



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ  
ΣΠΟΥΔΩΝ «ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πολυκριτήρια ανάλυση των στόχων και των επιδράσεων των τελικών Εθνικών  
Σχεδίων για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής  
Ένωσης

ΑΞΑΟΠΟΥΛΟΣ  
ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
Χρυσόστομος (Χάρης) Δούκας

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ Ιούνιος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ  
ΣΠΟΥΔΩΝ «ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Πολυκριτήρια ανάλυση των στόχων και των επιδράσεων των τελικών Εθνικών  
Σχεδίων για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) των κρατών μελών της  
Ευρωπαϊκής Ένωσης**

ΑΞΑΟΠΟΥΛΟΣ  
ΙΩΑΝΝΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής:  
Χρυσόστομος (Χάρης) Δούκας

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Τετάρτη, 12 Ιουλίου 2023.

.....  
Μαρινάκης Ε.

Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ψαρράς Ι.

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Δούκας Χ.

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Ιούνιος 2023

.....  
ΑΞΑΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Διπλ. Μηχανολόγος Μηχ. Ε.Μ.Π.

© ΑΞΑΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, Ιούνιος 2023, All rights reserved

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, των διαγραμμάτων, εικόνων, λογοτύπων, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτών, για εμπορικό σκοπό ή με σκοπό το κέρδος. 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.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι επιδράσεις των πολιτικών δράσεων που προβλέπονται από το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) ανά κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.), σε σχέση με τις επιδράσεις που προβλέπεται να παρουσιάσει κάθε χώρα χωρίς την εφαρμογή των μέτρων που προβλέπονται από το ΕΣΕΚ. Για να πραγματοποιηθεί αυτό θα ληφθούν υπόψη οι αξιολογήσεις των επιδράσεων που έχουν λάβει χώρα ανά ΕΣΕΚ κράτους μέλους της Ε.Ε.. Εν συνεχεία θα γίνει πολυκριτήρια ανάλυση (κατάταξη, αξιολόγηση, ομαδοποίηση) συνολικά των πολιτικών που προβλέπονται από όλα τα ΕΣΕΚ με βάση τα κριτήρια που θα επιλεχθούν (π.χ. μειώσεις εκπομπών).

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Πολυκριτήρια ανάλυση, ΕΣΕΚ, ενέργεια, κλίμα, ΕΕ

## **ABSTRACT**

---

Presentation of impacts of policies of National Energy and Climate Plans (NECPs) per EU member-state (with additional measures - WAM) in relation to the scenario of predicted evolution 'with existing measures' (WEM). To achieve that evaluations of impacts per member state's, NECP will be taken into consideration. Following, a multiobjective analysis (classification, ranking, clustering) of the policies that are proposed by NECPs is performed, based on the criteria that will be chosen (e.g., reduction of emissions).

## **KEYWORDS**

Multiobjective analysis; NECP; EU; energy; climate

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Η διπλωματική αυτή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του ΔΠΜΣ «Τεχνοοικονομικά συστήματα» στη Σχολή Ηλεκτρολόγων και Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στην κατεύθυνση Διοίκηση Οργανισμών & Επιχειρηματικότητα, και ειδικότερα, στο Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης. Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό να καταγράψει και να κατατάξει τις εθνικές πολιτικές για την Ενέργεια και το Κλίμα κάθε κράτους-μέλους της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) με βάση τα δημοσιευμένα Εθνικά Σχέδια Ενέργειας και Κλίματος (ΕΣΕΚ). Στόχος είναι να διερευνηθεί η επίδραση κάθε μέτρου που περιλαμβάνεται σε αυτά τα σχέδια στους διακηρυγμένους στόχους της ΕΕ για την Ενέργεια και το Κλίμα.

Έτσι, αναλύονται οι επιπτώσεις των μέτρων που περιλαμβάνονται σε αυτά τα σχέδια στους στόχους της ΕΕ για την Ενέργεια και το Κλίμα. Επιπλέον, πραγματοποιείται αξιολόγηση των μέτρων βάσει διαφορετικών κριτηρίων, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο TOPSIS. Η αξιολόγηση θα βασιστεί στα στοιχεία που παρέχονται στα ΕΣΕΚ όπως πχ. η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα κ. Χάρη Δούκα, Καθηγητή του Ε.Μ.Π., που με εμπιστεύθηκε για την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας, καθώς και τον κ. Διαμαντή Κουτσανδρέα, Διδάκτορα του Ε.Μ.Π., για την καθοδήγηση και τις συμβουλές που μου προσέφερε, και τέλος να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους, τον πατέρα μου, Πέτρο, και το σήριγμά μου, την Ελένη, χωρίς την συμβολή των οποίων, η ολοκλήρωση του παρόντος κειμένου δεν θα ήταν δυνατή.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	4
Λέξεις κλειδιά .....	4
Abstract.....	5
Keywords.....	5
Πρόλογος .....	6
1 Εισαγωγή .....	8
2 Ο ρόλος της ενεργειακής εξοικονόμησης σε σχέση με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής.....	11
2.1 Κλιματική αλλαγή .....	11
2.2 Εθνικά Σχέδια για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ).....	12
3 Πολυκριτήρια ανάλυση για τη λήψη αποφάσεων .....	16
3.1 Βασικά στοιχεία.....	16
3.1.1 Εναλλακτικές (alternatives) .....	16
3.1.2 Κριτήρια .....	17
3.1.3 Πίνακας αξιολόγησης .....	17
3.1.4 Συντελεστές βαρύτητας .....	17
3.1.5 Βήματα.....	17
3.2 Πολυκριτήρια ανάλυση στον ενεργειακό τομέα .....	18
3.3 Οι Κύριες Μέθοδοι Πολυκριτήριας Ανάλυσης .....	18
3.3.1 ΑHP .....	19
3.3.2 TOPSIS.....	23
4 Μεθοδολογία .....	27
5 Αποτελέσματα.....	39
6 Συμπεράσματα.....	53
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	55

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Η παραγωγή ενέργειας είναι η βάση οποιασδήποτε οικονομικής δραστηριότητας και, συνεπώς, η βάση για την οικονομική ανάπτυξη των πόλεων και των χωρών. Απέκτησε σημασία με την έναρξη της Πρώτης Βιομηχανικής Επανάστασης και από τότε η ζήτηση ενέργειας αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς.

