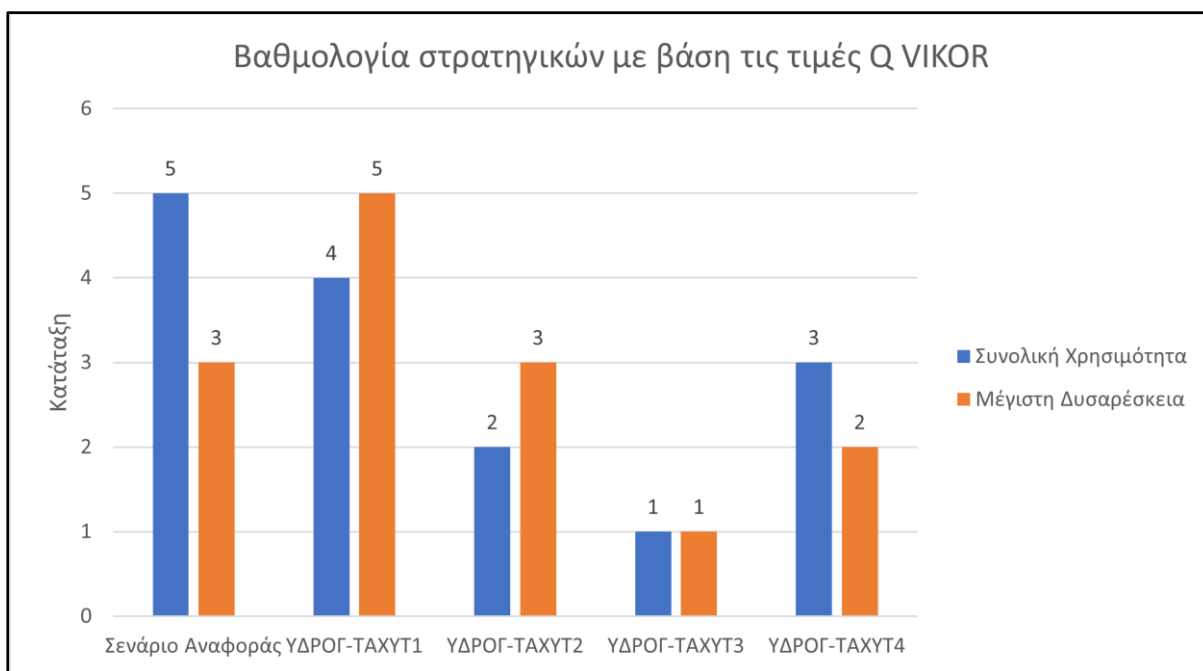
Όσον αφορά τη συνολική επίδοση των εξεταζόμενων πολιτικών, αξιολογείται με βάση δύο προσεγγίσεις, με βάση την πολυκριτήρια μέθοδο που χρησιμοποιείται για να συγκεράσει την επίδοση των υπό αξιολόγηση πολιτικών στα κριτήρια της ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, για αυτό το σκοπό, χρησιμοποιούνται οι πολυκριτήριες μέθοδοι VIKOR και TOPSIS. Τα αποτελέσματα στην πρώτη περίπτωση, κατά την οποία χρησιμοποιείται η μέθοδος VIKOR, παρουσιάζονται στην [Εικόνα 61](#), σε όρους «βαθμούς δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων για κάθε εξεταζόμενη πολιτική, εκπεφρασμένες σε τιμές Q της πολυκριτήρια μεθόδου VIKOR.

Τα αποτελέσματα παρέχονται, τόσο για την περίπτωση που στο πρώτο βήμα της ανάλυσης υιοθετήθηκε το μέτρο «συνολικής χρησιμότητας» για τη διαχείριση των σχηματιζόμενων σεναρίων, όσο και για την περίπτωση που τα σεναρία διαχειρίστηκαν μέσω του μέτρου της «μέγιστης δυσαρέσκειας». Επίσης, με βάση τις τιμές Q που παρουσιάζονται στην [Εικόνα 61](#), προκύπτει η κατάταξη των πολιτικών για το πράσινο υδρογόνο, η οποία παρουσιάζεται στην [Εικόνα 62](#). Είναι προφανές, ότι όσο χαμηλότερη είναι η τιμή Q μιας πολιτικής —δηλαδή όσο χαμηλότερος είναι ο «βαθμός δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων— τόσο αυξάνεται η ελκυστικότητά της για τους αποφασίζοντες, άρα και ανέρχεται βαθμολογικά έναντι των ανταγωνιστικών πολιτικών για το πράσινο υδρογόνο με τις οποίες αντιπαραβάλλεται.

**Εικόνα 61:** Τιμές Q της πολυκριτήριας μεθόδου VIKOR ανά εξεταζόμενη πολιτική για το πράσινο υδρογόνο, για τις περιπτώσεις που η αβεβαιότητα διαχειρίζεται με τα μέτρα «συνολικής χρησιμότητας» και «μέγιστης δυσaréσκειας».



**Εικόνα 62:** Σειρά κατάταξης των πολιτικών πράσινου υδρογόνου με βάση τις τιμές Q της πολυκριτήριας μεθόδου VIKOR, για τις περιπτώσεις που η αβεβαιότητα διαχειρίζεται με τα μέτρα «συνολικής χρησιμότητας» και «μέγιστης δυσaréσκειας».



Όπως μπορεί να διαφανεί στις **Εικόνες 61-62**, η αντιμετώπιση της αβεβαιότητας με το μέτρο «συνολικής χρησιμότητας», οδηγεί στην προτεραιοποίηση πολιτικών που περιλαμβάνουν

υψηλότερα ποσοστά πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, με τη βέλτιστη κλίμακα διείσδυσης του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή να εντοπίζεται στο επίπεδο του 15% της τελικής ζήτησης το 2050, όσον αφορά το ύψος του ηλεκτρισμού που παράγεται από πράσινο υδρογόνο. Σε όλες τις περιπτώσεις, όμως, όταν χρησιμοποιείται η προσέγγιση «συνολικής χρησιμότητας», μία πολιτική πράσινου υδρογόνου ανεξαρτήτως της κλίμακας υιοθέτησης πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, αποδίδει καλύτερα από μία πολιτική που αποκλείει εντελώς το πράσινο υδρογόνο από την ηλεκτροπαραγωγή, δηλαδή από μία πολιτική που σχεδιάζεται μόνο με γνώμονα την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους υλοποίησής της.

Στο ίδιο πλαίσιο, όταν χρησιμοποιείται το μέτρο της «μέγιστης δυσaráσκειας», εντοπίζεται ότι η εφαρμογή μίας στρατηγικής που ορίζει παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από πράσινο υδρογόνο το 2050, σε επίπεδο μεγαλύτερο του 5% της τελικής ζήτησης ηλεκτρισμού, θα πρέπει να προτεραιοποιείται από τους αποφασίζοντες. Αυτά τα ευρήματα, υποδεικνύουν ότι το πράσινο υδρογόνο θα πρέπει να αποτελέσει αναπόσπαστο κομμάτι του «μονοπατιού» που θα διαβεί ο ηλεκτροπαραγωγικός τομέας της Ελλάδας προς το μετασχηματισμό του. Στην περίπτωση του μέτρου «μέγιστης δυσaráσκειας», η στόχευση παραγωγής ηλεκτρισμού από πράσινο υδρογόνο στο ύψος του 15% της τελικής ζήτησης το 2050, εντοπίζεται ξανά ως η βέλτιστη στρατηγική, σε σύγκριση με τις εναλλακτικές στρατηγικές της ανάλυσης για το πράσινο υδρογόνο με τις οποίες αντιπαραβάλλεται.

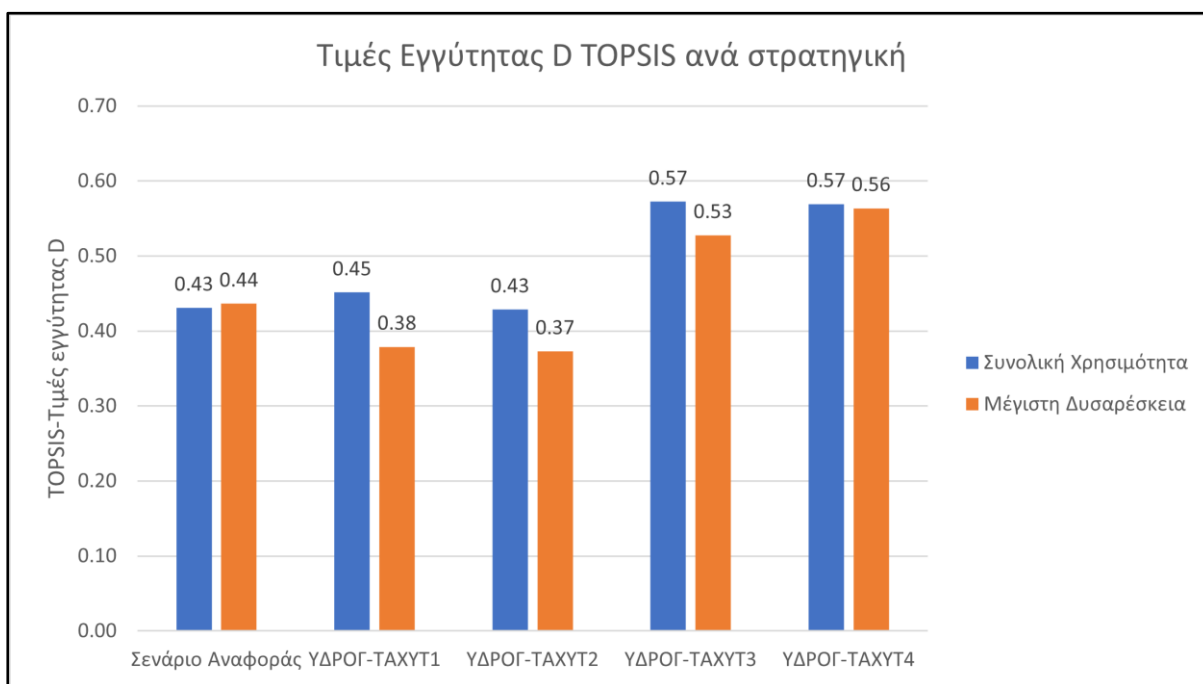
Ωστόσο, στην περίπτωση που —εξαιτίας οποιουδήποτε είδους εμποδίων— η παραγωγή πράσινου υδρογόνου γύρω από το βέλτιστο επίπεδο δεν καθίσταται δυνατή, οι αποφασίζοντες ενδεχομένως να πρέπει να επιλέξουν τον αποκλεισμό του πράσινου υδρογόνου από τις σχεδιαζόμενες πολιτικές. Αυτό το εύρημα υποδεικνύει, ότι η κεφαλαιοποίηση των ωφελειών μίας πολιτικής πράσινου υδρογόνου, αρχίζει να λαμβάνει χώρα —αντισταθμίζοντας τα εμπλεκόμενα κόστη— από μία συγκεκριμένη κλίμακα και έπειτα. Άρα, η διείσδυση του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, θα πρέπει να υλοποιείται με γνώμονα τη δημιουργία και εκμετάλλευση οικονομιών κλίμακας.

Συνοψίζοντας τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, και για τα δύο μέτρα ποσοτικοποίησης των «βαθμών δυσaráσκειας» των αποφασιζόντων που χρησιμοποιήθηκαν στο πρώτο στάδιο της ανάλυσης, τα αποτελέσματα της πολυκριτήριας μεθόδου VIKOR υποδεικνύουν ευκρινώς, ότι υπάρχει ένα βέλτιστο επίπεδο υιοθέτησης του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή για όλους τους τύπους αποφασιζόντων. Επίσης, στην περίπτωση που η βέλτιστη κλίμακα διάχυσης του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή δε δύναται να επιτευχθεί, όπως π.χ. στην περίπτωση που η δυναμικότητα του συστήματος δεν επαρκεί για την παραγωγή της απαιτούμενης ποσότητας καθαρού ηλεκτρισμού, θα πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο του ολοκληρωτικού αποκλεισμού του πράσινου υδρογόνου από την ηλεκτροπαραγωγή.

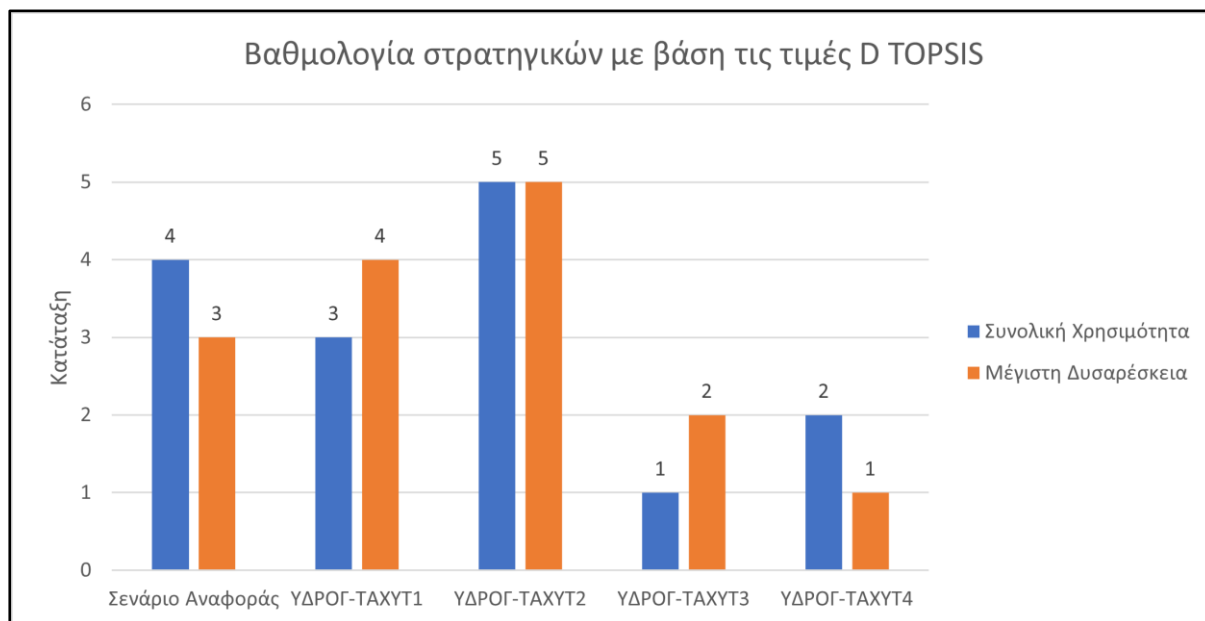


Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της πολυκριτήριας μεθόδου TOPSIS στο δεύτερο στάδιο της ανάλυσης, απεικονίζονται στην **Εικόνα 63**, σε όρους σχετικής εγγύτητας στην ιδεατή λύση, για κάθε εξεταζόμενη πολιτική για το πράσινο υδρογόνο. Είναι προφανές, ότι μια υψηλότερη εγγύτητα στη θετική ιδεατή λύση προτιμάται από τους αποφασίζοντες, καθώς —κατ' αυτό τον τρόπο— η εκάστοτε πολιτική ικανοποιεί καλύτερα τους σκοπούς και τις προτιμήσεις τους. Οπότε με βάση τιμές  $D$  που παρουσιάζονται στην **Εικόνα 63**, προκύπτει η κατάταξη των πολιτικών πράσινου υδρογόνου, η οποία παρουσιάζεται στην **Εικόνα 64**. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και για τις δύο προσεγγίσεις διαχείρισης της αβεβαιότητας στο πρώτο στάδιο του προβλήματος, όσον αφορά το μέτρο που χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση των «βαθμών δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων.

**Εικόνα 63:** Τιμές εγγύτητας ( $D$ ) των πολιτικών πράσινου υδρογόνου στην ιδεατή λύση με βάση την πολυκριτήρια μέθοδο TOPSIS, για τις περιπτώσεις που η αβεβαιότητα διαχειρίζεται με τα μέτρα «συνολικής χρησιμότητας» και «μέγιστης δυσαρέσκειας».



**Εικόνα 64:** Σειρά κατάταξης των πολιτικών πράσινου υδρογόνου με βάση τις τιμές εγγύτητας *D* της μεθόδου TOPSIS, για τις περιπτώσεις που η αβεβαιότητα διαχειρίζεται με τα μέτρα «συνολικής χρησιμότητας» και «μέγιστης δυσαρέσκειας».



Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση του μέτρου «συνολικής χρησιμότητας», οι πολιτικές πράσινου υδρογόνου που εμπεριέχουν παραγόμενο ηλεκτρισμό από πράσινο υδρογόνο, στο επίπεδο του 15% της τελικής ζήτησης το 2050, εντοπίζονται ως οι περισσότερο ελκυστικές για τους αποφασίζοντες. Η υιοθέτηση υψηλότερων επιπέδων διείσδυσης πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή από αυτό το σημείο, δε θα επέφερε επιπλέον ωφέλεια στους αποφασίζοντες, μολονότι ούτε θα διακινδύνευε την ήδη επιτευχθείσα επίδοση σε αυτό το σημείο. Άρα, υποδηλώνεται μία αδιαφορία για τους αποφασίζοντες ως προς το να υιοθετήσουν υψηλότερα ποσοστά διάχυσης πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, από αυτό το σημείο.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι σε αντίθεση με τα αποτελέσματα που παρήχθησαν από την πολυκριτήρια μέθοδο VIKOR, στην περίπτωση που υπάρχουν εμπόδια στο να επιτευχθεί το βέλτιστο επίπεδο παραγωγής πράσινου υδρογόνου, τα αποτελέσματα της μεθόδου TOPSIS υποδηλώνουν ότι η υιοθέτηση στρατηγικών χαμηλής διάχυσης πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή —οι οποίες εμπεριέχουν παραγόμενο ηλεκτρισμό από πράσινο υδρογόνο στο ύψος του 5% της τελικής ζήτησης το 2050— δύναται να αποδειχθεί επωφελής σε σχέση με τον ολοκληρωτικό αποκλεισμό του πράσινου υδρογόνου.

Στον αντίποδα, στην περίπτωση του μέτρου «μέγιστης δυσαρέσκειας», μία πολιτική πράσινου υδρογόνου αποτελεί ευκατὰ επιλογή για τους αποφασίζοντες, μόνο στη περίπτωση που το σύστημα μπορεί να παράξει ηλεκτρισμό από πράσινο υδρογόνο στην κλίμακα του 15% —ή μεγαλύτερης— της τελικής ζήτησης ηλεκτρισμού, το 2050.

Επομένως, με βάση τα ανωτέρω ευρήματα, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η επιλογή της πολυκριτήριας μεθόδου με την οποία θα συγκεραστούν οι επιδόσεις των εξεταζόμενων πολιτικών κατά μήκος των συνιστωσών της ανάλυσης, έχει περιορισμένη επίδραση, όσον αφορά τον εντοπισμό των πολιτικών που παρουσιάζουν τις καλύτερες προδιαγραφές για τους αποφασίζοντες, εν σχέσει με τις πολιτικές με τις οποίες ανταγωνίζονται. Ωστόσο, η πολυκριτήρια μέθοδος που χρησιμοποιείται, ανά περίπτωση, μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά αποτελέσματα, αναφορικά με τις πλημμελείς πολιτικές, ήτοι αυτές που ικανοποιούν σε ένα χαμηλό βαθμό τους σκοπούς των αποφασιζόντων.