Η πρωτογενής ενέργεια στην οικονομία είναι μια πιο αφηρημένη έννοια, αλλά είναι απαραίτητη για την παραγωγή της «χρήσιμης», τελικής ενέργειας που χρησιμοποιούμε καθημερινά όπως ο ηλεκτρισμός, για τις μετακινήσεις μας (μέσα μεταφοράς), για τον κλιματισμό, την ψύξη και την θέρμανση κτιρίων και χώρων. Δηλαδή, η (πρωτογενής) ενέργεια που βρίσκεται σαν χημική μέσα στα καύσιμα και την βιομάζα, σαν ηλεκτρομαγνητική στο ηλιακό φως, σαν κινητική μέσα στον άνεμο, δυναμική μέσα στο νερό των υδροηλεκτρικών φραγμάτων, σαν πυρηνική στα πυρηνικά καύσιμα μετατρέπεται σε αξιοποιήσιμη (τελική) ενέργεια, όπως π.χ. ο ηλεκτρισμός για φωτισμό, τη λειτουργία των συσκευών, θερμότητα για το σπίτι ή το ζεστό νερό, ή χρήσιμο έργο, μεταφορικό έργο ανθρώπων και αγαθών.

Από τα παραπάνω προκύπτει, η σημασία της ενεργειακής απόδοσης σε επίπεδο μιας χώρας, δηλαδή το πόσο αποτελεσματικά μετατρέπεται η πρωτογενής σε τελική ενέργεια, πόσο καλά αυτή η χώρα αξιοποιεί τις διαθέσιμες σε αυτή πηγές πρωτογενούς ενέργειας.

Προς το παρόν, είναι αδύνατο για τις χώρες της ΕΕ, να λειτουργούν κανονικά χωρίς σταθερή παροχή ενέργειας π.χ. για παραγωγή ηλεκτρισμού, για μεταφορές, για ψύξη και θέρμανση. Η παροχή ενέργειας χρησιμοποιείται για να επιτρέψει τη λειτουργία όλων των διαφορετικών ειδών των συσκευών που χρησιμοποιούνται, μεταξύ άλλων, στη βιομηχανία, την επικοινωνία, τη γεωργία, και πολλούς άλλους τομείς της οικονομίας. Η εκπομπή αερίων ρύπων από την χρήση ορυκτών καυσίμων, οδηγεί σε περιβαλλοντικές απειλές και κλιματική αλλαγή στον κόσμο.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δεσμευθεί να επιτύχει τους ακόλουθους στόχους στην ενεργειακή πολιτική έως το 2030: (1) αύξηση του ποσοστού της ανανεώσιμης ενέργειας στην κατανάλωση σε 35% σε όλες τις πηγές ενέργειας που καταναλώνονται, (2) βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 35%, (3) ενδεχόμενη κάλυψη τουλάχιστον 15% των ηλεκτρικών συστημάτων της ΕΕ με διασυνδέσεις, (4) αύξηση 12% στο ποσοστό της ανανεώσιμης ενέργειας στις μεταφορές και (5) μείωση τουλάχιστον 40% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τα επίπεδα



του 1990. Σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (Δ.Ο.Ε.), η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε από 10.898 TWh το 1990 σε 24.739 TWh το 2018 παγκοσμίως [1]. Οι στόχοι αυτοί αποτελούν μια σημαντική πρόκληση στη διαδρομή της μετάβασης και μια αλλαγή στρατηγικής πολλών χωρών.

Το παράδειγμα της πορείας του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (Δ.Ο.Ε.) είναι χαρακτηριστικό της εξέλιξης της σημασίας της ενέργειας σε διεθνές επίπεδο και του ενδιαφέροντος σε θέματα ενέργειας.

Ο Δ.Ο.Ε ιδρύεται το 1974, την περίοδο της παγκόσμιας πετρελαϊκής κρίσης, καλύπτοντας την ανάγκη για ένα διεθνή φορέα συντονισμού καταστάσεων διαταραχής εφοδιασμού στην τροφοδοσία πετρελαίου, μέσω των πολιτικών, μέτρων και σχεδίων δράσης που επεξεργάζεται. Από τότε οι ανάγκες έχουν αλλάξει και έχει αναλάβει και άλλα θέματα σχετικά με την ενέργεια, π.χ. ο Δ.Ο.Ε. εξειδικεύεται σε θέματα προώθησης της ασφάλειας εφοδιασμού σε ενεργειακά προϊόντα, έχει θεσμοθετήσει για τα κράτη μέλη του τις προδιαγραφές και τους κανόνες τήρησης αποθεμάτων ασφαλείας, αρκετά επίκαιρο ζήτημα λόγω του πολέμου στην Ουκρανία και την επακόλουθη ενεργειακή κρίση στην Ευρώπη λόγω της μεγάλης εξάρτησής της από τον ανεφοδιασμό φυσικού αερίου από την Ρωσία. Επιπρόσθετα, με στόχο να ανταποκριθεί στο άνοιγμα των αγορών ενέργειας και στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, ο Δ.Ο.Ε., τα τελευταία χρόνια, έχει διευρύνει τις εργασίες του και στους τομείς διαμόρφωσης μέτρων αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, μεταρρύθμισης των αγορών και προώθησης καινοτόμων τεχνολογιών. Επίσης τα τελευταία χρόνια ο Δ.Ο.Ε. προσπαθεί να προωθήσει τον διάλογο για την ενέργεια καθώς και ένα σύνολο μέτρων και πολιτικών δράσεων, που στοχεύουν στην διασφάλιση της ομαλής τροφοδοσίας ενεργειακών πόρων, στην ανταλλαγή τεχνογνωσίας μεταξύ των κρατών μελών, στην απρόσκοπτη διάχυση της πληροφορίας καθώς και στην ορθολογική χρήση των ενεργειακών πόρων για την προστασία του περιβάλλοντος. [2]

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα μοντέλα για την κατασκευή στρατηγικών ανάπτυξης και την υλοποίηση σχετικών έργων. Ένας από τους επιπλέον στόχους κάθε χώρας για την κατασκευή στρατηγικών ανάπτυξης μέσα από επιλογή διαφορετικών μοντέλων, είναι η αύξηση της επενδυτικής ελκυστικότητας. Οι διαδικασίες μετάβασης θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις προοπτικές των εμπλεκόμενων, ενδιαφερόμενων φορέων στην υποστήριξη διαδικασιών ενδυνάμωσης που είναι απαραίτητες για τις βιώσιμες ενεργειακές μεταβάσεις.

Επιπλέον, καθώς η κλιματική αλλαγή εξελίσσεται και η πλειονότητα του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε αστικές περιοχές, η μείωση της θερμοκρασίας των πόλεων αποτελεί

μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις των επόμενων δεκαετιών. Οι κυβερνήσεις αποσκοπούν στο να εισάγουν διαρκώς όποια μορφή καινοτομίας, π.χ. με το να ενθαρρύνουν διεθνείς επιχειρήσεις να υλοποιήσουν έργα ανανεώσιμης ενέργειας και να παρέχουν πράσινες ενεργειακές υπηρεσίες και προϊόντα. Οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων πρέπει να γνωρίζουν πώς να προσελκύσουν επιχειρήσεις του ενεργειακού τομέα. Οι δημόσιοι διαχειριστές κατανοούν το πρόβλημα λήψης πολυκριτηριακών αποφάσεων που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις ενέργειας όταν αποφασίζουν για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ενέργειας σε μία χώρα. Όπως περιγράφεται στο [3], στη δημόσια διοίκηση συχνά τα στελέχη και οι σύμβουλοι καλούνται να πάρουν αποφάσεις βασιζόμενοι σε αντικρουόμενα κριτήρια. Δεδομένης της σημασίας του ενεργειακού τομέα η μελέτη αυτή επικεντρώνεται στον προσδιορισμό των χωρών που είναι κρίσιμες για τις επιχειρήσεις ενέργειας κατά την επιλογή νέων τόπων για την παροχή των υπηρεσιών τους.

Ο στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας, είναι να παρουσιάσει έναν κατάλογο και μία ταξινόμηση των χωρών της ΕΕ, στο πλαίσιο της ενεργειακής τους κατανάλωσης, βασιζόμενη στην τεχνική TOPSIS και να αναλύσει τους στόχους και τις επιδράσεις των Εθνικών σχεδίων ενέργειας και κλίματος (ΕΣΕΚ), στις χώρες αυτές. Αρχικά, γίνεται μια αναλυτική περιγραφή Εθνικών σχεδίων ενέργειας και κλίματος (ΕΣΕΚ). Στη συνέχεια, γίνεται μια προσπάθεια να εξηγήσει τις μεθόδους της πολυκριτήριας ανάλυσης και να απαντήσει στα ακόλουθα ερωτήματα έρευνας:

- Πώς μπορούμε να μετρήσουμε την επίτευξη των στόχων;
- Ποιες μεταβλητές μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε;
- Ποια είναι η ταξινόμηση των χωρών όσον αφορά το επίπεδο επίτευξης στόχων;

Μετά την εισαγωγή και την παρουσίαση των στόχων της μελέτης, η ενότητα 2 ανασκοπεί την βιβλιογραφία στον τομέα της πολυκριτήριας ανάλυσης καθώς και στους τομείς της ενέργειας και του κλίματος που αφορούν τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η ενότητα 3 περιγράφει την τεχνική TOPSIS και την μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί στην παρούσα εργασία, ενώ στην ενότητα 4 γίνεται εφαρμογή της επιλεγμένης μεθόδου. Τέλος, στην ενότητα 5 παρουσιάζονται και συζητούνται τα αποτελέσματα ενώ η ενότητα 6 περιέχει τα συμπεράσματα.

## 2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

### 2.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και πιο συγκεκριμένα σε μετεωρολογικές συνθήκες που μεταβάλλονται και εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Με βάση τη σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών, ως κλιματική αλλαγή ορίζεται η μεταβολή που παρατηρείται στο κλίμα, ως συνέπεια άμεσων ή έμμεσων ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Αυτός ο ορισμός έχει σκοπό να διακρίνει την κλιματική μεταβλητότητα που προκύπτει από φυσικά αίτια, σε σχέση με την κλιματική αλλαγή που οφείλεται σε ανθρώπινο παράγοντα [4].

Η κύρια αιτία της κλιματικής αλλαγής είναι η ανορθολογική χρήση ορυκτών πόρων, όπως είναι το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο, η καύση των οποίων απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα οι οποίες περιβάλλουν τη Γη, και με τη σειρά τους παγιδεύουν θερμότητα γύρω από αυτήν, αυξάνοντας έτσι την μέση θερμοκρασία της. Συνεπώς τα αίτια της κλιματικής αλλαγής είναι απότοκα της ανθρώπινης δραστηριότητας, καθώς και των φυσικών διαδικασιών, που συμβάλλουν αρνητικά στο κλίμα [5].

Είναι αξιοσημείωτο ότι τα τελευταία χρόνια, λόγω της υπερκατανάλωσης των προϊόντων του πρωτογενούς τομέα και των φυσικών πόρων καθώς και της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού, έχει παρατηρηθεί μία σημαντική υποβάθμιση του φυσικού περιβάλλοντος. Συνέπεια αυτής της υποβάθμισης, κυρίως λόγω της αλόγιστης χρήσης των ορυκτών καυσίμων, είναι η παγκόσμια μέση θερμοκρασία του πλανήτη να έχει σημειώσει άνοδο κατά περίπου 1 βαθμό Κελσίου από το 1880 μέχρι το 2019 και αναμένεται να αυξηθεί παραπάνω στο μέλλον [6].

Η ανάγκη συνεπώς για περισσότερη ενέργεια αλλά συγχρόνως και καθαρότερης προέλευσης είναι επιτακτική για όλες τις χώρες.

Προκειμένου να αντιμετωπισθεί ο κίνδυνος της κλιματικής αλλαγής παίρνονται διάφορα μέτρα και απαιτούνται ενέργειες και πολιτικές για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.

Τα τελευταία ψηφίσματα του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου (ΕΚ) σχετικά με την ενέργεια έχουν τονίσει τη σημασία όλων των κλιματικών και περιβαλλοντικών στόχων που

διέπουν την ενεργειακή πολιτική της ΕΕ. Αμέσως παρακάτω, δίνεται μια χρονολογική παρουσίαση [7]:

- στις 28 Νοεμβρίου 2019 κήρυξε την Ευρώπη σε κατάσταση κλιματικής και περιβαλλοντικής έκτακτης ανάγκης·
- στις 8 Οκτωβρίου 2020, ζήτησε να τεθεί ένας στόχος της ΕΕ για τη μείωση όλων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της ΕΕ κατά 60 % έως το 2030 και τη σταδιακή κατάργηση όλων των επιδοτήσεων ορυκτών καυσίμων το αργότερο έως το 2025.
- στις 14 Σεπτεμβρίου 2022, το ΕΚ υποστήριξε πιο φιλόδοξους στόχους ενεργειακής απόδοσης και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από εκείνους της αρχικής πρότασης του Συμβουλίου, που ισοδυναμούν με μείωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας κατά 40 %, μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας κατά 42,5 % και ποσοστό 45% ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργεια έως το 2030.