Οπότε, αν και η παρούσα ανάλυση περιορίζεται στη χρήση πολυκριτήριων μεθόδων που αξιολογούν μία πολιτική με βάση τη γεωμετρική της απόσταση από κάποια —θετική ή αρνητική— ιδεατή κατάσταση, τα αποτελέσματά της υποδεικνύουν ευκρινώς τη σημαντικότητα και τα οφέλη, που απορρέουν από τη χρήση ενός εύρους πολυκριτήριων μεθόδων για τους σκοπούς της εκάστοτε ανάλυσης. Μία τέτοια προσέγγιση μπορεί, παραδείγματος χάριν, να ευνοήσει τον αναλυτή, όταν ο σκοπός του είναι —πλέον του να εντοπίσει τις πολιτικές που ικανοποιούν στον υψηλότερο βαθμό τις ανάγκες του— να αποκτήσει μία συνολική εικόνα σχετικά με τις εξεταζόμενες πολιτικές και τις μεταξύ τους διαφορές.

Θα πρέπει να τονιστεί, ότι παρά το γεγονός ότι η εν λόγω ανάλυση εστιάζει στην περίπτωση της Ελλάδας, τα αποτελέσματα της παρέχουν χρήσιμη γνώση, διδάγματα και κατεύθυνση στους αποφασίζοντες και σχεδιαστές πολιτικής εν γένει, και ειδικότερα σε αυτούς που προέρχονται από χώρες με παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά της Ελλάδας, όπως, παραδείγματος χάριν, σε όρους δυνατότητας παραγωγής μεταβαλλόμενης καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας.

Είναι προφανές, με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω, ότι η σχεδίαση ενεργειακών πολιτικών οι οποίες εμπεριέχουν σαν συστατικό στοιχείο τη διάχυση του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, θα πρέπει να πραγματοποιείται σε συνδυασμό με την εισαγωγή —ή την αύξηση της δυναμικότητας— τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, με σκοπό τη μείωση των αυξομειώσεων της διαθέσιμης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο και την περαιτέρω εκμετάλλευση της καθαρής ηλεκτροπαραγωγής. Σε διαφορετική περίπτωση, οι πολιτικές πράσινου υδρογόνου, ενδεχομένως να οδηγήσουν στην ανάκαμψη (“*rebound*”) του ορυκτού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή. Είναι προφανές, ωστόσο, ότι ένα τέτοιου είδους απότοκο, θα αντέβαινε τα κίνητρα και του σκοπούς των σχεδιαστών και δημιουργών μίας εμπεριστατωμένης στρατηγικής για το πράσινο υδρογόνο, και ενδεχομένως να δημιουργούσε προσκόμματα στο δρόμο προς την κλιματική ουδετερότητα.

Πιο συγκεκριμένα, στην παρούσα μελέτη εντοπίστηκε ότι για κάθε 12.19 πετατζάουλ της τελικής ζήτησης ηλεκτρισμού, τα οποία προέρχονται από τη μετατροπή πράσινου υδρογόνου μέσω κυψελών καυσίμου, απαιτείται αύξηση της δυναμικότητας αποθήκευσης ενέργειας του συστήματος στο ύψος

περίπου του 1 γιγαβάτ. Θα πρέπει να τονιστεί, ότι η υψηλότερη εκμετάλλευση της αιολικής και ηλιακής ενέργειας μέσω της αποθήκευσης, δύναται να οδηγήσει σε χαμηλότερη εξάρτηση από πιο ακριβές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η γεωθερμία και η υδροηλεκτρική ενέργεια μικρής κλίμακας, και άρα σε μία πιο φθηνή μετάβαση του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος από αυτή την οπτική.

Η σημαντικότητα αυτής της προέκτασης, αυξάνεται έτι περαιτέρω και από τις άμεσες παρεπόμενες συνέπειες που δύναται να επιφέρει, από την οπτική των απαιτήσεων σε όρους χρήσης γης και των απειλών στη βιοποικιλότητα. Είναι εμφανές, ότι η αύξηση της δυναμικότητας της καθαρής ηλεκτροπαραγωγής, και κυρίως των τεχνολογιών που στηρίζονται στον άνεμο και στον ήλιο, είναι άμεσα συνδεδεμένη με την απαίτηση εκτάσεων γης, τόσο για τον εξοπλισμό των τεχνολογιών αυτό καθαυτό, όσο και ως απόρροια των απαιτούμενων αποστάσεων μεταξύ αυτού του είδους των τεχνολογιών (π.χ. ανεμογεννήτριες), για λόγους αποδοτικότητας.

Στην περίπτωση της αποθήκευσης, με την ίδια δυναμικότητα ηλιακών και αιολικών τεχνολογιών, άρα με τις ίδιες απαιτήσεις σε όρους χρήσης γης, υπάρχει η δυνατότητα παραπάνω παραγωγής μεταβαλλόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Οπότε, γίνεται εμφανές ότι αυτή η περαιτέρω αξιοποίηση αυτού του είδους των τεχνολογιών, δύναται να υποκαταστήσει την ανάγκη για δημιουργία νέων εγκαταστάσεων, είτε αυτό αφορά ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά, είτε εναλλακτικές τεχνολογιών ΑΠΕ, όπως υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Οπότε, η παρούσα μελέτη υποδεικνύει ότι ο ρόλος της αποθήκευσης ενέργειας στην αντιμετώπιση του ανταγωνισμού για χρήση γης που αναμένεται να ενταθεί τα επόμενα χρόνια, δε θα πρέπει να παραμελείται και υποτιμάται από τους σχεδιαστές ενεργειακών πολιτικών.

Όσον αφορά την ένταση με την οποία το πράσινο υδρογόνο πρέπει να εισέρχεται στην ηλεκτροπαραγωγή, τα αποτελέσματα της ανάλυσης υποδεικνύουν ευκρινώς την ύπαρξη ενός σημείου καμπής, μέχρι το οποίο, οι προτιμήσεις των αποφασιζόντων ικανοποιούνται σε μεγαλύτερο βαθμό, καθώς αυξάνεται το ποσοστό διάχυσης του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή. Αυτό συμβαίνει, κυρίως, λόγω του ότι τα χαρακτηριστικά του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος βελτιώνονται σε όρους συνολικής δυναμικότητας παραγωγής, ανεξάρτησης από τις εισαγωγές, περιβαλλοντικής επίδοσης, και μεταβλητού κόστους. Άρα, κατ' αυτό τον τρόπο, αντισταθμίζονται τα υψηλότερα σταθερά κόστη και οι υψηλότερες απαιτούμενες επενδύσεις κεφαλαίου που περιλαμβάνουν οι πολιτικές πράσινου υδρογόνου.

Ωστόσο, μετά από αυτό το σημείο καμπής, οι παρατηρούμενες αντισταθμίσεις μεταξύ του συνολικού κόστους λειτουργίας του συστήματος και των υπόλοιπων οπτικών της ανάλυσης, μετατρέπουν την περαιτέρω διείσδυση του πράσινου υδρογόνου σε λιγότερο επωφελή, από την οπτική γωνία των χαρασσόντων πολιτικής. Με άλλα λόγια, ο ρυθμός με τον οποίο αυξάνεται το

συνολικό κόστος της πολιτικής πράσινου υδρογόνου από το σημείο καμπής και έπειτα, είναι υψηλότερος από την ένταση με την οποία βελτιώνονται οι υπόλοιπες διαστάσεις της ανάλυσης.

Επιπλέον, οι πολιτικές που περιλαμβάνουν ποσοστά πράσινου υδρογόνου γύρω από το βέλτιστο επίπεδο, παρουσιάζουν μεγαλύτερη αβεβαιότητα σχετικά με την πλήρη υλοποίηση της αναμενόμενης απόδοσής τους, συγκριτικά με τις πολιτικές που προβλέπουν υψηλότερα ποσοστά διάχυσης πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή. Οπότε, οι περισσότερο συντηρητικοί αποφασίζοντας απέναντι στον κίνδυνο, θα πρέπει να εξετάζουν την εφαρμογή πολιτικών στις οποίες το πράσινο υδρογόνο εισέρχεται με μεγαλύτερη ένταση στο ηλεκτροπαραγωγικό μίγμα, με σκοπό την εξομάλυνση αυτού του είδους της αβεβαιότητας. Αυτό καθώς οι εν λόγω πολιτικές, παρουσιάζουν μία πιο περιορισμένη ευαισθησία απέναντι στην αβεβαιότητα, παρά τη συνολικά μικρότερη επίδοσή τους, εν σχέσει με τις πολιτικές που περιλαμβάνουν ποσοστά πράσινου υδρογόνου κοντά στο βέλτιστο σημείο που εντοπίστηκε από την παρούσα ανάλυση.

Στη συνέχεια, για τις δύο πολιτικές για το πράσινο υδρογόνο που εντοπίστηκαν από τη διενεργηθείσα ανάλυση ότι ικανοποιούν καλύτερα τους σκοπούς των αποφασιζόντων, ανάλογα με τη συμπεριφορά των τελευταίων απέναντι στον κίνδυνο, ήτοι για τις πολιτικές ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ3 (παραγόμενο πράσινο υδρογόνο: 53.41 πετατζάουλ και δυναμικότητα αποθήκευσης: 2.88 γιγαβάτ το 2050) και ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ4 (παραγόμενο πράσινο υδρογόνο: 71.22 πετατζάουλ και δυναμικότητα αποθήκευσης: 3.66 γιγαβάτ το 2050), πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση του δυνητικού μακροοικονομικού και κοινωνικού τους αποτυπώματος, στην ελληνική οικονομία και κοινωνία, αντίστοιχα. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από το OSeMOSYS-Ελλάδας σχετικά με το κόστος υλοποίησης των προκριθείσων πολιτικών για το πράσινο υδρογόνο.

Επίσης, όπως παρουσιάστηκε ενδελεχώς στην [Ενότητα 4.3.6](#), για κάθε μία από τις δύο προκριθείσες πολιτικές για το πράσινο υδρογόνο, εξετάστηκαν τέσσερα σενάρια χρηματοδότησης, με βάση τα υποκείμενα τα οποία πρόκειται να καλύψουν το απαιτούμενο κόστος υλοποίησης των πολιτικών ανά περίπτωση, είτε αυτό αφορά επιπλέον επενδύσεις κεφαλαίου, είτε το αυξημένο σταθερό ή/και μεταβλητό κόστος λειτουργίας του συστήματος. Αυτές οι υποθέσεις, σχετικά με τις χρηματοροές που επιβαρύνουν κάθε παράγοντα της οικονομίας, παρουσιάζονται αναλυτικά στον [Πίνακα 14](#), ανά προκριθείσα πολιτική για το πράσινο υδρογόνο, και ανά σενάριο χρηματοδότησης που λαμβάνεται υπόψιν στην ανάλυση. Με βάση αυτές τις χρηματοροές, υπολογίσθηκαν οι «διαταραχές» στην ελληνική οικονομία ανά περίπτωση, οι οποίες τροφοδότησαν το μακροοικονομικό μοντέλο GTAP για την προσομοίωση των πολιτικών ενδιαφέροντος, οι οποίες παρουσιάζονται στον [Πίνακα 15](#).

Για τον υπολογισμό αυτών των «διαταραχών», πέρα από τις παρουσιασθείσες στον **Πίνακα 14** χρηματοροές αυτές καθεαυτές, χρησιμοποιήθηκαν και τα δεδομένα του ΠΚΛ της ελληνικής οικονομίας, ο οποίος αρχικά εξήχθη από τη βάση δεδομένων GTAP έκδοση 11. Πιο συγκεκριμένα, από τον εν λόγω πίνακα χρησιμοποιήθηκαν οι αρχικές απόλυτες τιμές κάθε μεγέθους στο έτος αναφοράς της ανάλυσης (το 2030), με γνώμονα τον υπολογισμό των ποσοστών των «διαταραχών» κάθε μεγέθους, οι οποίες είναι και οι απαιτούμενες για την προσομοίωση των πολιτικών ενδιαφέροντος με το μακροοικονομικό μοντέλο GTAP.

**Πίνακας 14.** Υποθέσεις χρηματοδότησης (σε εκατομμύρια δολάρια) για τις δύο προκριθείσες —σε όρους ελκυστικότητας για τους αποφασίζοντες— πολιτικές για το πράσινο υδρογόνο (ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ3 και ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ4), κατά τη διάρκεια της περιόδου 2030-2050, ανά εξεταζόμενο σενάριο.

Πηγή Κεφαλαίου	Χρονική Περίοδο				Σενάριο	Στρατηγική
	2030-2035	2030-2040	2030-2045	2030-2050		
Νοικοκυριά	1370.26	3808.02	6903.34	12197.36	ΝΟΙΚ	ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ4
Κυβέρνηση	0	0	-429.05	-1094.08		
Νοικοκυριά	0	0	0	0	ΚΥΒ	
Κυβέρνηση	1370.26	3808.02	6474.3	11103.28		
Νοικοκυριά	685.13	1904.01	3451.67	6098.68	50-50	
Κυβέρνηση	685.13	1904.01	3022.63	5004.6		
Νοικοκυριά	-129.74	808.02	2403.34	6197.36	ΕΠΙΔΟΤ	
Κυβέρνηση	0	0	4500	6000		
Επιδότηση	1500	3000	4500	6000		
Νοικοκυριά	905.34	3,028.58	4,789.53	8,652.07	ΝΟΙΚ	ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ3
Κυβέρνηση	0.00	0.00	-214.52	-538.34		

Πηγή Κεφαλαίου	Χρονική Περίοδο				Σενάριο	Στρατηγική
	2030-2035	2030-2040	2030-2045	2030-2050		
Νοικοκυριά	0.00	0.00	0.00	0.00	ΚΥΒ	
Κυβέρνηση	905.34	3,028.58	4,575.01	8,113.73		
Νοικοκυριά	452.67	1,514.29	2,394.76	4,326.03	50-50	
Κυβέρνηση	452.67	1,514.29	2,180.24	3,787.70		
Νοικοκυριά	-594.66	28.58	289.53	2,652.07	ΕΠΙΔΟΤ	
Κυβέρνηση	0.00	0.00	-214.52	-538.34		
Επιδότηση	1,500.00	3,000.00	4,500.00	6,000.00		



*Πίνακας 15: «Διαταραχές» στην ελληνική οικονομία κατά τη διάρκεια της περιόδου 2030-2050, ως απόρροια της υλοποίησης των δύο προκρινθείσων —σε όρους ελκυστικότητας για τους αποφασίζοντες— πολιτικών για το πράσινο υδρογόνο (ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ3 και ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ4).*

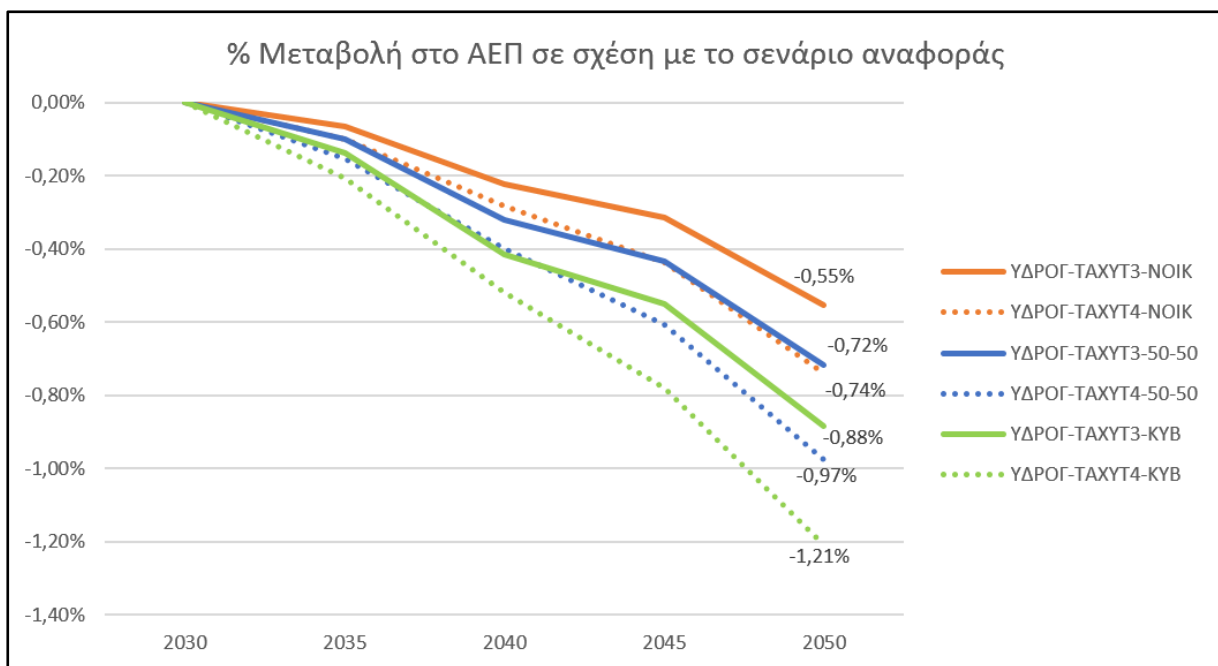
Μεταβλητή	Χρονική Περίοδο				Σενάριο	Στρατηγική
	2030-2035	2030-2040	2030-2045	2030-2050		
Έξοδα Νοικοκυριών	0.50%	1.39%	2.52%	4.46%	ΝΟΙΚ	ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ4
Έξοδα Κυβέρνησης	0.00%	0.00%	-0.62%	-1.58%		
Έξοδα Νοικοκυριών	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ΚΥΒ	
Έξοδα Κυβέρνησης	1.98%	5.51%	9.36%	16.06%		
Έξοδα Νοικοκυριών	0.25%	0.70%	1.26%	2.23%	50-50	
Έξοδα Κυβέρνησης	0.99%	2.75%	4.37%	7.24%		
Έξοδα Νοικοκυριών	-0.05%	0.30%	0.88%	2.26%	ΕΠΙΔΟΤ	
Έξοδα Κυβέρνησης	0.00%	0.00%	-0.62%	-1.58%		
Επενδύσεις	0.57%	1.15%	1.72%	2.30%		
Έξοδα Νοικοκυριών	0.33%	1.11%	1.75%	3.16%	ΝΟΙΚ	ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ3
Έξοδα Κυβέρνησης	0.00%	0.00%	-0.31%	-0.78%		

Μεταβλητή	Χρονική Περίοδο				Σενάριο	Στρατηγική
	2030-2035	2030-2040	2030-2045	2030-2050		
Έξοδα Νοικοκυριών	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	ΚΥΒ	
Έξοδα Κυβέρνησης	1.31%	4.38%	6.62%	11.74%		
Έξοδα Νοικοκυριών	0.17%	0.55%	0.88%	1.58%	50-50	
Έξοδα Κυβέρνησης	0.65%	2.19%	3.15%	5.48%		
Έξοδα Νοικοκυριών	-0.22%	0.01%	0.11%	0.97%	ΕΠΙΔΟΤ	
Έξοδα Κυβέρνησης	0.00%	0.00%	-0.31%	-0.78%		
Επενδύσεις	0.57%	1.15%	1.72%	2.30%		

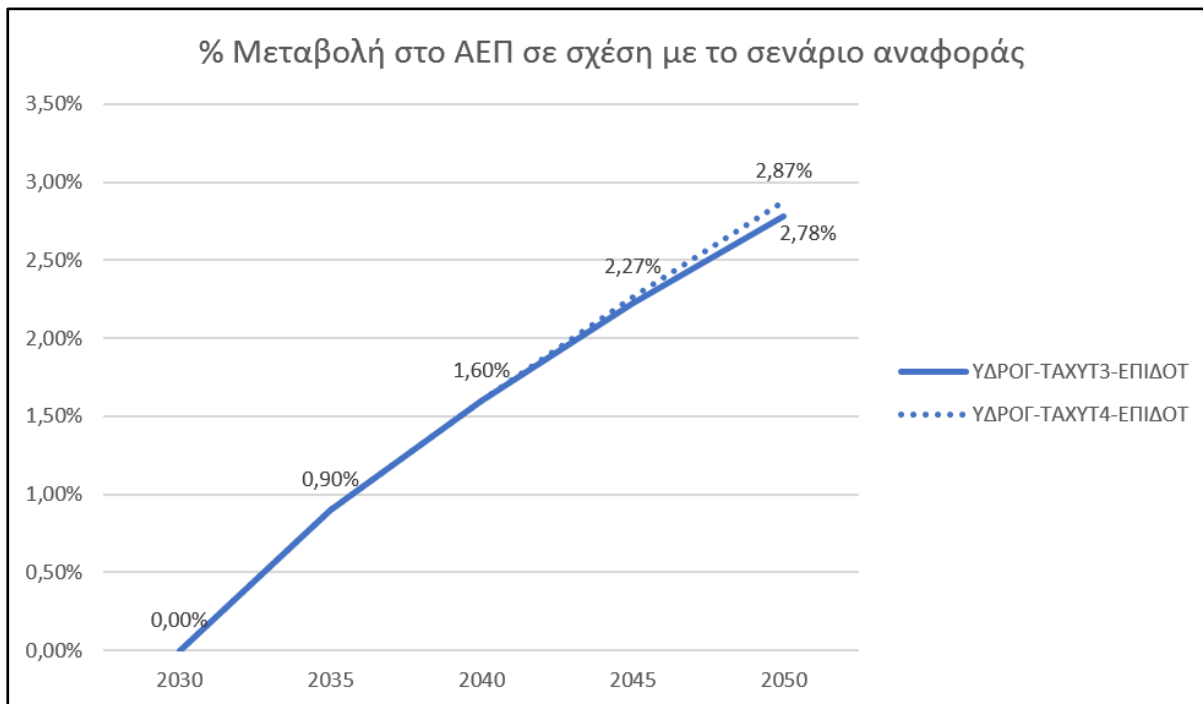
Με βάση την εφαρμογή των «διαταραχών» που παρουσιάζονται στον **Πίνακα 15**, στο μακροοικονομικό μοντέλο GTAP, υπολογίσθηκε η επίδραση των εξεταζόμενων πολιτικών για το πράσινο υδρογόνο στο ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2030-2050. Αυτή η επίδραση απεικονίζεται στις **Εικόνες 65-66**, ανά εξεταζόμενο σενάριο χρηματοδότησης, για τις δύο πολιτικές πράσινου υδρογόνου που εντοπίστηκαν ότι παρουσιάζουν τις καλύτερες προδιαγραφές ανά προφίλ αποφασίζοντα, από την πολυκριτήρια ανάλυση που έλαβε χώρα. Πιο συγκεκριμένα, στην **Εικόνα 65** απεικονίζονται τα αποτελέσματα για τα σενάρια στα οποία δεν προβλέπεται εξωτερική χρηματοδότηση, με το αυξημένο κόστος ηλεκτρισμού να καλύπτεται αποκλειστικά από τους παράγοντες της εγχώριας οικονομίας, ήτοι από τους καταναλωτές, την κυβέρνηση, ή συνδυαστικά από αυτούς τους δύο. Αντίθετα, στην **Εικόνα 66** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις δύο προκριθείσες πολιτικές για το πράσινο υδρογόνο, για την περίπτωση που ένα μέρος του κόστους καλύπτεται από εξωτερική χρηματοδότηση-επιχορήγηση, και δη από κεφάλαια του «Ταμείου Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας».

Θα πρέπει να τονιστεί, ότι και στις δύο περιπτώσεις, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, δηλαδή με το πως αναμένεται να εξελιχθεί το ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας με βάση τις επίσημες δημογραφικές προβλέψεις και χωρίς έτερα εξωγενή γεγονότα. Τα αποτελέσματα αυτής της σύγκρισης, υποδεικνύουν την καθαρή επίδραση των εξεταζόμενων πολιτικών για το πράσινο υδρογόνο στο ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας.

**Εικόνα 65:** Επίδραση των εξεταζόμενων πολιτικών για το πράσινο υδρογόνο στο ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας σε σχέση με το σενάριο αναφοράς κατά την περίοδο 2030-2050, ανά εξεταζόμενο σενάριο χρηματοδότησης (χωρίς επιδότηση).



**Εικόνα 66:** Επίδραση των εξεταζόμενων πολιτικών για το πράσινο υδρογόνο στο ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας σε σχέση με το σενάριο αναφοράς κατά την περίοδο 2030-2050, ανά εξεταζόμενο σενάριο χρηματοδότησης (με επιδότηση).



Όπως μπορεί να διαφανεί στην **Εικόνα 65**, όταν δεν υπάρχει εξωτερική χρηματοδότηση, το απαιτούμενο κόστος υλοποίησης των πολιτικών πράσινου υδρογόνου, επιφέρει ένα αρνητικό μακροοικονομικό αποτύπωμα, σε όρους επίδρασης στο ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας. Η ένταση αυτής της αρνητικής επίδρασης, κλιμακώνεται με την αύξηση του ποσοστού πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, και κυμαίνεται μεταξύ του -0,55% και -1,22%, όσον αφορά το ποσοστό που το ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας παρουσιάζεται συρρικνωμένο το 2050, σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι τα αποτελέσματα για το 2050, εμπεριέχουν τα αποτελέσματα όλης της περιόδου 2030-2050. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που το ΑΕΠ είναι μειωμένο κατά 1,22% το 2050, σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, μπορεί να αναφερθεί ότι κατά μέσο όρο σε ετήσια βάση, το ΑΕΠ είναι κατά 0,061% μειωμένο σε σχέση το σενάριο αναφοράς, ή ότι ένας μικρότερος ρυθμός ανάπτυξης του ΑΕΠ κατά 0,061% λαμβάνει χώρα, κατά τη διάρκεια της περιόδου 2030-2050, ως απόρροια της υλοποίησης των εξεταζόμενων πολιτικών πράσινου υδρογόνου. Οπότε, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα, ότι ακόμη και στις περίπτωση που δεν υπάρχει εξωτερική χρηματοδότηση, η αρνητική επίδραση είναι περιορισμένης κλίμακας.

Είναι άξιο αναφοράς, ότι με βάση το «μονοπάτι» που αναμένεται να διαβεί η ελληνική οικονομία την περίοδο 2030-2050, η επίδραση των εξεταζόμενων πολιτικών πράσινου υδρογόνου σε όλες τις

περιπτώσεις, δε θα οδηγούσε στην απόλυτη μείωση του ΑΕΠ τη ελληνικής οικονομίας αυτού καθαυτού, αλλά σε έναν μειωμένο ρυθμό ανάπτυξης. Σε αυτό το πλαίσιο, δεδομένου ότι η ελληνική οικονομία, με βάση το 2<sup>ο</sup> Διαμοιρασμένο Κοινωνικοοικονομικό Μονοπάτι, αναμένεται να αναπτύσσεται σε ετήσια βάση κατά 2.09% την περίοδο 2030-2050, ακόμη και στη χειρότερη περίπτωση από πλευράς επίδρασης στο ΑΕΠ, η οποία παρατηρείται στην περίπτωση που η κυβέρνηση καλύπτει όλο το σχετικό κόστος υλοποίησης των πολιτικών πράσινου υδρογόνου, το ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας αναμένεται να αναπτύσσεται σε ετήσια βάση κατά 2.02%.

Είναι ενδιαφέρον το γεγονός, ότι η μικρότερη αρνητική επίδραση εντοπίζεται στα σενάρια κατά τα οποία το κόστος το οποίο δεν αφορά δημόσιες δομές και εγκαταστάσεις, μετακυλιέται και καλύπτεται απευθείας και εξ' ολοκλήρου από τον τελικό καταναλωτή (ΑΕΠ: -0.55% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς το 2050 για ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ3, ΑΕΠ: -0.74% εν συγκρίσει με το σενάριο αναφοράς το 2050 για ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ4).

Στον αντίποδα, εντοπίζεται η περίπτωση κατά την οποία η κυβέρνηση καλύπτει το αυξημένο κόστος ηλεκτρισμού, ως απόρροια της υλοποίησης των εξεταζόμενων πολιτικών πράσινου υδρογόνου (ΑΕΠ: -0.88% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς το 2050 για ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ3, ΑΕΠ: -1.21% εν συγκρίσει με το σενάριο αναφοράς το 2050 για ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ4). Στο ενδιάμεσο αυτής της κλίμακας, εμφανίζεται η υβριδική περίπτωση, κατά την οποία η κυβέρνηση καλύπτει το ήμισυ του αυξημένου κόστους ηλεκτρισμού μέσω επιδοτήσεων στα νοικοκυριά (-0.72% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς το 2050 για ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ3, -0.97% εν συγκρίσει με το σενάριο αναφοράς το 2050 για ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ4).

Επίσης, στο ίδιο πλαίσιο, τα υποκείμενα που καλύπτουν το απαιτούμενο κόστος ανά περίπτωση, επηρεάζουν σημαντικά το βαθμό στον οποίο αυξάνεται η επίδραση στο ΑΕΠ, καθώς αυξάνεται το ποσοστό διάχυσης του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή. Πιο συγκεκριμένα, όταν τα νοικοκυριά καλύπτουν το αυξημένο κόστος ηλεκτρισμού, το ΑΕΠ μειώνεται κατά 0.19% για την αύξηση του ηλεκτρισμού που προέρχεται από πράσινο υδρογόνο, από το 15% της τελικής ζήτησης, στο 20%. Στον αντίποδα, όταν η κυβέρνηση καλύπτει εξ' ολοκλήρου το αυξημένο κόστος ηλεκτρισμού, το αντίστοιχο ποσοστό ανέρχεται στο επίπεδο του 0.33%, ενώ στο υβριδικό σενάριο, στο ύψος του 0.25%.

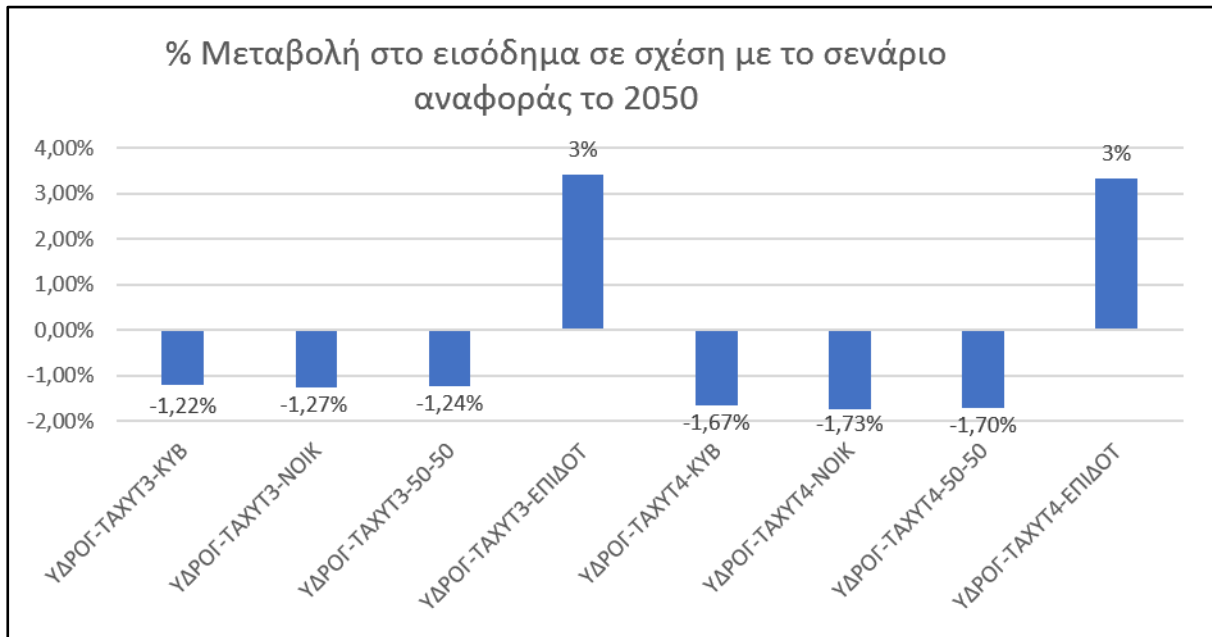
Οπότε, η μετακύλιση του αυξημένου κόστους ηλεκτρισμού στον τελικό καταναλωτή, θα πρέπει να προτεραιοποιείται έτι περαιτέρω, στην περίπτωση που υλοποιούνται πολιτικές υψηλής διάχυσης πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, καθώς αυτός ο μηχανισμός χρηματοδότησης, εντοπίστηκε ότι παρουσιάζει μία πιο ισχυρή ανθεκτικότητα ως προς το βαθμό που το κόστος υλοποίησης των πολιτικών αντικατοπτρίζεται στο ΑΕΠ της οικονομίας.

Αντίθετα, όταν υπάρχει εξωτερική χρηματοδότη και δη υπό τη μορφή επιχορήγησης (*Εικόνα 66*), η επίδραση της υλοποίησης των εξεταζόμενων πολιτικών αναμένεται να είναι θετική, με το ΑΕΠ να εντοπίζεται κατά 2.78% με 2.87% αυξημένο, σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, το 2050, ανάλογα με την πολιτική πράσινου υδρογόνου που προτεραιοποιείται ανά περίπτωση, ήτοι την ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ3 ή ΥΔΡΟΓ-ΤΑΧΥΤ4, αντίστοιχα. Είναι ενδιαφέρον το γεγονός, ότι η περαιτέρω διείσδυση του πράσινου υδρογόνου σε αυτή την περίπτωση, δεν αναμένεται να έχει κάποια σημαντική θετική επίδραση στο ΑΕΠ, κάτι το οποίο μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι το ποσό χρηματοδότησης παραμένει σταθερό, ανεξαρτήτου του συνολικού κόστους υλοποίησης της πολιτικής πράσινου υδρογόνου.

Είναι εμφανές ότι η θετική επίδραση στο ΑΕΠ τη ελληνικής οικονομίας σε αυτή την περίπτωση, οφείλεται στη διακίνηση χρήματος εντός της ελληνικής οικονομίας, το οποίο ούτε μειώνει το διαθέσιμο εισόδημα των νοικοκυριών, ούτε επιβαρύνει το δημόσιο χρέος της ελληνικής κυβέρνησης. Αυτό το εύρημα παρέχει σημαντική πληροφόρηση στους σχεδιαστές ενεργειακής πολιτικής στην Ελλάδα, αναφορικά με το πως πρέπει να αξιοποιηθούν τα χρήματα από το «Ταμείο Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας». Πιο συγκεκριμένα, τα εν λόγω αποτελέσματα υποδεικνύουν τη σημαντικότητα διοχέτευσης ενός ποσού από αυτά τα χρήματα, στην αλυσίδα αξίας της οικονομίας πράσινου υδρογόνου, καθώς όπως διαφαίνεται από τα αποτελέσματα, μία τέτοια ενέργεια δύναται να οδηγήσει σε σημαντική ανάπτυξη της ελληνικής οικονομίας. Οπότε, μπορεί να δηλωθεί με βάση αυτά τα αποτελέσματα, ότι οι επενδύσεις που κατευθύνονται στην αλυσίδα αξίας του πράσινου υδρογόνου παρουσιάζουν μία υψηλή προστιθέμενη αξία.

Όσον αφορά την επίδραση των εξεταζόμενων πολιτικών στο εισόδημα της ελληνικής οικονομίας, παρουσιάζεται στην *Εικόνα 67*. Όπως μπορεί να διαφανεί σε αυτή την εικόνα, όταν δεν υπάρχει εξωτερική χρηματοδότηση, η επίδραση στο επίπεδο των μισθών της ελληνικής οικονομίας είναι αρνητική σε όλες τις περιπτώσεις: το επίπεδο των μισθών της ελληνικής οικονομίας παρουσιάζεται μειωμένο σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, κατά -1,22% με -1,70% το 2050, με την αρνητική επίδραση να αυξάνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό διείσδυσης του πράσινου υδρογόνου, άρα καθώς αυξάνεται το κόστος υλοποίησης των πολιτικών. Επίσης, για το ίδιο ποσοστό διείσδυσης του πράσινου υδρογόνου, η πιο αρνητική επίδραση εντοπίζεται στην περίπτωση που το αυξημένο κόστος ηλεκτρισμού μετακυλιέται στα νοικοκυριά, καθώς σε αυτή την περίπτωση μειώνεται ένα μέρος του διαθέσιμου εισοδήματος τους, ως απόρροια του γεγονότος ότι κατευθύνεται στη χρηματοδότηση των εξεταζόμενων πολιτικών πράσινου υδρογόνου.

**Εικόνα 67.** Επίδραση των εξεταζόμενων πολιτικών για το πράσινο υδρογόνο στο επίπεδο του εισοδήματος της ελληνικής οικονομίας το 2050, σε σχέση με το σενάριο αναφοράς.



Στον αντίποδα, όταν ένα μέρος του απαιτούμενου κόστους υλοποίησης καλύπτεται από εξωτερική χρηματοδότηση και δη από κεφάλαια του «Ταμείου Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας», η επίδραση στο εισόδημα της ελληνικής οικονομίας είναι θετική. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτές τις περιπτώσεις, το εισόδημα παρουσιάζεται αυξημένο κατά 3% σε σχέση με το σενάριο αναφοράς, το 2050. Αυτό το εύρημα κυμαίνεται στην ίδια γραμμή κύματος με τα προκύπτοντα αποτελέσματα για το ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας, για τις περιπτώσεις που υπάρχει εξωτερική χρηματοδότηση υπό τη μορφή επιχορήγησης. Επίσης, το μέγεθος της επίδρασης σε αυτή την περίπτωση, παρουσιάζεται σε γενικές γραμμές ασυσχέτιστο με το ποσοστό της διείσδυσης του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή.

---

## Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και Προοπτικές

---





## 5.1 Συμπεράσματα

Η διενεργούμενη «απανθρακοποίηση» του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος και ο εξηλεκτρισμός της οικονομίας, συνεπάγονται τη λήψη μίας πληθώρας αποφάσεων από τους σχεδιαστές ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, υπό καθεστώς χρονικής πίεσης και αβεβαιότητας. Ακόμη, η πραγματοποίηση των απαραίτητων μετασχηματισμών με όρους κοινωνικής δικαιοσύνης και συμπεριληπτικότητας, καθιστά απαραίτητη την ενσωμάτωση στην ανάλυση των πολυδιάστατων κοινωνικών προεκτάσεων αυτού του είδους των αποφάσεων, πλέον των καθαρά τεχνοοικονομικών παραμέτρων. Σε αυτό το πλαίσιο, καθίσταται αναγκαία η αξιοποίηση και η διασύνδεση συμπληρωματικών ετερογενών εργαλείων, τα οποία θα καταστήσουν εφικτή τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και —κατ' επέκταση— τη σχεδίαση περιεκτικών ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών.