## 2.2 ΕΘΝΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΚΛΙΜΑ (ΕΣΕΚ)

Η Ε.Ε. θέσπισε το πακέτο μέτρων για την ενέργεια, προκειμένου να αντιμετωπίσει το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής αλλά και να προωθήσει την ενεργειακή ανεξαρτησία των κρατών μελών της. Το πακέτο αυτό δέσμευε όλα τα κράτη-μέλη για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20%, συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990. Όμως, παρουσιάστηκε η ανάγκη για πιο επιτακτική δράση για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Έτσι, το έτος 2015, στη Συμφωνία του Παρισιού (*Paris Agreement*) δεσμευτήκαν για περαιτέρω προσπάθειες ώστε να ελεγχθεί η συνεχής άνοδος της μέσης θερμοκρασίας. Οι στόχοι που είχαν τεθεί για το διάστημα 2021-2030 ήταν οι εξής:

- Μείωση των αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 40% συγκριτικά με τα επίπεδα του 1990
- Συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή κατά 27%
- Βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας κατά 27%

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υποχρέωσε όλα τα κράτη-μέλη να εμφανίζουν μελέτες για το πώς θα υλοποιήσουν αυτούς τους στόχους σε εθνικό επίπεδο. Έτσι, τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) θέτουν στόχους για καθαρή ενέργεια και κλίμα. Προκειμένου να εξασφαλισθεί ότι η ΕΕ θα επιτύχει αυτούς τους στόχους για την ενέργεια και το κλίμα, εκπονούνται εθνικά σχέδια από κάθε κράτος-μέλος. Τα εθνικά σχέδια ενέργειας και κλίματος (ΕΣΕΚ) πρωτοπαρουσιάστηκαν από τον κανονισμό

διακυβέρνησης της Ενεργειακής Ένωσης και δράσης για την κλιματική αλλαγή (EU) 2018/1999, όπως συμφωνήθηκε ως μέρος της Συμφωνίας Καθαρής Ενέργειας (Clean Energy) όλων των ευρωπαϊκών πακέτων, που υιοθετήθηκαν το 2019. Έτσι, κάθε χώρα της Ε.Ε. δημοσιεύει το αντίστοιχο ΕΣΕΚ. Για παράδειγμα η Ελλάδα δημοσίευσε το δικό της το 2019.

Πως λειτουργούν τα ΕΣΕΚ: Τα ΕΣΕΚ έχουν θεσπιστεί μέσω κανονισμού της Ε.Ε. και συνεπώς καλύπτουν τις πέντε διαστάσεις της Ενεργειακής Ένωσης.

Τα ΕΣΕΚ παρουσιάζουν ένα αναλυτικό οδικό χάρτη για θέματα Ενέργειας και κλίματος, με στόχο την επιτυχή και βιώσιμη μετάβαση σε μια οικονομία κλιματικής ουδετερότητας μέχρι το 2030. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, οι χώρες της ΕΕ θα πρέπει να ακολουθήσουν πέντε άξονες: αύξηση της ενεργειακής απόδοσης (εξοικονόμηση ενέργειας), ποσοστό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, διασυνδέσεις του ηλεκτρικού δικτύου, έρευνα και καινοτομία.

Οι δυο τελευταίοι άξονες δεν θα μελετηθούν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τα ΕΣΕΚ καλύπτουν 10ετείς περιόδους. Η πρώτη είναι 2021-2030. Η διαδικασία περιγράφεται χρονικά ως εξής:

1. Τα κράτη μέλη εκπονούν προσχέδια ΕΣΕΚ.
2. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσιεύει αξιολόγηση.
3. Τα κράτη μέλη υποβάλλουν τελικά ΕΣΕΚ.
4. Τα κράτη μέλη επικαιροποιούν τα ΕΣΕΚ .
5. Τα κράτη μέλη υποβάλλουν τα επόμενα ΕΣΕΚ.

Κατά τη διάρκεια της συνολικής διαδικασίας και τελικής υποβολής των ΕΣΕΚ, γίνεται συνεχής διάλογος για τη συνεχή βελτίωσή τους.

Στόχοι: Τα Εθνικά Σχέδια για την Ενέργεια και το κλίμα (ΕΣΕΚ) καθορίζουν τους κυρίαρχους στόχους που μια χώρα επιδιώκει να επιτύχει στους τομείς της ενέργειας και της αλλαγής του κλίματος. Αυτοί οι στόχοι συχνά περιλαμβάνουν τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, την αύξηση του ποσοστού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μείγμα ενέργειας, τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και την υιοθέτηση μέτρων προσαρμογής που θα οδηγήσουν σε ένα μέλλον ανθεκτικό στο κλίμα.

Πολιτικό Πλαίσιο: Τα σχέδια καθορίζουν το πολιτικό πλαίσιο που θα εφαρμοστεί για να υποστηρίξει την επίτευξη των στόχων. Αυτό περιλαμβάνει συγκεκριμένες πολιτικές, κανονιστικά μέτρα και κίνητρα που προωθούν καθαρές πηγές ενέργειας, μέτρα ενεργειακής απόδοσης και βιώσιμες πρακτικές σε διάφορους τομείς όπως η παραγωγή ενέργειας, η μεταφορά, οι κτιριακές εγκαταστάσεις και η βιομηχανία.

Ανάπτυξη Ανανεώσιμης Ενέργειας: Τα ΕΣΕΚ παρέχουν στρατηγικές για την ανάπτυξη και τη διεύρυνση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη θέσπιση στόχων για την μεγαλύτερη διείσδυση στο δίκτυο, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την ίδρυση μηχανισμών υποστήριξης για έργα ανανεώσιμης ενέργειας, την απλοποίηση των διαδικασιών αδειοδότησης και την προώθηση της έρευνας και ανάπτυξης στις τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας.

Μέτρα Ενεργειακής Απόδοσης: Τα σχέδια τονίζουν μέτρα που στοχεύουν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε διάφορους τομείς. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την προώθηση ενεργειακά αποδοτικών πρακτικών στα κτίρια, την εφαρμογή τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας στις βιομηχανίες, την ενθάρρυνση ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων μεταφορών και την αύξηση της ευαισθητοποίησης των καταναλωτών σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας.

Προσαρμογή και Ανθεκτικότητα στην κλιματική αλλαγή: Τα ΕΣΕΚ αναγνωρίζουν τη σημασία των μέτρων προσαρμογής και ανθεκτικότητας στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Αυτά τα σχέδια περιγράφουν στρατηγικές για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας στους τομείς που είναι ευάλωτοι στην κλιματική αλλαγή, όπως η γεωργία, η διαχείριση των υδάτινων πόρων και η διαχείριση των φυσικών πόρων.

Παρακολούθηση, Αναφορά και Αξιολόγηση: Τα ΕΣΕΚ θεσπίζουν μηχανισμούς για την παρακολούθηση και την αναφορά της προόδου προς τους στόχους που έχουν τεθεί. Επίσης, περιγράφουν περιοδικές διαδικασίες αξιολόγησης για να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα των μέτρων που έχουν εφαρμοστεί και να γίνουν τυχόν απαραίτητες προσαρμογές για να διασφαλιστεί ότι τα σχέδια παραμένουν ευθυγραμμισμένα με τις εξελισσόμενες εθνικές και διεθνείς κλιματικές προτεραιότητες.