Επίσης, η εγγενής αντισταθμιστικότητα των αποφάσεων που άπτονται του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού —υπό την έννοια ότι η προτεραιοποίηση συγκεκριμένων στόχων, είναι άμεσα συνυφασμένη με το συμβιβασμό έτερων ανταγωνιστικών στόχων— καθιστά καίρια την ανάπτυξη των κατάλληλων πολυκριτηριακών μεθοδολογιών. Η υλοποίηση αυτού του εγχειρήματος, είναι απαρέγκλιτος όρος για τη σχεδίαση ηλεκτροπαραγωγικών πολιτικών, υπό το πρίσμα του συγκερασμού της ευρείας γκάμας των διαστάσεων στις οποίες εκτείνεται η εμβέλεια του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού. Επιπρόσθετα, μία ευρεία γκάμα φορέων εμπλέκεται στον ηλεκτροπαραγωγικό σχεδιασμό, με αντικρουόμενες προτιμήσεις και απόψεις, ετερογενή συμφέροντα, ανομοιογενείς επιρροές και ετερόμορφες προσλήψεις της αβεβαιότητας.

Ακόμη, ο ηλεκτροπαραγωγικός σχεδιασμός εδράζεται σε μία σειρά από υποθέσεις και παραδοχές, σχετικά με τη μακρόχρονη εξέλιξη των κύριων μεγεθών του ενεργειακού συστήματος και της οικονομίας. Αυτό το γεγονός, δημιουργεί ένα ισχυρό περιβάλλον αβεβαιότητας γύρω από τις αποφάσεις που άπτονται του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, το οποίο επιτείνεται τόσο από το σημερινό διεθνές περιβάλλον ισχυρής αβεβαιότητας και τεκτονικών αλλαγών, όσο και από τις σύνθετες αλληλεπιδράσεις μεταξύ του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα και της ευρύτερης οικονομίας. Κατά συνέπεια, καθίσταται αναγκαία η επέκταση των διαθέσιμων —και ο συγκερασμός έτερων— πολυκριτηριακών μεθόδων, κατά τρόπο που να επιτυγχάνεται η αποδοτική διαχείριση της αβεβαιότητας και η συμπερίληψη στην ανάλυση των ιδιοσυγκρασιακών χαρακτηριστικών των αποφασιζόντων έναντι του κινδύνου.

Υπό αυτό το υπόβαθρο, στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής έλαβε χώρα το παρακάτω **θεωρητικό επίτευγμα**:

- Αναπτύχθηκε μία **ολοκληρωμένη μεθοδολογία** για τη συστηματική υποστήριξη των αποφάσεων των διαμορφωτών ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, η οποία εδράζεται στη χρήση εργαλείων «ανοιχτού κώδικα». Η εν λόγω μεθοδολογία πραγματεύεται όλο το εύρος των ενεργειών και

διαδικασιών αναφορικά με την παραμετροποίηση, διαχείριση, διασύνδεση, και αξιοποίηση των χρησιμοποιούμενων εργαλείων, καθώς και τον τρόπο ερμηνείας και αξιοποίησης της εξαγόμενης πληροφορίας από αυτά.

Επιπλέον, στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής, αναπτύχθηκαν τα ακόλουθα εργαλεία:

- Αναπτύχθηκε το **OSeMOSYS-Ελλάδας**, ένα «ανοιχτού κώδικα» δυναμικό μοντέλο βελτιστοποίησης της ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας. Το εν λόγω μοντέλο, στηρίχθηκε στο πλαίσιο ενεργειακής μοντελοποίησης OSeMOSYS, και ενσωμάτωσε τόσο την ιδιοσυγκρασία του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος της Ελλάδας, όσο και τους κύριους άξονες αναφορικά με τη δυναμική εξέλιξή του. Για το σκοπό αυτό, έγινε χρήση τόσο των παρελθοντικών δεδομένων αναφορικά με το ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα της Ελλάδας, όσο και των κύριων προβλέψεων σχετικά με τα δυναμικά «μονοπάτια» εξέλιξής του. Οι εν λόγω προβλέψεις, εξήχθησαν κυρίως από τα επίσημα κυβερνητικά έγγραφα, στα οποία περιγράφονται οι προθέσεις της ελληνικής κυβέρνησης αναφορικά με το μετασχηματισμό του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος.
- Αναπτύχθηκε το **GTAP-Ελλάδας**, ένα «ανοιχτού κώδικα» παγκόσμιο μακροοικονομικό μοντέλο «γενικής ισορροπίας», με εστίαση στην ελληνική οικονομία. Το εν λόγω μοντέλο, στηρίχθηκε στη συμβατική έκδοση του μακροοικονομικού μοντέλου GTAP, και άντλησε τα δεδομένα του από τη βάση δεδομένων GTAP έκδοση 11. Η ακρίβεια με την οποία το εν λόγω μοντέλο αναπαριστά την ελληνική οικονομία, αξιολογήθηκε και εξασφαλίστηκε μέσω της διενέργειας μίας σειράς ασκήσεων “backcasting”, για τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν τα πραγματικά παρελθοντικά δεδομένα της ελληνικής οικονομίας. Το GTAP-Ελλάδας διασυνδέθηκε αποδοτικά με το OSeMOSYS-Ελλάδας, επιτρέποντας —κατ’ αυτό τον τρόπο— την αξιολόγηση του μακροοικονομικού και κοινωνικού αποτυπώματος των υπό εξέταση ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων πολιτικής για την Ελλάδα, και κατ’ επέκταση την απάντηση ερωτήσεων που αφορούν σε ολόκληρη την ελληνική οικονομία.
- Αναπτύχθηκε το **ReReVITO (“Regret Regret VIKOR TOPSIS”)**, ένα πολυκριτηριακό μεθοδολογικό πλαίσιο υποστήριξης αποφάσεων, το οποίο επιτρέπει τον εντοπισμό του ηλεκτροπαραγωγικού σεναρίου πολιτικής που ικανοποιεί καλύτερα τους σκοπούς των αποφασιζόντων, υπό το πρίσμα αβεβαιότητας. Για τη διαχείριση της αβεβαιότητας, χρησιμοποιούνται δύο μέτρα ποσοτικοποίησης των «βαθμών-δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων, και πιο συγκεκριμένα το μέτρο «συνολικής χρησιμότητας» και το μέτρο «μέγιστης δυσαρέσκειας». Η αξιολόγηση των ηλεκτροπαραγωγικών σεναρίων επί των κριτηρίων επίδοσης, πραγματοποιείται μέσω της εφαρμογής των πολυκριτηρίων μεθόδων VIKOR και TOPSIS. Με βάση τον πρωτότυπο συνδυασμό των προαναφερθέντων μέτρων ποσοτικοποίησης των «βαθμών δυσαρέσκειας» των αποφασιζόντων —κατά μήκος των διαμορφούμενων σεναρίων— και πολυκριτηριακών μεθόδων, επιτρέπεται η ενσωμάτωση στην ανάλυση των διαφορετικών οπτικών των αποφασιζόντων έναντι του κινδύνου, κάτι το οποίο επιτρέπει την απεικόνιση τριών προφίλ αποφασιζόντων.

Η μεθοδολογία και τα εργαλεία που αναπτύχθηκαν, εφαρμόστηκαν σε δύο **μελέτες περίπτωσης** για το ελληνικό ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα, με σκοπό την εξαγωγή καίριας γνώσης και την απάντηση ερωτημάτων πολιτικής, που έχουν πλημμυρώσει μέχρι σήμερα εξεταστεί από τη σχετική βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα, οι διενεργηθείσες εφαρμογές της προτεινόμενης μεθοδολογίας υποστήριξης αποφάσεων ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού, είναι οι ακόλουθες:

- Αξιολογήθηκε το **μακροοικονομικό και κοινωνικό αποτύπωμα** μίας ταχείας «απολιγνιτοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας. Για το σκοπό αυτό, θεωρήθηκαν και αξιολογήθηκαν δύο σενάρια διαφορετικής ταχύτητας «απολιγνιτοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής, με βάση τις δύο εκδόσεις (αρχική και τελική) του ΕΣΕΚ της ελληνικής κυβέρνησης. Οι απόλυτες διαφορές μεταξύ αυτών των σεναρίων, φανέρωσαν τις μακροοικονομικές και κοινωνικές επιδράσεις μία ταχείας «απολιγνιτοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής.
- Εξετάστηκε η **κατάλληλη ταχύτητα** διάχυσης του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή της Ελλάδας, με γνώμονα την επίτευξη μίας ευρείας γκάμας αντισταθμιστικών στόχων. Για το σκοπό αυτό, δημιουργήθηκαν μία σειρά από σενάρια πολιτικής για το πράσινο υδρογόνο, κάθε ένα από τα οποία θεωρούσε ένα διαφορετικό βαθμό διείσδυσης του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή και αύξησης της δυναμικότητας αποθήκευσης του συστήματος, από το 2030 και έπειτα, ενώ σχηματίστηκαν διάφορα σενάρια σχετικά με το πως αναμένονται να εξελιχθούν τα κόστη του συστήματος και η τιμολόγηση των δικαιωμάτων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Οι σχηματιζόμενες πολιτικές για το πράσινο υδρογόνο, αξιολογήθηκαν αρχικά, σε σχέση με το βαθμός ευρωστίας τους απέναντι στον κίνδυνο, και έπειτα επί της βάσης οικονομικών, κοινωνικών και τεχνικών κριτηρίων επίδοσης. Για τις εντοπισθείσες ως βέλτιστες πολιτικές ανά προφίλ αποφασίζοντα, εξετάστηκε το μακροοικονομικό και κοινωνικό τους αποτύπωμα, λαμβάνοντας υπόψιν διάφορα σενάρια αναφορικά με το ποιος παράγοντας της οικονομίας χρηματοδοτεί το κόστος υλοποίησής τους.

Με βάση τις εφαρμογές της μεθοδολογίας που έλαβαν χώρα, εξήχθη καίρια **γνώση και διδάγματα** για τους σχεδιαστές ενεργειακών πολιτικών για την περίπτωση της Ελλάδας, τα οποία συνεπάγονται δεδομένες βέλτιστες πρακτικές και κατευθύνσεις πολιτικής.

Αρχικά, εντοπίστηκε ότι η ταχεία «απολιγνιτοποίηση» της ηλεκτροπαραγωγής αναμένεται να είναι **επωφελής** για την ευρύτερη ελληνική οικονομία και κοινωνία, και πιο συγκεκριμένα:

- το ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας αναμένεται να παρουσιαστεί αυξημένο κατά 1% το 2030 στο σενάριο «απότομης απολιγνιτοποίησης», σε σχέση με το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης» (+0.1% σε ετήσια βάση σε χρονικό ορίζοντα δεκαετίας κατά μέσο όρο).
- το εισόδημα των ελληνικών νοικοκυριών αναμένεται να παρουσιαστεί αυξημένο κατά 7% το 2030 στο σενάριο «απότομης απολιγνιτοποίησης», σε σχέση με το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης».
- η ζήτηση των νοικοκυριών αναμένεται να παρουσιαστεί αυξημένη κατά 6.23% το 2030, στο σενάριο «απότομης απολιγνιτοποίησης», σε αντιπαράβολή με το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης».
- το κατά κεφαλήν ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας αναμένεται να διογκωθεί κατά €70.21, το κατά κεφαλήν εισόδημα κατά €9.34 και ο κατά κεφαλήν μισθός κατά €60.17, κατά μέσο όρο σε ετήσια βάση κατά την περίοδο 2020–2030.
- η εξειδικευμένη εργασία αναμένεται να ωφεληθεί από την ταχεία «απολιγνιτοποίηση» σε όρους αποζημίωσης, λόγω της πιο ανεπτυγμένης τεχνολογίας που απαιτείται σε αυτή την περίπτωση, ενώ στον αντίποδα, η «ανειδίκευτη εργασία να ζημιωθεί: +0.72% η αποζημίωση της εξειδικευμένης εργασίας το 2030, και -0.53% η αποζημίωση της ανειδίκευτης εργασίας το 2030, εν σχέσει με το σενάριο «ήπιας απολιγνιτοποίησης».

- Η παραγωγικότητα της ελληνικής οικονομίας αναμένεται να βελτιωθεί: το ποσό τη προστιθέμενης αξίας που απαιτείται για κάθε μία μονάδα παραγόμενου προϊόντος, αναμένεται να μειωθεί στο σενάριο «απότομης απολιγνιτοποίησης».

Ωστόσο, μία ταχεία «απολιγνιτοποίηση» της ηλεκτροπαραγωγής δύναται να οδηγήσει σε κάποιες δομικές **επιπλοκές** την ελληνική οικονομία:

- αυξημένος πληθωρισμός (ΔΤΚ: +4.42% το 2030), αυξημένη εξάρτηση στις εισαγωγές (εισαγωγές: +3.75% το 2030), και μειωμένη διεθνής ανταγωνιστικότητα (εξαγωγές: -10% το 2030). Θα πρέπει να τονιστεί, ωστόσο, ότι οι εν λόγω προεκτάσεις είναι συνήθεις, όταν η ανάπτυξη της οικονομίας υποκινείται από την αύξηση της ζήτησης.

Όσον αφορά την κατάλληλη ταχύτητα διάχυσης του πράσινου υδρογόνου στην ελληνική ηλεκτροπαραγωγή, εντοπίστηκε να είναι η ακόλουθη ανά προφίλ αποφασίζοντα έναντι του κινδύνου:

- για αποφασίζοντες οι οποίοι παρουσιάζουν ένα **υψηλό** επίπεδο **ανοχής** —ή μία **ουδετερότητα**— απέναντι στον κίνδυνο, στο ύψος εκείνο από το οποίο δύναται να παραχθεί περίπου το **15%** της **τελικής ζήτησης** ηλεκτρισμού, το 2050. Η εν λόγω πολιτική θα απαιτούσε, περίπου, επιπλέον 6.6 GW καθαρής ενέργειας και 2.9 GW αποθηκευτικής μπαταρίας το 2050 και 12.55 δισεκατομμύρια € για τη χρηματοδότησή της, κατά την περίοδο 2030-2050. Μία τέτοια πολιτική θα μπορούσε να οδηγήσει σε μειώσεις εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, κατά σχεδόν 15.71 μεγατόνους την περίοδο 2030-2050.

Το **μακροοικονομικό** αποτύπωμα μίας τέτοιας πολιτικής, αναμένεται να είναι το ακόλουθο:

- ✓ σε όρους επίδρασης στο ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας, ανά χρονιά της περιόδου 2030-2050:
  - -0.03%: όταν το αυξημένο κόστος ηλεκτρισμού μετακυλιεται στον τελικό καταναλωτή, -0.04%: όταν το αυξημένο κόστος ηλεκτρισμού καλύπτεται από την κυβέρνηση ή εξ ημισείας από την κυβέρνηση και τον τελικό καταναλωτή, +0.14%: όταν το κόστος που μετακυλιεται στον καταναλωτή, χρηματοδοτείται κατά 6 δισεκατομμύρια € από πόρους του «Ταμείου Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας».
- ✓ σε όρους επίδρασης στο επίπεδο του εισοδήματος της ελληνικής οικονομίας, ανά χρονιά της περιόδου 2030-2050:
  - -0.06%: όταν το αυξημένο κόστος ηλεκτρισμού καλύπτεται από τον τελικό καταναλωτή, την κυβέρνηση, ή συνδυαστικά από αυτούς τους δύο, +0.17%: όταν το κόστος που μετακυλιεται στον τελικό καταναλωτή, χρηματοδοτείται κατά 6 δισεκατομμύρια € από πόρους του «Ταμείου Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας».
- για αποφασίζοντες οι οποίοι παρουσιάζουν ένα **χαμηλό** επίπεδο **ανοχής** απέναντι στον κίνδυνο, στο επίπεδο εκείνο από το οποίο θα μπορούσε να καλυφθεί περίπου το **20%** της **τελικής ζήτησης** ηλεκτρισμού, το 2050. Για αυτή την πολιτική, θα απαιτούνταν, προσεγγιστικά, επιπλέον 7.34 GW καθαρής ενέργειας και 3.66 GW αποθηκευτικής μπαταρίας το 2050, και 17 δισεκατομμύρια € για τη χρηματοδότησή της κατά την περίοδο 2030-2050. Μία τέτοια πολιτική, θα μπορούσε να οδηγήσει σε μειώσεις εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, κατά σχεδόν 20.54 μεγατόνους την περίοδο 2030-2050.

Το δυνητικό **μακροοικονομικό** αποτύπωμα μίας τέτοιας πολιτικής, εντοπίστηκε να είναι το ακόλουθο:

- ✓ σε όρους επίδρασης στο ΑΕΠ της ελληνικής οικονομίας, ανά χρονιά της περιόδου 2030-2050:
  - -0.05%: όταν το αυξημένο κόστος ηλεκτρισμού καλύπτεται εξ ημισείας από την κυβέρνηση και τον καταναλωτή, -0.04%: όταν το αυξημένο κόστος ηλεκτρισμού μετακυλιέται στον τελικό καταναλωτή, -0.06%: όταν το αυξημένο κόστος ηλεκτρισμού καλύπτεται από την κυβέρνηση, +0.14%: όταν το κόστος που μετακυλιέται στον τελικό καταναλωτή χρηματοδοτείται κατά 6 δισεκατομμύρια € από πόρους του «Ταμείου Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας».
- ✓ σε όρους επίδρασης στο επίπεδο του εισοδήματος της ελληνικής οικονομίας, ανά χρονιά της περιόδου 2030-2050:
  - -0.09%: όταν το αυξημένο κόστος ηλεκτρισμού καλύπτεται από τον τελικό καταναλωτή ή εξ ημισείας από την κυβέρνηση και τον τελικό καταναλωτή, -0.08%: όταν το αυξημένο κόστος ηλεκτρισμού καλύπτεται από την κυβέρνηση, +0.17%: όταν το κόστος που μετακυλιέται στον καταναλωτή μειώνεται κατά 6 δισεκατομμύρια € από χρηματοδότηση.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το κόστος υλοποίησης των πολιτικών πράσινου υδρογόνου που αναφέρθηκε παραπάνω, αναφέρεται μόνο στα μέτρα που σχετίζονται άμεσα με τη διείσδυση του πράσινου υδρογόνου και την αύξηση της δυνατότητας αποθήκευσης του συστήματος, και όχι στο κόστος μετάβασης ολόκληρου του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος. Οπότε, με βάση τα ευρήματα της διατριβής, στην περίπτωση υλοποίησης των εξεταζόμενων πολιτικών πράσινου υδρογόνου, οι συνολικές επενδύσεις για το μετασχηματισμό του ελληνικού ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, αναμένεται να κυμανθούν στο ύψος των 27.81-32.31 δισεκατομμυρίων €, κατά την περίοδο 2030-2050.

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι επενδύσεις στην αλυσίδα αξίας του πράσινου υδρογόνου, παρουσιάζουν υψηλή προστιθέμενη αξία, κάτι το οποίο γίνεται πιο ευκρινές στην περίπτωση που ένα μέρος της απαιτούμενης χρηματοδότησης προέρχεται από πόρους του «Ταμείου Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας», ήτοι από επιχορήγηση. Ακόμη, εντοπίστηκε ότι η διείσδυση του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, θα πρέπει να γίνεται με γνώμονα τη δημιουργία και εκμετάλλευση οικονομιών κλίμακας. Ωστόσο, στην περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό, όπως στην περίπτωση που η δυναμικότητα καθαρής ενέργειας του συστήματος δεν επαρκεί για την παραγωγή της απαραίτητης ποσότητας πράσινου υδρογόνου, θα πρέπει να εξετάζεται ο ολοκληρωτικός αποκλεισμός του από την ηλεκτροπαραγωγή, υπό το πρίσμα της ικανοποίησης των σκοπών και των προτιμήσεων των αποφασιζόντων.