Τα εθνικά σχέδια ενέργειας και κλίματος παίζουν έναν κρίσιμο ρόλο στην ευθυγράμμιση του ενεργειακού τομέα μιας χώρας με τις κλιματικές της δεσμεύσεις.

Αυτή η προσέγγιση σύμφωνα με το σκεπτικό των ΕΣΕΚ προϋποθέτει ένα συντονισμό στους στόχους μεταξύ όλων των τμημάτων μια κυβέρνησης και παρέχει ένα πλάνο

σχεδιασμού που έχει σκοπό να διευκολύνει τις δημόσιες και ιδιωτικές επενδύσεις στους τομείς που περιεγράφηκαν παραπάνω.

Βάση αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι τα κείμενα που κατέθεσαν τα ίδια τα κράτη-μέλη σχετικά με τα βήματα που προτίθενται να κάνουν ώστε να συνεισφέρουν στους παραπάνω διακηρυγμένους στόχους σύμφωνα με τις προβλέψεις τους για τα επόμενα έτη. Ακολούθως θα αξιολογηθούν με βάση διάφορους δείκτες που αντανακλούν την απόδοση των μέτρων που προτείνονται και τέλος θα συγκριθούν τα παρόμοια μέτρα μεταξύ των χωρών με κάποια αναγωγή ώστε να είναι συγκρίσιμα δίνοντας κάποια συμπεράσματα και παρατηρήσεις.

Η αξιολόγηση αυτή θα βασίζεται σε δημοσιευμένες πληροφορίες από τα Εθνικά Σχέδια Ενέργειας και Κλίματος, με στόχο να εξεταστεί η συμβολή κάθε μέτρου στους διακηρυγμένους στόχους της Ε.Ε.

### 3 ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Στη θεωρία λήψης αποφάσεων ο σκοπός μας είναι με βάση πολλαπλούς παράγοντες και διάφορα κριτήρια να λάβουμε τη βέλτιστη απόφαση. Ο κόσμος χαρακτηρίζεται από μεγάλη πολυπλοκότητα. Το γεγονός αυτό έχει σημαντικές επιδράσεις στον τρόπο με τον οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις. Η πραγματικά βέλτιστη απόφαση, μπορεί να ληφθεί μόνο όταν έχουμε να λάβουμε υπόψη ένα κριτήριο. Στη περίπτωση που εξετάζουμε ένα μόνο κριτήριο μπορούμε να επιλέξουμε μία βέλτιστη απόφαση που είναι και μοναδική. Για παράδειγμα, μία κυρτή συνάρτηση έχει ολικό ελάχιστο σε ένα σημείο. Στις περισσότερες πραγματικές καταστάσεις, το να βασιστεί μια απόφαση σε ένα μόνο κριτήριο είναι σχεδόν αδύνατο.

Πολλές φορές, τα κριτήρια που επιλέγονται στη θεωρία λήψης αποφάσεων είναι ασύμβατα μεταξύ τους κριτήρια. Συνεπώς, είναι αδύνατο να υπάρξει μια και μοναδική κατάλληλη απόφαση σε κάποιο πρόβλημα. Επίσης ο κάθε ενδιαφερόμενος λαμβάνει υπόψη με διαφορετικό τρόπο τα κριτήρια που επηρεάζουν ένα πρόβλημα και που ο ίδιος θεωρεί σημαντικά για την απόφαση [8]. Γι' αυτούς τους λόγους η διαδικασία λήψης στρατηγικών αποφάσεων χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό αβεβαιότητας και υποκειμενικότητας. Φυσικά σε κάθε περίπτωση υπάρχουν μετρικές που χρησιμοποιούνται για να ελαχιστοποιήσουν την αβεβαιότητα, το σφάλμα κ.λ.π.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση ή αλλιώς πολυκριτήρια ανάλυση για τη λήψη αποφάσεων, είναι η μέθοδος που σύμφωνα και με την ονομασία της αναλύει πολλαπλά κριτήρια που πρέπει να ληφθούν υπόψη προκειμένου να επιλεγεί η καταλληλότερη κατεύθυνση. Εφαρμόζεται δηλαδή σαν μέθοδος για να ληφθούν αποφάσεις. Τα πολλαπλά κριτήρια είναι αναμενόμενο να δημιουργούν περίπλοκα προβλήματα. Ένας τρόπος μελέτης περίπλοκων προβλημάτων είναι διαχωρίζοντάς τα, στις επιμέρους συνιστώσες τους. Έπειτα βάζοντας βάρη, σταθμίζοντας όλες τις παραμέτρους συναθροίζουμε όλη την πληροφορία για να συσταθεί το τελικό αποτέλεσμα.

#### 3.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

##### 3.1.1 Εναλλακτικές (alternatives)

Σε ένα πρόβλημα πολυκριτηριακής ανάλυσης, επιλέγεται η βέλτιστη λύση, εάν υπάρχει από ένα σύνολο εναλλακτικών επιλογών-αποφάσεων, που εξετάζονται από τον ερευνητή μέσω μιας σειράς κριτηρίων. Ο ερευνητής στη συνέχεια πρέπει να αξιολογήσει δεδομένες εναλλακτικές επιλογές, τις ιεραρχεί ή τις ταξινομεί με βάση τις επιδόσεις τους στα κριτήρια (διάφορες μετρικές), και σύμφωνα με τις προτιμήσεις του.



Σε πολλές περιπτώσεις το σύνολο λύσεων είναι άπειρο. Οπότε πρέπει να προσδιορισθούν οι επικρατέστερες λύσεις από το άπειρο σύνολο λύσεων. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται ορίζοντας ένα σύνολο περιορισμών και επιλέγοντας τελικά τις λύσεις που υπακούν σε αυτούς τους περιορισμούς, σύμφωνα με τις προτιμήσεις του εκάστοτε αξιολογητή.

### 3.1.2 Κριτήρια

Οι εναλλακτικές συγκρίνονται μέσω ενός συνόλου κριτηρίων. Ο καθορισμός των κριτηρίων είναι πολύ σημαντικός για τη διαδικασία, εφόσον είναι αυτά που θα καθορίσουν το τελικό αποτέλεσμα. Οι παράγοντες επιλογής των κριτηρίων είναι υποκειμενικοί σε ένα βαθμό και προκύπτουν μέσα από πειραματικές παρατηρήσεις. Απαραίτητη προϋπόθεση επιλογής κριτηρίων είναι να είναι λογικά και να καλύπτουν το πρόβλημα σφαιρικά

### 3.1.3 Πίνακας αξιολόγησης

Ο πίνακας αξιολόγησης κατασκευάζεται μετά τον προσδιορισμό των κριτηρίων και των εναλλακτικών. Περιέχει ποσοτικές και ποιοτικές τιμές κάθε εναλλακτικής ως προς κάθε κριτήριο.