Επιπλέον, έτερα **συμπεράσματα πολιτικής** που μπορούν να εξαχθούν από τις διενεργηθείσες εφαρμογές, είναι τα ακόλουθα:

- Η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο από την οπτική της άμβλυνσης του ανταγωνισμού για χρήση εκτάσεων γης, ο οποίος είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την ανάπτυξη της καθαρής ηλεκτροπαραγωγής. Επίσης, η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να υποκαταστήσει την ανάγκη χρησιμοποίησης των πιο ακριβών τεχνολογιών ΑΠΕ —σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες— όπως η γεωθερμία και τα μικρά υδροηλεκτρικά.
- Το πράσινο υδρογόνο αποτελεί σημαντικό εργαλείο στα χέρια των κυβερνήσεων, η χρησιμοποίηση του όμως είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την αύξηση της δυναμικότητας των καθαρών τεχνολογιών και —συνεπακόλουθα— την αποθήκευση ενέργειας. Οπότε, η χρήση του, και δη η εκτενής, παρουσιάζει δεδομένες αδυναμίες και περιορισμούς. Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα διατριβή εντόπισε ότι απαιτείται αύξηση της δυναμικότητας αποθήκευσης του συστήματος κατά περίπου 1 GW, για κάθε 3,386 GWh της τελικής ζήτησης ηλεκτρισμού που προέρχονται από πράσινο υδρογόνο.
- Σημαντικές αποκλίσεις μπορεί να προκύψουν σχετικά με το μακροοικονομικό αποτύπωμα μίας ηλεκτροπαραγωγικής πολιτικής, ανάλογα με την υπόθεση του ποιος παράγοντας της οικονομίας επωμίζεται το κόστος υλοποίησής της. Η παρούσα διδακτορική διατριβή κατέληξε στο συμπέρασμα ότι —όταν δεν υπάρχει η δυνατότητα άντλησης πόρων υπό μορφή επιχορήγησης— το σενάριο που παρουσιάζει την υψηλότερη ανθεκτικότητα, εν σχέσει με το βαθμό που το κόστος υλοποίησης της πολιτικής αποτυπώνεται στο ΑΕΠ, είναι αυτό κατά το οποίο ο καταναλωτής επωμίζεται το αυξημένο κόστος. Στον αντίποδα, το σενάριο κατά το οποίο το κόστος υλοποίησης αποτυπώνεται κατά μεγαλύτερο βαθμό στο ΑΕΠ σε όρους αρνητικής επίδρασης, είναι αυτό κατά το οποίο το κόστος καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από κρατικά κεφάλαια. Στο ενδιάμεσο αυτών των περιπτώσεων, εντοπίζεται η περίπτωση που το κόστος διαμοιράζεται ισόποσα μεταξύ του τελικού καταναλωτή και της κυβέρνησης. Πιο συγκεκριμένα, μία τέτοια ενέργεια, κατά την οποία το κόστος υλοποίησης μετακυλιέται στον τελικό καταναλωτή, εν σχέσει με την περίπτωση που καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από την κυβέρνηση, μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένο κόστος στο ΑΕΠ της οικονομίας, της τάξεως του 0.02% σε ετήσια βάση.

## 5.2 Προοπτικές

Με την περάτωση της παρούσας διδακτορικής διατριβής, δημιουργούνται μία σειρά από ερευνητικά ζητήματα, τα οποία παραμένουν ανοιχτά προς περαιτέρω μελέτη και διεκπεραίωση. Αρχικά, όσον αφορά την ανάλυση του ηλεκτροπαραγωγικού σχεδιασμού με το OSeMOSYS, θα μπορούσαν να εξεταστούν οι δομικές αβεβαιότητες του μοντέλου, πλέον των αβεβαιοτήτων που συνδέονται με τα δεδομένα εισόδου του μοντέλου. Επιπλέον, θα μπορούσε να επεκταθεί το επίπεδο εστίασης της μοντελοποίησης, απεικονίζοντας ολόκληρο τον ενεργειακό τομέα της Ελλάδας, πλέον του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα, στον οποίο επικεντρώθηκε η παρούσα διδακτορική διατριβή.

Επίσης, όπως εντοπίστηκε από την παρούσα διδακτορική διατριβή —και όπως έχει ήδη μέχρι σήμερα αναφερθεί στη βιβλιογραφία— τα μακροοικονομικά μοντέλα «γενικής ισορροπίας» παρουσιάζουν μία σημαντική αδυναμία, ως προς το να υπολογίσουν την επίδραση των εξεταζόμενων ενεργειακών πολιτικών, στην απασχολησιμότητα της οικονομίας. Αυτό συμβαίνει, καθώς όταν ρυθμίζονται στην δομή εκείνη κατά την οποία μπορούν να απαντήσουν σε αυτού του είδους την ερώτηση, γίνονται «υπερευαίσθητα» στις εφαρμοζόμενες «διαταραχές» στην οικονομία, και τα αποτελέσματά τους δεν παρουσιάζουν ένα αποδεκτό επίπεδο ευρωστίας. Άρα, ένα μελλοντικό ερευνητικό εγχείρημα, θα μπορούσε να αποτελέσει η κατάλληλη ρύθμιση αυτής της κατηγορίας μοντέλων, ώστε να μπορούν να απαντήσουν με έναν πιο ακριβή τρόπο αναφορικά με την επίδραση των ενεργειακών πολιτικών στις θέσεις απασχόλησης της οικονομίας, ανά τομέα της οικονομίας και συνολικά.

Επιπλέον, όσον αφορά τη διασύνδεση του χρησιμοποιούμενου μοντέλου βελτιστοποίησης της ηλεκτροπαραγωγής (OSeMOSYS) με το μακροοικονομικό μοντέλο το οποίο αξιοποιήθηκε από την παρούσα διδακτορική διατριβή (GTAP), χρησιμοποιήθηκε σύνδεση «μίας κατεύθυνσης», με το OSeMOSYS να ενημερώνει το GTAP. Ένας πιο συνεπής τρόπος διασύνδεσης των δύο κατηγοριών μοντέλων, θα αποτελούσε η χρήση μίας σύνδεσης «διπλής κατεύθυνσης», με τη διενέργεια μίας σειράς ενεργειών αναφορικά με την ανταλλαγή πληροφοριών και προς τις δύο κατευθύνσεις, με τα δύο μοντέλα να ενημερώνουν —αλλά και να ενημερώνονται από— το συμπληρωματικό μοντέλο του έτερου είδους. Επιπλέον, όσον αφορά το χρησιμοποιούμενο μακροοικονομικό μοντέλο, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μία δυναμική έκδοσή του, με το μοντέλο να παράγει τα αποτελέσματά του σε ετήσια βάση. Ακόμη, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ή αναπτυχθεί, ένα μακροοικονομικό μοντέλο το οποίο παρουσιάζει μία μεγαλύτερη εστίαση στον ενεργειακό τομέα, σε αντιπαραβολή με το GTAP το οποίο εστιάζει στις γενικές αλληλεπιδράσεις της οικονομίας.

Όσον αφορά τις εφαρμογές της προτεινόμενης μεθοδολογίας και των εργαλείων που αναπτύχθηκαν, θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν στην ανάλυση μία σειρά από επιπλέον διαστάσεις, με σκοπό την εξαγωγή περισσότερης —και πιο αντιπροσωπευτικής— πληροφορίας για



τους σχεδιαστές ενεργειακών πολιτικών. Πιο συγκεκριμένα, εκτός από την αξιολόγηση των συνολικών επιδράσεων που αναμένεται να έχει στην οικονομία μία ταχεία «απολιγνιτοποίηση» της ηλεκτροπαραγωγής, θα μπορούσαν να αξιολογηθούν και οι αντίστοιχες επιδράσεις σε συγκεκριμένες περιοχές της ελληνικής επικράτειας — και δη σε αυτές που επηρεάζονται άμεσα από το κλείσιμο των λιγνιτικών ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων. Σε αυτή την προσπάθεια, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μοντέλα που βασίζονται σε τοπικούς παράγοντες (“agent-based models”; Haldane and Turrell, 2019), επιτρέποντας —κατ’ αυτό τον τρόπο— την ενσωμάτωση στην ανάλυση της επίδρασης των αποφάσεων που λαμβάνονται από τους τοπικούς φορείς.

Επίσης, όσον αφορά τη μελέτη περίπτωσης για τον εντοπισμό της κατάλληλης ταχύτητας διάχυσης του πράσινου υδρογόνου στην ηλεκτροπαραγωγή, θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψιν —και να μοντελοποιηθούν— οι απευθείας καταναλώσεις πράσινου υδρογόνου, οι οποίες στο πλαίσιο της ανάλυσης που έλαβε χώρα, δε λήφθηκαν υπόψιν. Επιπλέον, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί και μία ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων, με βάση διαφορετικά βάρη στα κριτήρια της ανάλυσης, τα οποία στο πλαίσιο της εφαρμογής που έλαβε χώρα για λόγους ευρωστίας, θεωρήθηκαν ισομερώς κατανεμημένα μεταξύ των χρησιμοποιούμενων κριτηρίων.

Τέλος, τα ερωτήματα πολιτικής που επιχειρήθηκαν να απαντηθούν στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής, θα μπορούσαν να επανεξεταστούν μέσω της ενσωμάτωσης των τελευταίων εξελίξεων στην παγκόσμια αγορά ενέργειας και στην παγκόσμια οικονομία, όπως η αύξηση του πληθωρισμού ενέργειας<sup>1</sup> εξετάζοντας το βαθμό που θα επηρέαζαν τα εξαγόμενα αποτελέσματα, εν σχέσει με αυτά που προέκυψαν στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής. Επίσης, με βάση τις πρόσφατες εξελίξεις στις διεθνείς αγορές ενέργειας και την εκπεφρασμένη πρόθεση της ευρωπαϊκής ηγεσίας για ταχεία «απαγκίστρωση» από το (ρωσικό) φυσικό αέριο, καθίσταται απαραίτητη η συμπερίληψη και έτερων διαστάσεων όταν αξιολογείται η κατάλληλη ταχύτητα «απολιγνιτοποίησης» της ηλεκτροπαραγωγής, πλέον των καθαρά μακροοικονομικών και κοινωνικών παραμέτρων που λήφθηκαν υπόψιν στην παρούσα μελέτη περίπτωσης, όπως αυτών της ενεργειακής ασφάλειας και αυτονομίας.

---

## Βιβλιογραφία

---

- Abreu Kang, T.H., da Costa Soares Júnior, A.M., de Almeida, A.T., 2018. Evaluating electric power generation technologies: A multicriteria analysis based on the FITradeoff method. *Energy* 165, 10–20. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2018.09.165>
- ACEEE, 2019. Halfway There: Energy Efficiency Can Cut Energy Use and Greenhouse Gas Emissions in Half by 2050 [WWW Document]. URL <https://www.aceee.org/research-report/u1907> (accessed 6.8.21).
- Adams, P.D., 2005. Interpretation of results from CGE models such as GTAP. *J Policy Model* 27, 941–959. <https://doi.org/10.1016/J.JPOLMOD.2005.06.002>
- Adelphi and Sitawi, 2020. A Report for Financial Intermediaries in Brazil - Industrial Energy Accelerator.
- Aguiar, A., Chepeliev, M., Corong, E.L., McDougall, R., Mensbrugge, D., 2019. The GTAP Data Base: Version 10. *J Glob Econ Anal* 4, 1–27.
- Aguiar, A., Narayanan, B., McDougall, R., 2016. An overview of the GTAP 9 data base. *J Glob Econ Anal* 1, 181–208.
- Ahmad, S., Nadeem, A., Akhanova, G., Houghton, T., Muhammad-Sukki, F., 2017. Multi-criteria evaluation of renewable and nuclear resources for electricity generation in Kazakhstan. *Energy* 141, 1880–1891. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2017.11.102>
- Ahn, B.S., 2015. Extreme point-based multi-attribute decision analysis with incomplete information. *Eur J Oper Res* 240, 748–755. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2014.07.037>
- Ahn, B.S., Park, K.S., 2008. Comparing methods for multiattribute decision making with ordinal weights. *Comput Oper Res* 35, 1660–1670. <https://doi.org/10.1016/J.COR.2006.09.026>
- Aissi, H., Bazgan, C., Vanderpooten, D., 2009. Min–max and min–max regret versions of combinatorial optimization problems: A survey. *Eur J Oper Res* 197, 427–438.
- Al Garni, H., Kassem, A., Awasthi, A., Komljenovic, D., Al-Haddad, K., 2016. A multicriteria decision making approach for evaluating renewable power generation sources in Saudi Arabia. *Sustain Energy Technol Assessments* 16, 137–150. <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2016.05.006>
- Alexander, S., Floyd, J., 2020. The Political Economy of Deep Decarbonization: Tradable Energy Quotas for Energy Descent Futures. *Energies* . <https://doi.org/10.3390/en13174304>
- Alizadeh, R., Soltanisehat, L., Lund, P.D., Zamanisabzi, H., 2020. Improving renewable energy policy planning and decision-making through a hybrid MCDM method. *Energy Policy* 137, 111174.

<https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2019.111174>

Almutairi, K., Thoma, G., Durand-Morat, A., 2018. Ex-Ante Analysis of Economic, Social and Environmental Impacts of Large-Scale Renewable and Nuclear Energy Targets for Global Electricity Generation by 2030. *Sustain* . <https://doi.org/10.3390/su10082884>

Andrei, M., Thollander, P., Pierre, I., Gindroz, B., Rohdin, P., 2021. Decarbonization of industry: Guidelines towards a harmonized energy efficiency policy program impact evaluation methodology. *Energy Reports* 7, 1385–1395. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.02.067>

Antosiewicz, M., Nikas, A., Szpor, A., Witajewski-Baltvilks, J., Doukas, H., 2020. Pathways for the transition of the Polish power sector and associated risks. *Environ Innov Soc Transitions* 35, 271–291.

Arndt, C., Pearson, K.R., 1996. How to carry out systematic sensitivity analysis via Gaussian quadrature and GEMPACK. *GTAP Tech Pap* 3.

Auffhammer, M., 2018. Quantifying economic damages from climate change. *J Econ Perspect* 32, 33–52.

Augustine, C., Blair, N., 2021. Storage Futures Study Storage Technology Modeling Input Data Report Storage Technology Modeling Input Data Report 1–84.

Bahn, O., Marcy, M., Vaillancourt, K., Waaub, J.P., 2013. Electrification of the Canadian road transportation sector: A 2050 outlook with TIMES-Canada. *Energy Policy* 62, 593–606. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2013.07.023>

Beccali, M., Cellura, M., Ardenete, D., 1998. Decision making in energy planning: the ELECTRE multicriteria analysis approach compared to a FUZZY-SETS methodology. *Energy Convers Manag* 39, 1869–1881. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(98\)00053-3](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(98)00053-3)

Belton, V., Stewart, T., 2002. *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Springer Science & Business Media.

Bergman, N., Foxon, T.J., 2020. Reframing policy for the energy efficiency challenge: Insights from housing retrofits in the United Kingdom. *Energy Res Soc Sci* 63, 101386. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2019.101386>

Bertsimas, D., Brown, D.B., Caramanis, C., 2011. Theory and applications of robust optimization. *SIAM Rev* 53, 464–501.

Boehringer, C., Rutherford, T.F., Schneider, J., 2021. The incidence of CO2 emissions pricing under

- alternative international market responses: A computable general equilibrium analysis for Germany. Oldenburg Discussion Papers in Economics.
- Bohanec, M., Trdin, N., Kontić, B., 2017. A qualitative multi-criteria modelling approach to the assessment of electric energy production technologies in Slovenia. *Cent Eur J Oper Res* 25, 611–625.
- Brand, B., Missaoui, R., 2014. Multi-criteria analysis of electricity generation mix scenarios in Tunisia. *Renew Sustain Energy Rev* 39, 251–261. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2014.07.069>
- Brans, J.-P., Vincke, P., Mareschal, B., 1986. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *Eur J Oper Res* 24, 228–238.
- Brunner, K., Meltzer, A., 1983. Econometric policy evaluation: A critique, in: *Theory, Policy, Institutions: Papers from the Carnegie-Rochester Conferences on Public Policy*. North Holland, p. 257.
- Bryson, J.M., 2004. What to do when stakeholders matter: stakeholder identification and analysis techniques. *Public Manag Rev* 6, 21–53.
- Bukowski, M., Kowal, P., 2010. Large scale, multi-sector DSGE model as a climate policy assessment tool-Macroeconomic Mitigation Options (MEMO) model for Poland. Instytut Badan Strukturalnych.
- Burfisher, M.E., 2017. *Introduction to Computable General Equilibrium Models*, 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/DOI: 10.1017/9781316450741>
- Burniaux, J.-M., Truong, T.P., 2002. GTAP-E: an energy-environmental version of the GTAP model. GTAP Tech Pap 18.
- Calise, F., Cappiello, F.L., Vicidomini, M., Song, J., Pantaleo, A.M., Abdelhady, S., Shaban, A., Markides, C.N., 2021. Energy and Economic Assessment of Energy Efficiency Options for Energy Districts: Case Studies in Italy and Egypt. *Energies* . <https://doi.org/10.3390/en14041012>
- Cameron, C., Yelverton, W., Dodder, R., West, J.J., 2014. Strategic responses to CO2 emission reduction targets drive shift in U.S. electric sector water use. *Energy Strateg Rev* 4, 16–27. <https://doi.org/10.1016/J.ESR.2014.07.003>
- Carlsson, J., Fortes, M., de Marco, G., Giuntoli, J., Jakubcionis, M., Jäger-Waldau, A., Lacal-Arantequi, R., Lazarou, S., Magagna, D., Moles, C., 2014. ETRI 2014—Energy Technology Reference Indicator Projections for 2010–2050. Eur Comm Jt Res Centre, Inst Energy Transp Luxemb Publ Off Eur Union.

- Catenazzi, G., 2009. Advances in techno-economic energy modeling: Costs, dynamics and hybrid aspects.
- Cavallaro, F., Ciraolo, L., 2005. A multicriteria approach to evaluate wind energy plants on an Italian island. *Energy Policy* 33, 235–244. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00228-3](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00228-3)
- Chapman, A., Itaoka, K., Hirose, K., Davidson, F.T., Nagasawa, K., Lloyd, A.C., Webber, M.E., Kurban, Z., Managi, S., Tamaki, T., Lewis, M.C., Hebner, R.E., Fujii, Y., 2019. A review of four case studies assessing the potential for hydrogen penetration of the future energy system. *Int J Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.01.168>
- Chen, P., 2021. Effects of the entropy weight on TOPSIS. *Expert Syst Appl* 168, 114186. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2020.114186>
- Chepeliev, M., 2019. GTAP-Power 10 data base: A technical note.
- Chepeliev, M., 2014. Simulation and Economic Impact Evaluation of Ukrainian Electricity Market Tariff Policy Shift In the process of subsidization 2 the government has to coordinate a wide variety of criterions and performance targets , considering social , economic and envir 1–24.
- Chepeliev, M., Diachuk, O., Podolets, R., 2018. Transition Towards High Share of Renewables in Ukraine: Linked Energy System and CGE Model Approach. *SSRN Electron J*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3231225>
- Choi, D., Ahn, Y.H., Choi, D.G., 2020. Multi-criteria decision analysis of electricity sector transition policy in Korea. *Energy Strateg Rev* 29, 100485. <https://doi.org/10.1016/J.ESR.2020.100485>
- Cohon, J.L., 2004. Multiobjective programming and planning. Courier Corporation.
- Contaldi, M., Gracceva, F., Mattucci, A., 2008. Hydrogen perspectives in Italy: Analysis of possible deployment scenarios. *Int J Hydrogen Energy* 33, 1630–1642. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2007.12.035>
- Croucher, M., 2012. What is important when modeling the economic impact of energy efficiency standards? *Util Policy* 22, 50–57. <https://doi.org/10.1016/J.JUP.2011.12.002>
- D’Alessandro, S., Luzzati, T., Morroni, M., 2010. Energy transition towards economic and environmental sustainability: feasible paths and policy implications. *J Clean Prod* 18, 291–298. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.015>
- D’Amore-Domenech, R., Santiago, Ó., Leo, T.J., 2020. Multicriteria analysis of seawater electrolysis technologies for green hydrogen production at sea. *Renew Sustain Energy Rev* 133, 110166.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110166>

- Datta, A., Ray, A., Bhattacharya, G., Saha, H., 2011. Green energy sources (GES) selection based on multi-criteria decision analysis (MCDA). *Int J Energy Sect Manag.*
- DeCarolis, J.F., 2011. Using modeling to generate alternatives (MGA) to expand our thinking on energy futures. *Energy Econ* 33, 145–152. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2010.05.002>
- Dedi, D.V.. M.-K., 2020. Natural gas in Greece: The bridge to decarbonization [WWW Document]. URL <https://energypress.eu/natural-gas-in-greece-the-bridge-to-decarbonization/> (accessed 6.29.21).
- del Granado, P.C., Skar, C., Doukas, H., Trachanas, G.P., 2019. Investments in the EU power system: a stress test analysis on the effectiveness of decarbonisation policies, in: *Understanding Risks and Uncertainties in Energy and Climate Policy*. Springer, Cham, pp. 97–122.
- Deloitte, 2016. Energy efficiency in Europe | Deloitte | Energy & Resources.
- Demirtas, O., 2013. Evaluating the best renewable energy technology for sustainable energy planning. *Int J Energy Econ Policy* 3, 23–33.
- Deng, Q., Jiang, X., Zhang, L., Cui, Q., 2015. Making optimal investment decisions for energy service companies under uncertainty: A case study. *Energy* 88, 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.004>
- DEPA, 2021. “White Dragon” proposal submitted for IPCEI Hydrogen Important Projects of Common European Interest - DEPA COMMERCIAL S.A. [WWW Document]. URL <https://www.depa.gr/white-dragon-proposal-submitted-for-ipcei-hydrogen-important-projects-of-common-european-interest/?lang=en> (accessed 10.29.21).
- Di Silvestre, M.L., La Cascia, D., Riva Sanseverino, E., Zizzo, G., 2016. Improving the energy efficiency of an islanded distribution network using classical and innovative computation methods. *Util Policy* 40, 58–66. <https://doi.org/10.1016/J.JUP.2016.04.004>
- Diakoulaki, D., Karangelis, F., 2007. Multi-criteria decision analysis and cost–benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece. *Renew Sustain Energy Rev* 11, 716–727. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2005.06.007>
- Dianellou, A., Christakopoulos, T., Caralis, G., Kotroni, V., Lagouvardos, K., Zervos, A., 2021. Is the Large-Scale Development of Wind-PV with Hydro-Pumped Storage Economically Feasible in Greece? *Appl Sci* . <https://doi.org/10.3390/app11052368>

- Dimitriadis, E., Sarafidou, A., Kaltsidou, D., 2014. The impact of effective human resource management practices on job satisfaction: the case of National Bank of Greece.
- Dimitrov, 2021. Greek hydrogen projects move closer to EU funding | ICIS [WWW Document]. URL <https://www.icis.com/explore/resources/news/2021/09/07/10682510/greek-hydrogen-projects-move-closer-to-eu-funding> (accessed 10.29.21).
- Doukas, H., 2018. On the appraisal of “Triple-A” energy efficiency investments. *Energy Sources, Part B Econ Planning, Policy* 13, 320–327. <https://doi.org/10.1080/15567249.2018.1494763>
- Doukas, H., Nikas, A., 2020. Decision support models in climate policy. *Eur J Oper Res* 280, 1–24. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2019.01.017>
- Doukas, H., Nikas, A., González-Eguino, M., Arto, I., Anger-Kraavi, A., 2018. From Integrated to Integrative: Delivering on the Paris Agreement. *Sustain* . <https://doi.org/10.3390/su10072299>
- Doukas, H., Nikas, A., Stamtzis, G., Tsipouridis, I., 2020. The Green Versus Green Trap and a Way Forward. *Energies* . <https://doi.org/10.3390/en13205473>
- Doukas, H., Patlitzianas, K.D., Psarras, J., 2006. Supporting sustainable electricity technologies in Greece using MCDM. *Resour Policy* 31, 129–136. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2006.09.003>
- Duretec, C.B., 2014. OCLC Systems & Services: International digital library perspectives Scalable decision support for digital preservation.
- E3MLab, 2021. The PRIMES Model [WWW Document]. URL [http://www.e3mlab.eu/e3mlab/index.php?option=com\\_content&view=category&id=35](http://www.e3mlab.eu/e3mlab/index.php?option=com_content&view=category&id=35) (accessed 8.3.21).
- EC, 2021a. EU Reference Scenario 2020.
- EC, 2021b. 2050 long-term strategy [WWW Document]. URL [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en) (accessed 6.8.21).
- EC, 2021c. Governance of the Energy Union: Council confirms deal reached with the European Parliament - Consilium [WWW Document]. URL <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2018/06/29/governance-of-the-energy-union-council-confirms-deal-reached-with-the-european-parliament/> (accessed 6.29.21).
- EC, 2021d. National energy and climate plans (NECPs) | Energy [WWW Document]. URL



- [https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/national-energy-climate-plans\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/national-energy-climate-plans_en) (accessed 6.29.21).
- EC, 2019. European Green Deal: what role can taxation play? [WWW Document]. URL [https://ec.europa.eu/taxation\\_customs/commission-priorities-2019-24/european-green-deal-what-role-can-taxation-play\\_en](https://ec.europa.eu/taxation_customs/commission-priorities-2019-24/european-green-deal-what-role-can-taxation-play_en) (accessed 6.29.21).
- Edenhofer, O., Lessmann, K., Kemfert, C., Grubb, M., Kohler, J., 2006. Induced technological change: Exploring its implications for the economics of atmospheric stabilization: Synthesis report from the innovation modeling comparison project. Energy J.
- EEA, 2015. COM(2015) 80 final - A Framework Strategy for a Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy [WWW Document]. URL <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2015-80-final> (accessed 6.8.21).
- EIA, 2022. SAS Output [WWW Document]. URL [https://www.eia.gov/electricity/annual/html/epa\\_a\\_03.html](https://www.eia.gov/electricity/annual/html/epa_a_03.html) (accessed 3.29.22).
- EIA, 2017. International Energy Outlook 2020 [WWW Document]. URL <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/> (accessed 8.3.21).
- ELSTAT, 2022. Statistics - ELSTAT [WWW Document]. URL <https://www.statistics.gr/en/statistics/-/publication/SEL81/-> (accessed 3.29.22).
- ELSTAT, 2021. Hellenic Statistical Authority [WWW Document]. URL <https://www.statistics.gr/> (accessed 11.8.21).
- EPA, 2018. Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories : U.S Environmental Protection Agency. Int Reg Sci Rev 2017, 1–5.
- ETSAP, 2021. IEA-ETSAP | Times [WWW Document]. URL <https://iea-etsap.org/index.php/etsap-tools/model-generators/times> (accessed 8.3.21).
- EU, 2019. Employment and social developments in Europe 2019 - Publications Office of the EU [WWW Document]. URL <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/747fefa1-d085-11e9-b4bf-01aa75ed71a1/language-en> (accessed 6.29.21).
- Eum, Y.S., Park, K.S., Kim, S.H., 2001. Establishing dominance and potential optimality in multi-criteria analysis with imprecise weight and value. Comput Oper Res 28, 397–409. [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(99\)00124-0](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(99)00124-0)
- European Council, 2021. Paris Agreement on climate change [WWW Document]. URL

<https://www.consilium.europa.eu/el/policies/climate-change/paris-agreement/> (accessed 7.23.21).

Eurostat, 2022. Glossary:Gross inland energy consumption - Statistics Explained [WWW Document]. URL [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Gross\\_inland\\_energy\\_consumption](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Gross_inland_energy_consumption) (accessed 3.29.22).

Eurostat, 2021. Glossary:Energy dependency rate - Statistics Explained [WWW Document]. URL [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Energy\\_dependency\\_rate](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Energy_dependency_rate) (accessed 7.28.21).

Feitosa, F.E.B., Costa, A.L., 2021a. Application of a multicriteria methodology for evaluation of energy alternatives for hydrogen production for the automotive sector – Case study. *Int J Hydrogen Energy* 46, 20799–20814. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.03.209>

Feitosa, F.E.B., Costa, A.L., 2021b. Application of a multicriteria methodology for evaluation of energy alternatives for hydrogen production for the automotive sector – Case study. *Int J Hydrogen Energy* 46, 20799–20814. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2021.03.209>

Fermeglia, M., Bevilacqua, P., Cafaro, C., Ceci, P., Fardelli, A., 2020. Legal Pathways to Coal Phase-Out in Italy in 2025. *Energies* . <https://doi.org/10.3390/en13215605>

Fernández, E., Figueira, J.R., Navarro, J., Roy, B., 2017. ELECTRE TRI-nB: A new multiple criteria ordinal classification method. *Eur J Oper Res* 263, 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.048>

Fletcher, R., 2021. The economics of biodiversity: the Dasgupta review. *J Polit Ecol* 28.

Fontana, M.E., Cavalcante, C.A.V., 2013. Electre tri method used to storage location assignment into categories. *Pesqui Operacional* 33, 283–303. <https://doi.org/10.1590/S0101-74382013000200009>

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. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.180>

Fouré, J., Bénassy-Quéré, A., Fontagné, L., 2012. The Great Shift: Macroeconomic projections for the world economy at the 2050 horizon.

Fox, A., Shikher, S., Tsigas, M., 2017. How to Evaluate Computable Models of Trade. *Encycl Int Econ Glob Trade, World Sci Publ Forthcom*.

- Fragkos, P., Paroussos, L., Capros, P., Boeve, S., Sach, T., 2017. Job creation related to Renewables.
- Freire-González, J., 2018. Environmental taxation and the double dividend hypothesis in CGE modelling literature: A critical review. *J Policy Model* 40, 194–223.  
<https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2017.11.002>
- Fumo, N., Crawford, R., 2013. A Homeowner-Based Methodology for Economic Analysis of Energy-Efficiency Measures in Residences.
- G. Trachanas, P. Mantzaris, V. Marinakis, H.D., 2022. Multi-criteria evaluation of power generation alternatives towards lignite phase-out: the case of Ptolemaida V. *Int J Multicriteria Decis Mak* to appear.
- Georgopoulou, E., Lalas, D., Papagiannakis, L., 1997. A multicriteria decision aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option. *Eur J Oper Res* 103, 38–54.  
[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(96\)00263-9](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00263-9)
- Ghafghazi, S., Sowlati, T., Sokhansanj, S., Melin, S., 2010. A multicriteria approach to evaluate district heating system options. *Appl Energy* 87, 1134–1140.  
<https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2009.06.021>
- Gidden, M.J., Riahi, K., Smith, S.J., Fujimori, S., Luderer, G., Kriegler, E., van Vuuren, D.P., van den Berg, M., Feng, L., Klein, D., 2019. Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century. *Geosci Model Dev* 12, 1443–1475.
- Gonzalez-Salazar, M., Langrock, T., Koch, C., Spieß, J., Noack, A., Witt, M., Ritzau, M., Michels, A., 2020. Evaluation of Energy Transition Pathways to Phase out Coal for District Heating in Berlin. *Energies* . <https://doi.org/10.3390/en13236394>
- González, A., Ortigoza, E., Llamosas, C., Blanco, G., Amarilla, R., 2019. Multi-criteria analysis of economic complexity transition in emerging economies: The case of Paraguay. *Socioecon Plann Sci* 68, 100617. <https://doi.org/10.1016/J.SEPS.2018.02.004>
- Greeceinvestorguide, 2021. Energy Sector Overview: Greece’s Green Revolution - Greece Investor Guide [WWW Document]. URL <https://www.greeceinvestorguide.com/sectors/energy/> (accessed 8.24.21).
- Greenleaf, J.; Harmsen, R.; Angelini, T.; Green, D.; Williams, A.; Rix, O.; Lefevre, N.; Blyth, W., 2009. Analysis of impacts of climate change policies on energy security Final Report.
- Grottera, C., La Rovere, E.L., Wills, W., Pereira Jr, A.O., 2020. The role of lifestyle changes in low-emissions development strategies: an economy-wide assessment for Brazil. *Clim Policy* 20,

217–233. <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1717415>

Guivarch, C., Lempert, R., Trutnevyte, E., 2017. Scenario techniques for energy and environmental research: An overview of recent developments to broaden the capacity to deal with complexity and uncertainty. *Environ Model Softw* 97, 201–210. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSFT.2017.07.017>

HAAE, 2020. Greek Energy market, Report 2020.

HAAE, 2019. Greek Energy market, Report 2019. Athens.

Hainoun, A., Seif Aldin, M., Almoustafa, S., 2010. Formulating an optimal long-term energy supply strategy for Syria using MESSAGE model. *Energy Policy* 38, 1701–1714. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2009.11.032>

Haldane, A.G., Turrell, A.E., 2019. Drawing on different disciplines: macroeconomic agent-based models. *J Evol Econ* 29, 39–66.

Heinemeier, K., Hunt, M., Hoeschele, M., Weitzel, E., Close, B., 2012. Uncertainties in achieving energy savings from HVAC maintenance measures in the field, in: *ASHRAE Transactions*. pp. 157–164.

Helgesen, P.I., 2013. Top-down and Bottom-up : Combining energy system models and macroeconomic general equilibrium models. *Cent Sustain Energy Stud Work Pap* 30.

Herbst, A., Toro, F., Reitze, F., Jochem, E., 2012. Introduction to energy systems modelling. *Swiss J Econ Stat* 148, 111–135.

Herbst, M.A., Toro, F.A., Reitze, F., Eberhard, J., 2012. Bridging Macroeconomic and Bottom up Energy Models-the Case of Efficiency in Industry. ECEE, Netherlands.

Hertel, T., 1996. *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/DOI: 10.1017/CBO9781139174688>

Hertel, T., Tsigas, M., 1997. Structure of the GTAP Model. *Glob trade Anal Model Appl* 9–71.

Hiremath, R.B., Shikha, S., Ravindranath, N.H., 2007. Decentralized energy planning; modeling and application-a review. *Renew Sustain Energy Rev*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.07.005>

Hirst, E., Schweitzer, M., 1989. Uncertainty: A critical element of integrated resource planning. *Electr J* 2, 16–27. [https://doi.org/10.1016/1040-6190\(89\)90022-5](https://doi.org/10.1016/1040-6190(89)90022-5)

- Hirth, L., Mühlenpfordt, J., Bulkeley, M., 2018. The ENTSO-E Transparency Platform—A review of Europe’s most ambitious electricity data platform. *Appl Energy* 225, 1054–1067.
- HMEE, 2019a. National Energy and Climate Plan; Hellenic Ministry of Environment and Energy [WWW Document]. URL <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/203/1920364.pdf> (accessed 7.26.20).
- HMEE, 2019b. Long-term strategy for 2050.
- Horridge, J.M., Jerie, M., Mustakinov, D., Schiffmann, F., 2018. GEMPACK manual. GEMPACK Softw.
- Howells, M., Rogner, H., Strachan, N., Heaps, C., Huntington, H., Kypreos, S., Hughes, A., Silveira, S., DeCarolis, J., Bazillian, M., Roehrl, A., 2011. OSeMOSYS: The Open Source Energy Modeling System. An introduction to its ethos, structure and development. *Energy Policy* 39, 5850–5870. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.033>
- Hu, M.C., Hobbs, B.F., 2010. Analysis of multi-pollutant policies for the U.S. power sector under technology and policy uncertainty using MARKAL. *Energy* 35, 5430–5442. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2010.07.001>
- Huff, K., McDougall, R., Walmsley, T., Aguiar, A., 2000. Contributing input-output tables to the GTAP data base.
- Humphreys, P., 1977. Application of multi-attribute utility theory, in: *Decision Making and Change in Human Affairs*. Springer, pp. 165–207.
- Hwang, C.-L., Yoon, K., 1981. Methods for multiple attribute decision making, in: *Multiple Attribute Decision Making*. Springer, pp. 58–191.
- Ianchovichina, E., McDougall, R., Hertel, T., 2000. A disequilibrium model of international capital mobility.
- IEA, 2022. How Europe can cut natural gas imports from Russia significantly within a year - News - IEA [WWW Document]. URL <https://www.iea.org/news/how-europe-can-cut-natural-gas-imports-from-russia-significantly-within-a-year> (accessed 3.16.22).
- IEA, 2021a. Net Zero by 2050 – Analysis - IEA [WWW Document]. URL <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (accessed 6.22.21).
- IEA, 2021b. *World Energy Outlook 2021*. Paris.

- IEA, 2021c. Data overview - IEA [WWW Document]. URL <https://www.iea.org/data-and-statistics> (accessed 9.19.21).
- IEA, 2021d. Hydrogen - Fuels & Technologies - IEA [WWW Document]. URL <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/hydrogen> (accessed 6.23.21).
- IEA, 2021e. The Future of Hydrogen – Analysis - IEA [WWW Document]. URL <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen> (accessed 6.23.21).
- IEA, 2021f. Key energy statistics for Greece [WWW Document]. URL <https://www.iea.org/countries/greece#data-browser> (accessed 11.17.21).
- IEA, 2020. World Energy Investment 2020 – Analysis [WWW Document]. URL <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020> (accessed 6.8.21).
- IEA, 2018. Energy Efficiency 2018: Analysis and outlooks to 2040. OECD, Paris. <https://doi.org/10.1787/9789264024304-en>
- IEA, 2015. Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency – Analysis - IEA [WWW Document]. URL <https://www.iea.org/reports/capturing-the-multiple-benefits-of-energy-efficiency> (accessed 6.8.21).
- IMF, 2019. The Economics of Climate, Finance & Development.
- IPCC, 2021. Climate change widespread, rapid, and intensifying [WWW Document]. URL <https://www.ipcc.ch/2021/08/09/ar6-wg1-20210809-pr/> (accessed 8.13.21).
- IPTO, 2019. Independent Power Transmission Operator-Study about adequacy of electricity capacity. Athens.
- IRENA, 2019. A renewable energy perspective.
- IRENA, 2018. Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2018.
- Ishaq, H., Dincer, I., 2021. Comparative assessment of renewable energy-based hydrogen production methods. *Renew Sustain Energy Rev* 135, 110192. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2020.110192>
- Kaminaris, S.D., Tsoutsos, T.D., Agoris, D., Machias, A. V, 2006. Assessing renewables-to-electricity systems: a fuzzy expert system model. *Energy Policy* 34, 1357–1366.