### 3.1.4 Συντελεστές βαρύτητας

Ο συνδυασμός των επιδόσεων των εναλλακτικών για όλα τα κριτήρια αποτελεί προϋπόθεση για την επίλυση του προβλήματος. Ο αναλυτής προσδιορίζει τις βαρύτητες των κριτηρίων ανάλογα με τις προτιμήσεις του. Η βαρύτητα ( $w_i$ ) κάποιου κριτηρίου υποδηλώνει τον βαθμό κατά τον οποίο συμμετέχει αυτό το κριτήριο στη συνολική επίδοση μιας εναλλακτικής [9].

### 3.1.5 Βήματα

Τα βήματα που ακολουθούνται για τη λήψη μιας απόφασης με τη χρήση της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι τα παρακάτω:

#### **Βήμα 1ο:** Καθορισμός του προβλήματος

Πρέπει να γίνει σαφής ορισμός του προβλήματος.

#### **Βήμα 2ο:** Δόμηση του προβλήματος

Ορίζεται το εξωτερικό περιβάλλον του προβλήματος, οι ομάδες ενδιαφερομένων, οι εναλλακτικές επιλογές, οι περιορισμοί και καθορίζονται στόχοι.

#### **Βήμα 3ο:** Δημιουργία του μοντέλου απόφασης

Καθορίζονται τα κριτήρια που θα ληφθούν υπόψη και οι βαρύτητές τους. Οι εναλλακτικές επιλογές ορίζονται λεπτομερώς και ποσοτικοποιούνται.

#### **Βήμα 4ο:** Εφαρμογή του μοντέλου απόφασης

Σε αυτό το στάδιο συντίθενται όλες οι πληροφορίες και εξάγονται οι βαθμολογίες των εναλλακτικών επιλογών. Η εναλλακτική με τη μεγαλύτερη βαθμολογία προτείνεται ως λύση του προβλήματος. Γίνεται ανάλυση ευαισθησίας για να εντοπιστούν διαφορές στην απόφαση που θα λαμβανόταν εφόσον οι βαρύτητες των κριτηρίων ήταν διαφορετικές.

#### **Βήμα 5ο:** Ανάπτυξη σχεδίου δράσης

Στο τελευταίο στάδιο, αφ' ότου έχει επιλεγεί η βέλτιστη λύση με βάση τα κριτήρια που έχουν τεθεί, ο ενδιαφερόμενος υλοποιεί την απόφαση.

### **3.2 ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ**

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο τομέας της ενέργειας και ο σχεδιασμός αποφάσεων σε αυτόν τον τομέα επηρεάζονται από πλήθος παραγόντων, οι επιστημονικά τεκμηριωμένες μέθοδοι που είναι επαρκείς συνυπολογίζουν τη χρήση όλων αυτών των παραμέτρων σε μια σχετιζόμενη απόφαση. Πολλαπλά σύνολα δράσεων, με αλληλοσυγκρουόμενες απόψεις και κριτήρια που λαμβάνουν υπόψη, όπως κυβερνήσεις, τοπικές κοινωνίες, επενδυτές και πολλοί άλλοι επηρεάζουν τη διαδικασία λήψης μιας απόφασης στον τομέα της ενέργειας [10].

Με βάση τα παραπάνω, η πολυκριτήρια ανάλυση αποτελεί κατάλληλη μέθοδο για τη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με τον σχεδιασμό της ενεργειακής πολιτικής, η οποία υπόκειται σε αβεβαιότητα, πολύχρονο σχεδιασμό, υψηλές επενδύσεις και ενεργειακή αυτονομία για κάθε χώρα. Στο παρελθόν είχαν υιοθετηθεί απλές προσεγγίσεις, που λάμβαναν υπόψη την αποτελεσματικότητα ενός συστήματος σε σχέση με το κόστος του. Συγκεκριμένα στον τομέα της ενέργειας η λήψη αποφάσεων, έχει λάβει όχι μόνο περιβαλλοντικές αλλά και κοινωνικές προεκτάσεις. Αυτή η εξέλιξη καθιστά τη χρήση της πολυκριτήριας ανάλυσης αναγκαία.

### **3.3 ΟΙ ΚΥΡΙΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες πολυκριτήριες αναλύσεις είναι οι TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Situation) και AHP (Analytic Hierarchy Process).

### 3.3.1 AHP

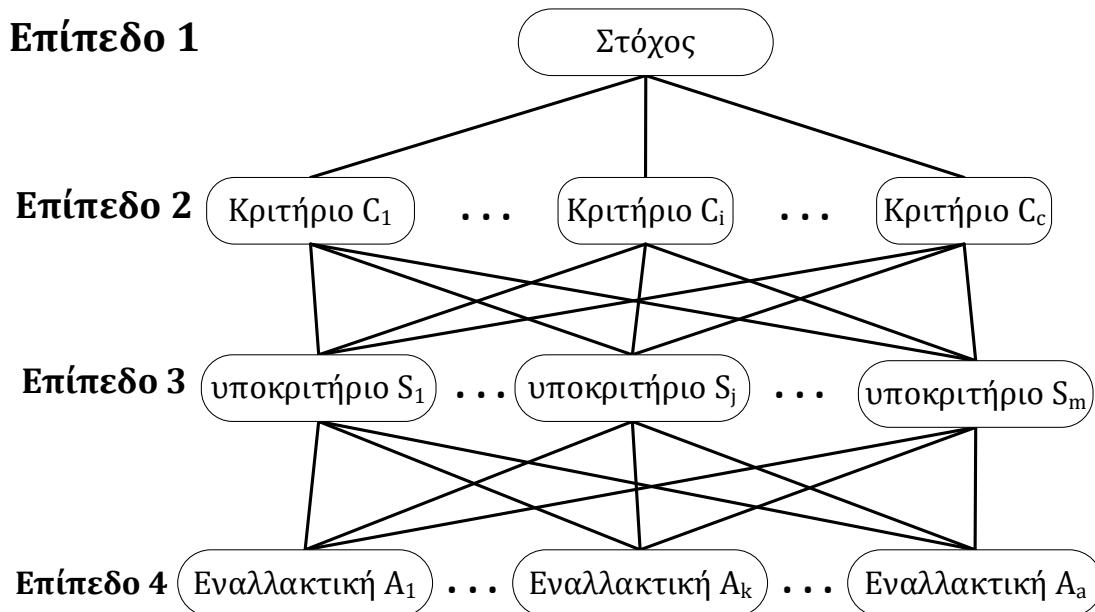
Η μέθοδος AHP αναπτύχθηκε το 1970 από τον Saaty [11] και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στη δόμηση και επίλυση προβλημάτων που περιλαμβάνουν πολλαπλά και μερικές φορές αντιτιθέμενα δεδομένα. Ο στόχος, εφαρμόζοντας την AHP είναι να προσδιοριστεί η καλύτερη εναλλακτική επιλογή και να καταταχθούν οι υπόλοιπες εναλλακτικές λαμβάνοντας υπόψη όλα τα κριτήρια που τις χαρακτηρίζουν.