- Karakosta, C., Papapostolou, A., Vasileiou, G., Psarras, J., 2021. Financial schemes for energy efficiency projects: lessons learnt from in-country demonstrations, in: *Energy Services Fundamentals and Financing*. Elsevier, pp. 55–78. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820592-1.00003-8>
- Katris, A., Calvillo-Muñoz, C., Figus, G., Riddoch, F., Turner, K., McGregor, P., Lecca, P., Swales, K., 2017. Workshop on linking CGE and TIMES models: lessons learned and next steps.
- Kaya, T., Kahraman, C., 2011. Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology. *Expert Syst Appl* 38, 6577–6585. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2010.11.081>
- Kaya, T., Kahraman, C., 2010. Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. *Energy* 35, 2517–2527.
- Kehoe, T.J., 2005. 13 An Evaluation of the Performance of Applied General Equilibrium Models on the Impact of NAFTA. This page intentionally left blank 341.
- Khansari, F.R., 2015. General equilibrium models and uncertainty in environmental policies : implications for Australia.
- Kim, J.H., Ahn, B.S., 2019. Extended VIKOR method using incomplete criteria weights. *Expert Syst Appl* 126, 124–132.
- Klauer, B., Brown, J.D., 2004. Conceptualising imperfect knowledge in public decision-making: ignorance, uncertainty, error and risk situations. *Environ Res Eng Manag* 1, 124–128.
- Kotze, R., Brent, A.C., Musango, J., de Kock, I., Malczynski, L.A., 2021. Investigating the Investments Required to Transition New Zealand’s Heavy-Duty Vehicles to Hydrogen. *Energies* . <https://doi.org/10.3390/en14061646>
- Koutsandreas, D., Kleanthis, N., Flamos, A., Karakosta, C., Doukas, H., 2022. Risks and mitigation strategies in energy efficiency financing: A systematic literature review. *Energy Reports* 8, 1789–1802. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2022.01.006>
- Koutsandreas, D., Spiliotis, E., Doukas, H., Psarras, J., 2021a. What Is the Macroeconomic Impact of Higher Decarbonization Speeds? The Case of Greece. *Energies* . <https://doi.org/10.3390/en14082235>
- Koutsandreas, D., Spiliotis, E., Petropoulos, F., Assimakopoulos, V., 2021b. On the selection of forecasting accuracy measures. *J Oper Res Soc* 1–18. <https://doi.org/10.1080/01605682.2021.1892464>

- Krook-Riekkola, A., Berg, C., Ahlgren, E.O., Söderholm, P., 2017. Challenges in top-down and bottom-up soft-linking: Lessons from linking a Swedish energy system model with a CGE model. *Energy* 141, 803–817.
- Kumbaroğlu, G., Canaz, C., Deason, J., Shittu, E., 2020. Profitable Decarbonization through E-Mobility. *Energies* . <https://doi.org/10.3390/en13164042>
- Labella, Á., Koasidis, K., Nikas, A., Arsenopoulos, A., Doukas, H., 2020. APOLLO: A Fuzzy Multi-criteria Group Decision-Making Tool in Support of Climate Policy. *Int J Comput Intell Syst* 13, 1539–1553.
- Labriet, M., Loulou, R., Kanudia, A., 2008. Is a 2 degrees Celsius warming achievable under high uncertainty? Analysis with the TIMES integrated assessment model. *Les Cah du GERAD* 30, 1–29.
- Labriet, M., Nicolas, C., Tchung-Ming, S., Kanudia, A., Loulou, R., 2015. Energy decisions in an uncertain climate and technology outlook: How stochastic and robust methodologies can assist policy-makers, in: *Informing Energy and Climate Policies Using Energy Systems Models*. Springer, pp. 69–91.
- Lai, Y.-J., Liu, T.-Y., Hwang, C.-L., 1994. Topsis for MODM. *Eur J Oper Res* 76, 486–500.
- Lee, P., Lam, P.T.I., Lee, W.L., 2018. Performance risks of lighting retrofit in Energy Performance Contracting projects. *Energy Sustain Dev* 45, 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.07.004>
- Lefevre, J., 2016. Hybridization challenges in energy-economy integrated models and representation of the low carbon transition: An application to the Brazilian case.
- Lefèvre, J., 2016. A description of the IMACLIM-BR model: a modeling framework to assess climate and energy policy in Brazil.
- Lerche, N., Wilkens, I., Schmehl, M., Eigner-Thiel, S., Geldermann, J., 2019. Using methods of Multi-Criteria Decision Making to provide decision support concerning local bioenergy projects. *Socioecon Plann Sci* 68, 100594. <https://doi.org/10.1016/J.SEPS.2017.08.002>
- Liu, Jing; Arndt, C., 2004. Parameter Estimation and Measures of Fit in A Global, General Equilibrium Model.
- Löffler, K., Hainsch, K., Burandt, T., Oei, P.-Y., Kemfert, C., Von Hirschhausen, C., 2017. Designing a Model for the Global Energy System—GENeSYS-MOD: An Application of the Open-Source Energy Modeling System (OSeMOSYS). *Energies* . <https://doi.org/10.3390/en10101468>



- Løken, E., 2007. Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. *Renew Sustain energy Rev* 11, 1584–1595.
- Loulou, R., Lehtila, A., 2012. Stochastic programming and tradeoff analysis in TIMES. *TIMES Version 33 User Note*.
- Loureiro, T., Gil, M., Desmaris, R., Andaloro, A., Karakosta, C., Plessner, S., 2020. De-Risking Energy Efficiency Investments through Innovation. *Proc.* <https://doi.org/10.3390/proceedings2020065003>
- Lyseng, B., Rowe, A., Wild, P., English, J., Niet, T., Pitt, L., 2016. Decarbonising the Alberta power system with carbon pricing. *Energy Strateg Rev* 10, 40–52. <https://doi.org/10.1016/J.ESR.2016.05.001>
- MACBETH, 2021. M-MACBETH | A Multiple Criteria Decision Support System [WWW Document]. URL <https://m-macbeth.com/> (accessed 6.23.21).
- Makridakis, S., Assimakopoulos, V., Spiliotis, E., 2018. Objectivity, reproducibility and replicability in forecasting research. *Int J Forecast* 34, 835–838.
- Malkawi, S., Al-Nimr, M., Azizi, D., 2017. A multi-criteria optimization analysis for Jordan’s energy mix. *Energy* 127, 680–696. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2017.04.015>
- Mareschal, B., Brans, J.P., Vincke, P., 1984. PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis. *ULB--Universite Libre de Bruxelles*.
- Marinakis, V., Doukas, H., Xidonas, P., Zopounidis, C., 2017. Multicriteria decision support in local energy planning: An evaluation of alternative scenarios for the Sustainable Energy Action Plan. *Omega* 69, 1–16. <https://doi.org/10.1016/J.OMEGA.2016.07.005>
- Marinakis, V., Flamos, A., Stamtsis, G., Georgizas, I., Maniatis, Y., Doukas, H., 2020. The Efforts towards and Challenges of Greece’s Post-Lignite Era: The Case of Megalopolis. *Sustainability* 12, 10575.
- McKinsey, 2008. *Unlocking energy efficiency in the US Economy, Managing Automation*.
- Mirakyan, A., De Guio, R., 2015. Modelling and uncertainties in integrated energy planning. *Renew Sustain Energy Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.028>
- Mongird, K., Viswanathan, V., Balducci, P., Alam, J., Fotedar, V., Koritarov, V., Hadjerioua, B., 2019. *Energy Storage Technology and Cost Characterization Report | Department of Energy. US Dep Energy*.

- Moradi, S., Yousefi, H., Noorollahi, Y., Rosso, D., 2020. Multi-criteria decision support system for wind farm site selection and sensitivity analysis: Case study of Alborz Province, Iran. *Energy Strateg Rev* 29, 100478. <https://doi.org/10.1016/J.ESR.2020.100478>
- Morgan, M.G., Keith, D.W., 2008. Improving the way we think about projecting future energy use and emissions of carbon dioxide. *Clim Change* 90, 189–215.
- Mourmouris, J.C., Potolias, C., 2013. A multi-criteria methodology for energy planning and developing renewable energy sources at a regional level: A case study Thassos, Greece. *Energy Policy* 52, 522–530. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2012.09.074>
- Narayanan, B., Dimaranan, B. V, McDougall, R.A., 2008. Chapter 2: Guide to the GTAP Data Base. *Cent Glob Trade Anal Purdue Univ Purdue*.
- Nasirov, S., O’Ryan, R., Osorio, H., 2020. Decarbonization Tradeoffs: A Dynamic General Equilibrium Modeling Analysis for the Chilean Power Sector. *Sustain* . <https://doi.org/10.3390/su12198248>
- Nehler, T., Rasmussen, J., 2016. How do firms consider non-energy benefits? Empirical findings on energy-efficiency investments in Swedish industry. *J Clean Prod* 113, 472–482. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.070>
- Neofytou, H., Nikas, A., Doukas, H., 2020. Sustainable energy transition readiness: A multicriteria assessment index. *Renew Sustain Energy Rev* 131, 109988.
- Nevill, D.E., 1999. Making Strategy: The Journey of Strategic Management. *Syst Res Behav Sci* 16, 198–199.
- Newell, P., Mulvaney, D., 2013. The political economy of the ‘just transition.’ *Geogr J* 179, 132–140.
- Newell, R., Raimi, D., Villanueva, S., Prest, B., 2021. *Global Energy Outlook 2021: Pathways from Paris*.
- NGFS, 2020. *Guide to climate scenario analysis for central banks and supervisors*.
- Nikas, A., Doukas, H., Martínez López, L., 2018. A group decision making tool for assessing climate policy risks against multiple criteria. *Heliyon* 4, e00588. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2018.E00588>
- Nikas, A., Doukas, H., Papandreou, A., 2019. A detailed overview and consistent classification of climate-economy models. *Underst risks uncertainties energy Clim policy* 1–54.

- Nikas, A., Gambhir, A., Trutnevyte, E., Koasidis, K., Lund, H., Thellufsen, J.Z., Mayer, D., Zachmann, G., Miguel, L.J., Ferreras-Alonso, N., Sognaes, I., Peters, G.P., Colombo, E., Howells, M., Hawkes, A., van den Broek, M., Van de Ven, D.J., Gonzalez-Eguino, M., Flamos, A., Doukas, H., 2021. Perspective of comprehensive and comprehensible multi-model energy and climate science in Europe. *Energy* 215, 119153. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2020.119153>
- Nikas, A., Neofytou, H., Karamaneas, A., Koasidis, K., Psarras, J., 2020a. Sustainable and socially just transition to a post-lignite era in Greece: a multi-level perspective. *Energy Sources, Part B Econ Planning, Policy* 15, 513–544.
- Nikas, A., Stavrakas, V., Arsenopoulos, A., Doukas, H., Antosiewicz, M., Witajewski-Baltvilks, J., Flamos, A., 2020b. Barriers to and consequences of a solar-based energy transition in Greece. *Environ Innov Soc Transitions* 35, 383–399. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.12.004>
- Nilsson, L., 2018. Reflections on the economic modelling of free trade agreements. *J Glob Econ Anal* 3, 156–186.
- O’Hagan, A., 2012. Probabilistic uncertainty specification: Overview, elaboration techniques and their application to a mechanistic model of carbon flux. *Environ Model Softw* 36, 35–48. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2011.03.003>
- OECD, 2021. Input-Output Tables (IOTs) - OECD [WWW Document]. URL <https://www.oecd.org/sti/ind/input-outputtables.htm> (accessed 8.3.21).
- OECD, Staff, O., 2001. OECD economic outlook. OECD Publishing.
- Opricovic, S., 1998. Multicriteria optimization of civil engineering systems. *Fac Civ Eng Belgrade* 2, 5–21.
- Opricovic, S., Tzeng, G.-H., 2007. Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *Eur J Oper Res* 178, 514–529.
- Opricovic, S., Tzeng, G.-H., 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *Eur J Oper Res* 156, 445–455.
- Palmer-Wilson, K., Donald, J., Robertson, B., Lyseng, B., Keller, V., Fowler, M., Wade, C., Scholtysik, S., Wild, P., Rowe, A., 2019. Impact of land requirements on electricity system decarbonisation pathways. *Energy Policy* 129, 193–205. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2019.01.071>
- Pang, J., Zhang, G., Chen, G., 2011. ELECTRE I Decision Model of Reliability Design Scheme for Computer Numerical Control Machine. *J Softw* 6, 894–900.

- Papadopoulos, A., Karagiannidis, A., 2008. Application of the multi-criteria analysis method Electre III for the optimisation of decentralised energy systems. *Omega* 36, 766–776. <https://doi.org/10.1016/J.OMEGA.2006.01.004>
- Pappis, I., Centurion, C., Ramos, E.P., Howells, M., Ulloa, S., Ortigoza, E., Gardel-Sotomayor, P.E., Alfstad, T., 2021. Implications to the electricity system of Paraguay of different demand scenarios and export prices to Brazil. *Energy Syst* 1–29.
- Park, K.S., 2004. Mathematical programming models for characterizing dominance and potential optimality when multicriteria alternative values and weights are simultaneously incomplete. *IEEE Trans Syst man, Cybern a Syst humans* 34, 601–614.
- Parry, I.W.H., Bento, A.M., 2000. Tax deductions, environmental policy, and the “double dividend” hypothesis. *J Environ Econ Manage* 39, 67–96. <https://doi.org/10.1006/jeem.1999.1093>
- Pearson, K., Horridge, M., Corong, E., 2004. Hands-on Computing with RunGTAP and WinGEM to Introduce GTAP and GEMPACK.
- Pegkas, P., 2018. The Effect of Government Debt and Other Determinants on Economic Growth: The Greek Experience. *Econ* . <https://doi.org/10.3390/economies6010010>
- Perali, F., Scandizzo, P.L., 2016. DSGE vs CGE Models: Modelling Sustainable Development in a Computable General Equilibrium Context, Siecon3-607788.C.Cdn77.Org.
- Pilavachi, P.A., Chatzipanagi, A.I., Spyropoulou, A.I., 2009. Evaluation of hydrogen production methods using the Analytic Hierarchy Process. *Int J Hydrogen Energy* 34, 5294–5303. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2009.04.026>
- Pohekar, S.D., Ramachandran, M., 2004. Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review. *Renew Sustain energy Rev* 8, 365–381.
- PPC, 2020. Mines | PPC S.A. [WWW Document]. URL <https://www.dei.gr/en/i-dei/i-etairia/tomeis-drastiriotitas/oruxeia> (accessed 6.29.21).
- Ram, M., Aghahosseini, A., Breyer, C., 2020. Job creation during the global energy transition towards 100% renewable power system by 2050. *Technol Forecast Soc Change* 151, 119682. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2019.06.008>
- Renn, O., Webler, T., Rakel, H., Dienel, P., Johnson, B., 1993. Public participation in decision making: a three-step procedure. *Policy Sci* 26, 189–214.
- Reuters, 2022. EU leaders agree to phase out Russian fuels, but hurdles remain | Reuters [WWW

- Document]. URL <https://www.reuters.com/business/energy/eu-leaders-look-for-escape-russian-fossil-fuels-2022-03-10/> (accessed 3.16.22).
- Riahi, K., Kriegler, E., Johnson, N., Bertram, C., den Elzen, M., Eom, J., Schaeffer, M., Edmonds, J., Isaac, M., Krey, V., Longden, T., Luderer, G., Méjean, A., McCollum, D.L., Mima, S., Turton, H., van Vuuren, D.P., Wada, K., Bosetti, V., Capros, P., Criqui, P., Hamdi-Cherif, M., Kainuma, M., Edenhofer, O., 2015. Locked into Copenhagen pledges — Implications of short-term emission targets for the cost and feasibility of long-term climate goals. *Technol Forecast Soc Change* 90, 8–23. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2013.09.016>
- Riahi, K., Van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O’neill, B.C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., 2017. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: an overview. *Glob Environ Chang* 42, 153–168.
- 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. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2012.12.036>
- Rocco, M. V., Tonini, F., Fumagalli, E.M., Colombo, E., 2020. Electrification pathways for Tanzania: Implications for the economy and the environment. *J Clean Prod* 263, 121278. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.121278>
- Rogelj, J., Popp, A., Calvin, K. V., Luderer, G., Emmerling, J., Gernaat, D., Fujimori, S., Strefler, J., Hasegawa, T., Marangoni, G., 2018. Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 C. *Nat Clim Chang* 8, 325–332.
- Roser, 2020. Why did renewables become so cheap so fast? And what can we do to use this global opportunity for green growth? [WWW Document]. URL <https://ourworldindata.org/cheap-renewables-growth> (accessed 6.29.21).
- Roy, B., 1990. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods, in: *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*. Springer, pp. 155–183.
- Rubino, A., 2017. Energy efficiency: Governance in the EU. *Nat Energy* 2, 17097. <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.97>
- Rutovitz, J., Dominish, E., Downes, J., 2015. Calculating global energy sector jobs: 2015 methodology. Institute for Sustainable Futures, UTS, Sydney, Australia.
- Sadeghi, A., Larimian, T., 2018. Sustainable electricity generation mix for Iran: A fuzzy analytic network process approach. *Sustain Energy Technol Assessments* 28, 30–42. <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2018.04.001>

- Sadik-Zada, E.R., 2021. Political Economy of Green Hydrogen Rollout: A Global Perspective. *Sustain* .  
<https://doi.org/10.3390/su132313464>
- Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., Saisana, M., Tarantola, S., 2008. *Global sensitivity analysis: the primer*. John Wiley & Sons.
- San Cristóbal, J.R., 2011. Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: The VIKOR method. *Renew Energy* 36, 498–502.  
<https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2010.07.031>
- Sánchez-Lozano, J.M., Henggeler Antunes, C., García-Cascales, M.S., Dias, L.C., 2014. GIS-based photovoltaic solar farms site selection using ELECTRE-TRI: Evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain. *Renew Energy* 66, 478–494.  
<https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2013.12.038>
- Sayadi, M.K., Heydari, M., Shahanaghi, K., 2009. Extension of VIKOR method for decision making problem with interval numbers. *Appl Math Model* 33, 2257–2262.
- Schreyer, P., Pilat, D., 2001. Measuring productivity. *OECD Econ Stud* 33, 127–170.
- Shapiro, A., Dentcheva, D., Ruszczyński, A., 2021. *Lectures on stochastic programming: modeling and theory*. SIAM.
- Sindhu, S., Nehra, V., Luthra, S., 2017. Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India. *Renew Sustain Energy Rev* 73, 496–511.  
<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.01.135>
- Sitorus, F., Brito-Parada, P.R., 2020. A multiple criteria decision making method to weight the sustainability criteria of renewable energy technologies under uncertainty. *Renew Sustain Energy Rev* 127, 109891. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2020.109891>
- Sridharan, V., Broad, O., Shivakumar, A., Howells, M., Boehlert, B., Groves, D.G., Rogner, H.-H., Taliotis, C., Neumann, J.E., Strzepek, K.M., 2019. Resilience of the Eastern African electricity sector to climate driven changes in hydropower generation. *Nat Commun* 10, 1–9.
- Staffell, I., Pfenninger, S., 2016. *Renewables. ninja* [WWW Document].
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., Ludwig, C., 2015. The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. *Anthr Rev* 2, 81–98.
- Stern, N., 2008. The economics of climate change. *Am Econ Rev* 98, 1–37.

- Stewart, T.J., Durbach, I., 2016. Dealing with uncertainties in MCDA, in: Multiple Criteria Decision Analysis. Springer, pp. 467–496.
- Streimikiene, D., Balezentis, T., Krisciukaitien, I., Balezentis, A., 2012. Prioritizing sustainable electricity production technologies: MCDM approach. *Renew Sustain Energy Rev* 16, 3302–3311. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.02.067>
- Štreimikiene, D., Šliogeriene, J., Turskis, Z., 2016. Multi-criteria analysis of electricity generation technologies in Lithuania. *Renew Energy* 85, 148–156. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2015.06.032>
- Szumilo, N., Fuerst, F., 2017. Income risk in energy efficient office buildings. *Sustain Cities Soc* 34, 309–320. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.06.024>
- T'Serclaes, P. de, 2010. Money Matters: Mitigating Risk to Spark Private Investments in Energy Efficiency. IEA Energy Papers 2010/10, OECD Publishing.
- Talinli, I., Topuz, E., Uygur Akbay, M., 2010. Comparative analysis for energy production processes (EPPs): Sustainable energy futures for Turkey. *Energy Policy* 38, 4479–4488. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2010.03.081>
- Taliotis, C., Giannakis, E., Karmellos, M., Fylaktos, N., Zachariadis, T., 2020. Estimating the economy-wide impacts of energy policies in Cyprus. *Energy Strateg Rev* 29, 100495. <https://doi.org/10.1016/J.ESR.2020.100495>
- Tavana, M., Di Caprio, D., Santos-Arteaga, F.J., 2018. An extended stochastic VIKOR model with decision maker's attitude towards risk. *Inf Sci (Ny)* 432, 301–318.
- Tavana, M., Mavi, R.K., Santos-Arteaga, F.J., Doust, E.R., 2016. An extended VIKOR method using stochastic data and subjective judgments. *Comput Ind Eng* 97, 240–247.
- The Economist, 2021. Hydrogen: the fuel of the future? [WWW Document]. URL <https://www.economist.com/films/2021/08/25/hydrogen-the-fuel-of-the-future> (accessed 9.23.21).
- Thushara, D.S.M., Hornberger, G.M., Baroud, H., 2019. Decision analysis to support the choice of a future power generation pathway for Sri Lanka. *Appl Energy* 240, 680–697. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2019.02.074>
- Trinomics, 2020. Opportunities for Hydrogen Energy Technologies Considering the National Energy & Climate Plans.

- Troldborg, M., Heslop, S., Hough, R.L., 2014. Assessing the sustainability of renewable energy technologies using multi-criteria analysis: Suitability of approach for national-scale assessments and associated uncertainties. *Renew Sustain Energy Rev* 39, 1173–1184. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2014.07.160>
- Truong, T.P.; Kemfert, C.; Burniaux, J.M., 2007. EconStor: GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model with Emission Trading.
- Trutnevyte, E., Guivarch, C., Lempert, R., Strachan, N., 2016a. Reinvigorating the scenario technique to expand uncertainty consideration. *Clim Change* 135, 373–379.
- Trutnevyte, E., McDowall, W., Tomei, J., Keppo, I., 2016b. Energy scenario choices: Insights from a retrospective review of UK energy futures. *Renew Sustain Energy Rev* 55, 326–337. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.10.067>
- 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, 1587–1600. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.12.011>
- UNFCCC, 2021. The Paris Agreement [WWW Document]. URL <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement> (accessed 6.29.21).
- Unwin, A.R., 1984. Theory and Practice of Multiple Criteria Decision-Making. *J Oper Res Soc* 35, 1039–1040.
- Usher, W., Strachan, N., 2012. Critical mid-term uncertainties in long-term decarbonisation pathways. *Energy Policy* 41, 433–444. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2011.11.004>
- Uyan, M., 2013. GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey. *Renew Sustain Energy Rev* 28, 11–17. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2013.07.042>
- Van Asselt, M.B.A., 2000. Perspectives on uncertainty and risk, in: *Perspectives on Uncertainty and Risk*. Springer, pp. 407–417.
- Vincke, P., 1999. Robust solutions and methods in decision-aid. *J multi-criteria Decis Anal* 8, 181–187.
- Von Winterfeldt, D., Fischer, G.W., 1975. Multi-attribute utility theory: models and assessment procedures. *Util Probab Hum Decis Mak* 47–85.
- Weber, M., 1987. Decision making with incomplete information. *Eur J Oper Res* 28, 44–57.



- Weber, M., 1985. A method of multiattribute decision making with incomplete information. *Manage Sci* 31, 1365–1371.
- Wesseh, P.K., Lin, B., 2019. Environmental policy and ‘double dividend’ in a transitional economy. *Energy Policy* 134, 110947. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110947>
- Wickham, H., 2016. *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. springer.
- World Bank, 2022. Gross fixed capital formation (constant 2015 US\$) | Data [WWW Document]. URL <https://data.worldbank.org/indicator/NE.GDI.FTOT.KD> (accessed 3.29.22).
- Yang, Y., Ren, J., Solgaard, H.S., Xu, D., Nguyen, T.T., 2018. Using multi-criteria analysis to prioritize renewable energy home heating technologies. *Sustain Energy Technol Assessments* 29, 36–43. <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2018.06.005>
- Yue, X., Pye, S., DeCarolus, J., Li, F.G.N., Rogan, F., Gallachóir, B.Ó., 2018. A review of approaches to uncertainty assessment in energy system optimization models. *Energy Strateg Rev* 21, 204–217.
- Zhongming, Z., Linong, L., Wangqiang, Z., Wei, L., 2021. Global methane assessment released.
- Zorounidis, C., Doumpos, M., 1999. A Multicriteria Decision Aid Methodology for Sorting Decision Problems: The Case of Financial Distress. *Comput Econ* 14, 197–218. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1008713823812>.
- διαΝΕΟσις, 2022. Outlook: Κίνδυνοι Και Προοπτικές Της Ελληνικής Οικονομίας.
- διαΝΕΟσις, 2021. Ο ΚΡΙΣΙΜΟΣ ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΤΟΜΕΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΑΝΕΚΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΤΙΣ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ.
- Δούκας, 2021a. «Ένας πλούσιος οδηγεί SUV, ένας φτωχός χάνει το σπίτι του από πλημμύρα»: Οι ανισότητες της κλιματικής αλλαγής [WWW Document]. URL <https://www.lifo.gr/now/perivallon/enas-ploysios-odigei-suv-enas-ftohos-hanei-spiti-toy-aporplimmyra-oi-anisotites-tis> (accessed 8.27.21).
- Δούκας, 2021b. Ποια ανάπτυξη χρειαζόμαστε; Για ένα νέο μοντέλο παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας [WWW Document]. URL <https://energypress.gr/news/poia-anaptyxi-hreiazomaste-gia-ena-neo-montelo-paragogis-kai-katanalosis-energeias> (accessed 8.25.21).
- Δούκας, 2020. Ενεργειακή αλλαγή: Ναι, αλλά για ποιους; [WWW Document]. URL <https://www.e-mc2.gr/el/news/doykas-energeiaki-allagi-nai-alla-gia-poiouys> (accessed 9.9.21).

Δούκας, 2018. Κλιματική Αλλαγή: Κρίσιμη Επιλογή. [WWW Document]. URL <https://www.e-mc2.gr/el/node/1723> (accessed 9.9.21).

Δούμπος, Μ., Ζοπουνίδης, Κ., 2004. Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων–Μεθοδολογικές Προσεγγίσεις και εφαρμογές. Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.

Ματσατσίνης, Ν., Ζοπουνίδης, Κ., Κλειδάριθμος, Ε., 2007. Συστήματα Αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.

---

## Παράρτημα

---



## Παράρτημα Α

### Λίστα Δημοσιεύσεων

#### ΠΑ1. Σε επιστημονικά περιοδικά

1. **Koutsandreas, D.**; Spiliotis, E.; Doukas, H.; Psarras, J. (2021). What Is the Macroeconomic Impact of Higher Decarbonization Speeds? The Case of Greece. *Energies*, 14, 2235. <https://doi.org/10.3390/en14082235>
2. **Koutsandreas, D.**; Kleanthis, N.; Flamos, A.; Karakosta, C.; Doukas, H. (2022). Risks and Mitigation Strategies in Energy Efficiency Financing: A Systematic Literature Review. *Energy Reports*, 8, 1789-1802. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.006>
3. **Koutsandreas, D.**; Spiliotis, E.; Petropoulos, F.; & Assimakopoulos, V. (2022). On the selection of forecasting accuracy measures. *Journal of the Operational Research Society*, 73(5), 937-954. <https://doi.org/10.1080/01605682.2021.1892464>
4. **Koutsandreas, D.**; Trachanas, G., P.; Pappis, I.; Nikas, A.; Doukas, H.; Psarras, J. (2022). A multicriteria modeling approach for evaluating power generation scenarios under uncertainty: The case of green hydrogen in Greece. *Energy Strategy Reviews (Σε διαδικασία κρίσης)*.
5. Kleanthis, N.; **Koutsandreas, D.**; Karakosta, C.; Doukas, H.; Flamos, A. (2022). Bridging the transparency gap in energy efficiency financing by co-designing an integrated assessment framework with involved actors. *Energy Reports*, 8, 9686-9699. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.07.066>
6. Mexis, F. D.; Papapostolou, A.; Karakosta, C.; Sarmas, E.; **Koutsandreas, D.**; Doukas, H. (2021). Leveraging Energy Efficiency Investments: An Innovative Web-based Benchmarking Tool, *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 6, 237-248. <https://dx.doi.org/10.25046/aj060526>

#### ΠΑ2. Σε πρακτικά επιστημονικών συνεδρίων

**Koutsandreas, D.**; Neofytou, H.; Nikas, A.; Doukas, H.; Psarras, J. (2022). Decarbonizing Greece's power sector by 2035: land use, capital requirements and socio-macroeconomic implications, II. Interdisciplinary Conference on Mechanics, Computers and Electrics (ICMECE 2022), 6-7 October 2022, Barcelona, Spain

#### ΠΑ3. Σε διεθνή επιστημονικά συνέδρια

1. **Koutsandreas, D.**; Trachanas, G., P.; Pappis, I.; Nikas, A.; Doukas, H.; Psarras, J. (2022). An integrated methodology for power generation planning decision support: The case of Greece's green hydrogen economy. *European Climate and Energy Modelling Platform 2022*, 5-7 October, 2022, online
2. **Koutsandreas, D.**; Pappis, I.; Trachanas, G.; Nikas, A.; Doukas, H. (2021). Accelerating the transformation of the Greek energy system through green hydrogen's penetration in the energy mix: A multicriteria-based power generation schedule. 6th Hellenic Association for Energy Economics Energy Transition Symposium: "Looking Ahead with Optimism, Beyond the Covid Era", 28 September-1 October, 2021, Athens, Greece. [10.13140/RG.2.2.16927.23204](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16927.23204)

3. **Koutsandreas, D.**; Kleanthis, N.; Karakosta, C.; Doukas, H.; Flamos, A. (2021). Fostering Energy Efficiency Investments through Risk Management, 31st European Conference on Operational Research, 11-14 July, 2021, Athens, Greece. 10.13140/RG.2.2.16298.08642
4. Kleanthis, N.; **Koutsandreas, D.**; Karakosta, C.; Doukas, H.; Flamos, A. (2021). A multi-methods framework for profitability assessment of energy efficiency investments under uncertainty, 31<sup>st</sup> European Conference on Operational Research, 11-14 July, 2021, Athens, Greece
5. Papapostolou, A.; Karakosta, C.; **Koutsandreas, D.**; Mexis, F. D.; Doukas, H. (2021). Energy Efficiency Investments in Building Sector: A Stakeholder Consultation Approach, 31<sup>st</sup> European Conference on Operational Research, 11-14 July, 2021, Athens, Greece
6. Karakosta, C.; Papapostolou, A.; Mexis, F. D.; **Koutsandreas, D.**; Psarras, J. (2021). Impact of energy efficiency measures in the Greek building sector, 3rd Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration, 10-13 June, 2021, Sousse, Tunisia

## Παράρτημα Β

### Διαδικασίες για την Ενσωμάτωση της Δημοκρατίας της Σερβίας στη Βάση Δεδομένων GTAP

Στο παρόν παράρτημα περιγράφονται οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν, για την ενσωμάτωση της Δημοκρατίας της Σερβίας για πρώτη φορά σαν ξεχωριστή χώρα στη βάση δεδομένων GTAP, καθώς στις προηγούμενες εκδόσεις της εν λόγω βάσης δεδομένων, αναπαρίστατο σαν μέρος του γεωγραφικού συνασπισμού «Υπόλοιπο της Ευρώπης» (“Rest of Europe”). Αρχικά, συλλέχθηκαν τα πρωτογενή δεδομένα, όπως αυτά εκδόθηκαν από τη Στατιστική Υπηρεσία της Δημοκρατίας της Σερβίας, στη μορφή ενός πίνακα «Εισόδου-Εξόδου» για το 2015. Ο εν λόγω πίνακας, απεικόνιζε τις κυκλικές νομισματικές ροές που έλαβαν χώρα εντός της οικονομίας της Δημοκρατίας της Σερβίας για το 2015, και παρουσίαζε τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Ήταν εκπεφρασμένος σε νομισματικές μονάδες σε εκατομμύρια Σερβικά Δηνάρια.
- Εμπεριείχε τις πραγματοποιηθείσες συναλλαγές σε βασικές τιμές, ήτοι το χρηματικό ποσό που εισπράχτηκε από τον παραγωγό, συμπεριλαμβανομένων επιδοτήσεων και εξαιρουμένων των φόρων.
- Ήταν εκπεφρασμένος στη μορφή «προϊόν ανά προϊόν», ήτοι ο κάθε τομέας θεωρούντο ότι παράγαγε ένα μοναδικό προϊόν.
- Περιελάμβανε 65 παραγωγικούς τομείς της οικονομίας, οι οποίοι αντιστοιχήθηκαν σε 40 τομείς της βάσης δεδομένων GTAP.

Ακολούθως, έλαβαν χώρα μία σειρά από τροποποιήσεις επί αυτών των δεδομένων, με γνώμονα είτε την αντιμετώπιση προβλημάτων στα δεδομένα, ως απόρροια της κακής συλλογής τους, ή την αύξηση του επιπέδου της λεπτομέρειάς τους για την οικονομία της Δημοκρατίας της Σερβίας. Η ποιότητα των δεδομένων που απεικονίζονταν στον εν λόγω πίνακα, ελέγχθηκε από πολλαπλές οπτικές γωνίες. Πιο συγκεκριμένα, επισκοπήθηκαν οι συνθήκες της «μη αρνητικότητας» και της «ισορροπίας», όπως επίσης και η αξιοπιστία των επιπέδων φόρων που εμπεριέχονταν στα δεδομένα, και η δομή για τα κόστη και τις πωλήσεις κάθε απεικονιζόμενου τομέα. Αυτές οι ενέργειες οδήγησαν στον εντοπισμό των παρακάτω σημείων προς περαιτέρω επεξεργασία:

- Τα στοιχεία της προστιθέμενης αξίας (εργασία, κεφάλαιο και γη) παρέχονταν συγκεντρωτικά, ήτοι παρέχονταν μόνο το άθροισμά τους.
- Σε μερικούς τομείς, το επίπεδο των εξαγωγών υπερέβαινε το αντίστοιχο επίπεδο της παραγωγής, κάτι το οποίο υποδείκνυε την ύπαρξη «επανεξαγωγών» (“re-exports”), ήτοι ένα μέρος των εισαγωγών αυτών των τομέων για το 2015, στη συνέχεια εξήχθησαν σε άλλες χώρες, εντός του ίδιου έτους.
- Υπήρχε μία αρνητική καταχώρηση στην αποζημίωση κεφαλαίου στον τομέα της αλιείας, κάτι το οποίο οφειλόταν στην κακή συλλογή των δεδομένων.

- Ο τομέας «Χρηματοοικονομικών και ασφαλιστικών υπηρεσιών» εμπεριείχε πληροφορία που αναφέρονταν σε επιμέρους τομείς, και άρα έπρεπε να διαχωριστεί.

Σε αυτό το πλαίσιο, έλαβαν χώρα οι ακόλουθες ενέργειες, με σκοπό την αντιμετώπιση των παραπάνω ζητημάτων:

- Η παρεχόμενη πληροφορία για την προστιθέμενη αξία κατηγοριοποιήθηκε επί των επιμέρους στοιχείων στα οποία συντίθεται, ώστε να αυξηθεί η αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, το συνολικό ποσό της προστιθέμενης αξίας ανά τομέα, κατηγοριοποιήθηκε μεταξύ των παραγωγικών συντελεστών της εργασίας και του κεφαλαίου, ενώ η προστιθέμενη αξία του συντελεστή παραγωγής της γης ρυθμίστηκε ως μηδέν, καθώς οι αντίστοιχες τιμές θα υπολογίζονταν από τους εμπειρογνώμονες της βάσης δεδομένων GTAP. Η αναλογία της εργασίας ως προς το κεφάλαιο, υπολογίστηκε με βάση τα δεδομένα μίας χώρας αναφοράς με παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά της Δημοκρατίας της Σερβίας, σε όρους γεωγραφικής εγγύτητας και κατά κεφαλήν ΑΕΠ, πιο συγκεκριμένα της Δημοκρατίας της Βουλγαρίας.
- Όσον αφορά το ζήτημα της ύπαρξης επανεξαγωγών (“re-exports”), αρχικά το μερίδιο επανεξαγωγών («MEP») κάθε τομέα που ενέπιπτε σε αυτή την κατηγορία, υπολογίστηκε με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$MEP(i) = \frac{M(i)}{M(i) + P(i)}$$

Όπου  $M(i)$  είναι οι εισαγωγές του τομέα  $i$  και  $P(i)$  το επίπεδο παραγωγής του τομέα  $i$ .

Μετά τον υπολογισμό του μεριδίου των επανεξαγωγών, υπολογίστηκαν οι απόλυτες τιμές των επανεξαγωγών, πολλαπλασιάζοντας τις συνολικές εξαγωγές αυτών των τομέων με το μερίδιο των επανεξαγωγών. Οι υπολογισθείσες επανεξαγωγές, στη συνέχεια αφαιρέθηκαν από τις αρχικές εισαγωγές και εξαγωγές, με σκοπό την εξασφάλιση της «συνθήκης ισορροπίας» για τον πίνακα «Εισόδου-Εξόδου» της Δημοκρατίας της Σερβίας.

- Η αρνητική καταχώρηση στην αποζημίωση του κεφαλαίου του τομέα της αλιείας, επανυπολογίστηκε με βάση το λόγο της αποζημίωσης κεφαλαίου στον τομέα της αλιείας ως προς τη συνολική αποζημίωση του κεφαλαίου, της χώρας αναφοράς (Δημοκρατία της Βουλγαρίας). Ο δείκτης που προέκυψε πολλαπλασιάστηκε με τη συνολική αποζημίωση κεφαλαίου της Δημοκρατίας της Σερβίας. Δεδομένου του ότι η ισορροπία του ΠΚΛ επηρεάστηκε από τις εν λόγω τροποποιήσεις, η υπολογισθείσα διαφορά αντισταθμίστηκε



---

με βάση την προσθήκη ενός φόρου στην παραγωγή στον τομέα της αλιείας, με άλλα λόγια η απώλεια θεωρήθηκε ότι επιδοτήθηκε από την κυβέρνηση της Δημοκρατίας της Σερβίας.

- Για το διαχωρισμό της πληροφορίας του τομέα «Χρηματοοικονομικών και Ασφαλιστικών Υπηρεσιών» στους επιμέρους τομείς που εμπλέκονταν, ακολουθήθηκε μία συμμετρική προσέγγιση, με άλλα λόγια τα δεδομένα διαχωρίστηκαν ισόποσα μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων.

Τέλος, οι 65 τομείς του πίνακα Εισαγωγών-Εξαγωγών της οικονομίας της Σερβίας, συγκεντρώθηκαν και αντιστοιχήθηκαν σε 40 τομείς της βάσης δεδομένων GTAP. Ο Πίνακας «Εισόδου-Εξόδου» που προέκυψε, ελέγχθηκε επί των συνθηκών της «μη αρνητικότητας» και της «ισορροπίας». Θα πρέπει να τονιστεί ότι οι παραπάνω ενέργειες πραγματοποιήθηκαν υπό την επίβλεψη —και με την έγκριση— των εμπειρογνώμων της βάσης δεδομένων GTAP.