Σκοπός είναι να οδηγηθούμε από το αρχικό δύσκολο πρόβλημα απόφασης, σε μικρότερα επιμέρους προβλήματα. Χαρακτηριστικό γνώρισμα της μεθόδου είναι η μαθηματική και λογική αιτιολόγηση για τη λήψη αποφάσεων. Δομείται το πρόβλημα σε μια ιεραρχία και η αποδόμησή του σε επί μέρους προβλήματα μειώνει την πολυπλοκότητά του.

Η μέθοδος AHP πραγματοποιείται σε τέσσερα βήματα:

#### **Βήμα 1. Δόμηση του προβλήματος σε μια ιεραρχική δομή**

Κάθε πρόβλημα λήψης απόφασης αποτελείται από συστατικά μέρη, τα οποία κάποιες φορές μπορεί να είναι εξαρτώμενα μεταξύ τους. Στο στάδιο αυτό δομείται η απόφαση σε ένα μοντέλο ιεράρχησης. Αυτό περιλαμβάνει την αποδόμηση του προβλήματος σε επιμέρους συστατικά ανάλογα με τα κοινά χαρακτηριστικά τους και τη δημιουργία ενός μοντέλου ιεράρχησης σε διαφορετικά επίπεδα φανερώνοντας τη σχέση μεταξύ του στόχου, των κριτηρίων ή υποκριτηρίων αν είναι αναγκαίο και των εναλλακτικών [10]. Στο σχήμα αναπαρίσταται μια ιεραρχία τριών επιπέδων.



Εικόνα 1. Ιεραρχικό μοντέλο στη μέθοδο AHP [12]

## Βήμα 2. Καθορισμός των βαρών των κριτηρίων

Στο δεύτερο στάδιο, εφόσον τα κριτήρια και οι εναλλακτικές επιλογές έχουν καθορισθεί, καθώς επίσης και οι σχέσεις μεταξύ τους, τα στοιχεία ενός επιπέδου συγκρίνονται κατά ζεύγη με ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό του αμέσως προηγούμενου επιπέδου. Κατασκευάζεται ένας πίνακας συγκρίσεων που περιλαμβάνει, αριθμητικά, τις επιδόσεις του κάθε κριτηρίου έναντι των υπολοίπων, με βάση την κρίση του αποφασίζοντος, όπως φαίνεται στον πίνακα συγκρίσεων  $S$ .

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & \cdots & s_{1c} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{c1} & \cdots & s_{cc} \end{bmatrix},$$

όπου  $c$  είναι το πλήθος των κριτηρίων.

Ο συμβολισμός  $s_{ij}$  υποδεικνύει πόσο σημαντικότερο είναι το κριτήριο  $i$  συγκριτικά με το  $j$ , είναι δηλαδή οι σχέσεις των κριτηρίων ανά ζεύγη (pairwise). Στο άρθρο του Saaty που πρωτοπαρουσιάστηκε η AHP [11], προτείνεται μια κλίμακα 1-9 ώστε να προσδιορίζονται οι σχετικές σημασίες των κριτηρίων, όπως δείχνει ο Πίνακας 1.

Πίνακας 1. Κλίμακα του Saaty για την σχετική σημασία.

Ένταση σχετικής σημασίας	Ορισμός	Εξήγηση
1	Ίση σχετική σημασία	Οι δύο παράγοντες συνεισφέρουν το ίδιο στο στόχο.
3	Μέτρια σχετική σημασία	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν ελαφρώς τον παράγοντα $i$ αντί του παράγοντα $j$
5	Ισχυρή σχετική σημασία	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν σθεναρά τον παράγοντα $i$ αντί του παράγοντα $j$
7	Πολύ ισχυρή ή εκδηλωμένη σχετική σημασία	Ο παράγοντας $i$ ευνοείται σθεναρά και η κυριαρχία του εκδηλώνεται στην πράξη
9	Μέγιστη σχετική σημασία	Οι ενδείξεις που ευνοούν τον παράγοντα $i$ αντί του παράγοντα $j$ είναι του υψηλότερου δυνατού βαθμού επιβεβαίωσης.
Αντίστροφοι των παραπάνω αριθμών	Αν σε ένα παράγοντα $i$ αντιστοιχίζεται ένας από τους παραπάνω αριθμούς, όταν αυτός συγκρίνεται με ένα παράγοντα $j$ , τότε ο παράγοντας $j$ έχει την αντίστροφη τιμή όταν συγκρίνεται με τον $i$ .	Ένα λογικό συμπέρασμα
Οι εντάσεις 2,4,6,8 μπορούν να εκφράσουν ενδιάμεσες τιμές.		

Κατασκευάζοντας τον πίνακα συγκρίσεων πρέπει να ακολουθήσουμε τους παρακάτω κανόνες:

1. Εάν  $s_{ij} = \alpha$ , τότε  $s_{ji} = \frac{1}{\alpha}$ , όπου  $\alpha \in \{3, 5, 7, 9, 2, 4, 6, 8\}$  τιμή της σχετική έντασης όπως περιγράφει ο Πίνακας 1.

- Εάν το κριτήριο  $i$  έχει ίση σημαντικότητα με το κριτήριο  $j$ , τότε  $s_{ij} = s_{ji} = 1$ , και  $s_{ii} = 1, \forall i \in \{1, \dots, c\}$ .
- Εάν οι συγκρίσεις έχουν τέλεια συνέπεια, τότε  $s_{ik} = s_{ij} = s_{jk} = 1, \forall i, j, k$

Για να υπολογιστούν τα βάρη των κριτηρίων,  $W = (W_1, W_2, W_3, \dots, W_c)$  από τον κατά ζεύγη πίνακα συγκρίσεων, ακολουθούμε δύο βήματα:

- Διαιρούμε κάθε ένα στοιχείο της στήλης  $i$  με το άθροισμα των στοιχείων της στήλης. Έτσι δημιουργούμε έναν νέο πίνακα, τον κανονικοποιημένο πίνακα, όπου το άθροισμα κάθε στήλης είναι ίσο με 1.
- Υπολογίζουμε το  $W_i$  ως μέσο όρο των στοιχείων που εισάγαμε στη στήλη  $i$  του κανονικοποιημένου πίνακα.

Εφόσον έχουμε κατασκευάσει τον πίνακα σύγκρισης των ζευγών, πρέπει να τον ελέγξουμε ως προς τη συνέπειά του. Μικρές ασυνέπειες είναι συνήθεις και δεν δημιουργούν σοβαρά προβλήματα. Ο έλεγχος συνέπειας γίνεται ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

- Υπολογίζουμε το  $A \cdot W^T$ , όπου το  $W$  συμβολίζει το διάνυσμα των βαρών από τον παραπάνω υπολογισμό, όσον αφορά στις βαρύτητες των κριτηρίων.
- Βρίσκουμε τη μεγαλύτερη ιδιοτιμή ( $\lambda_{\max}$ ):
- Βρίσκουμε τον δείκτη συνέπειας (CI):

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - c}{c - 1}$$

Όσο μικρότερος είναι ο δείκτης συνέπειας, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο βαθμός συνέπειας. Εάν ο δείκτης συνέπειας είναι επαρκώς μικρός, οι συγκρίσεις του λήπτη στις απόφασης είναι, προφανώς, αρκετά συνεπείς ώστε να δώσουν ασφαλή αποτελέσματα για τη βαρύτητα του κάθε κριτηρίου ξεχωριστά. Όσο ο δείκτης CI πλησιάζει την τιμή 0, τόσο πιο μεγάλη συνέπεια υπάρχει στις συγκρίσεις των κριτηρίων.

- Συγκρίνουμε τον δείκτη συνέπειας με έναν αυθαίρετο πίνακα συγκρίσεων, του οποίου τα δεδομένα επιλέγονται τυχαία.

Πίνακας 2. Τυχαίος δείκτης RI για διαφορετικές τιμές του  $c$  [13].

Μέγεθος πίνακα	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,058	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Το  $c$  συμβολίζει τη διάσταση ενός συγκεκριμένου πίνακα συγκρίσεων και το RI τον τυχαίο δείκτη που υπολογίζεται από τον μέσο όρο του CI για ένα μεγάλο δείγμα τυχαίων πινάκων σύγκρισης. Ο λόγος συνέπειας, συνεπώς, καθορίζεται ως:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Αν ο λόγος συνέπειας  $CR < 0,10$  ο βαθμός συνέπειας είναι ικανοποιητικός, αλλά αν  $CR > 0,10$ , τότε ο πίνακας θεωρείται ασυνεπής και οι ασυνέπειες πρέπει να διορθωθούν, διότι η μέθοδος AHP δε θα δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα.

### ***Βήμα 3. Βρίσκουμε την επίδοση της κάθε εναλλακτικής για κάθε κριτήριο***

Βρίσκουμε, τώρα, πόσο καλά κάθε εναλλακτική ικανοποιεί κάθε κριτήριο. Για να υπολογίσουμε αυτές τις επιδόσεις κατασκευάζουμε έναν πίνακα σύγκρισης κάθε κριτηρίου. Οι γραμμές και οι στήλες αυτού του πίνακα απεικονίζουν τις πιθανές αποφάσεις του ερευνητή.

### ***Βήμα 4. Λαμβάνουμε την τελική επίδοση της κάθε εναλλακτικής***

Συνθέτουμε τις βαρύτητες των επιλογών με τις επιδόσεις κάθε εναλλακτικής κάθε κριτηρίου για να παράξουμε την τελική επίδοση της κάθε εναλλακτικής [10].

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η μέθοδος αντιμετωπίζει το πρόβλημα της κατανομής των βαρών σε ένα σύνολο από δραστηριότητες, σύμφωνα με το βαθμό σημαντικότητάς τους. Ο καθορισμός της βαρύτητας για κάθε κριτήριο εκφράζει τη σημαντικότητα του κάθε κριτηρίου στην τελική επιλογή, σταθμίζει την επιμέρους βαθμολογία κάθε επιλογής στο εν λόγω κριτήριο και ρυθμίζει την επίδρασή της στην τελική βαθμολογία που θα οδηγήσει στην προτεινόμενη επιλογή.

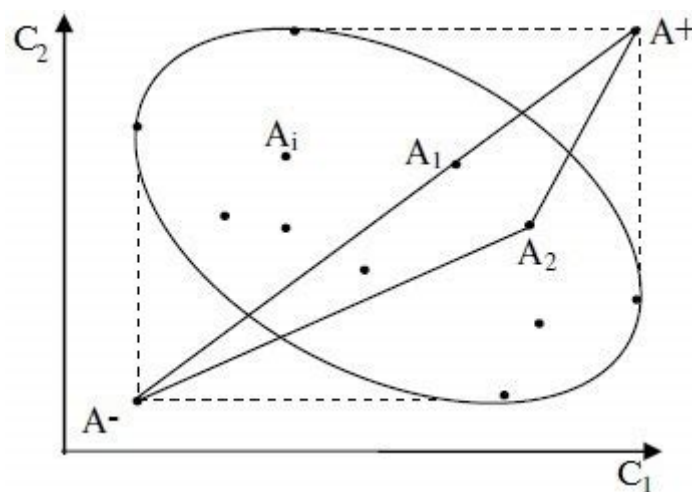
Όμως, οι βαρύτητες των κριτηρίων ορίζονται πριν οριστεί η κλίμακα μέτρησης για τα κριτήρια, με αποτέλεσμα ο υπεύθυνος για τη λήψη αποφάσεων να αναγκάζεται να πραγματοποιεί δηλώσεις περί της σχετικής σημαντικότητας των επιλογών χωρίς να ξέρει τι συγκρίνεται. Έτσι λοιπόν, για τον υπολογισμό των βαρών, θέτονται στον αποφασίζοντα ορισμένες ερωτήσεις, για την σημαντικότητα των κριτηρίων μεταξύ τους (πόσο σημαντικό είναι ένα κριτήριο σε σχέση με κάποιο άλλο), που στόχο έχουν ο αποφασίζων να λάβει την καλύτερη δυνατή απόφαση.

Συμπερασματικά, μπορεί να αναφερθεί ότι μία αδυναμία της μεθόδου είναι η αβεβαιότητα στις κρίσεις των ειδικών και των εμπλεκόμενων φορέων, προκειμένου να ορίσουν την προτίμησή τους, ανάμεσα σε δύο κριτήρια, με απόλυτη αριθμητική τιμή. Αυτό στην πράξη δεν είναι εύκολο να εκφραστεί με σαφήνεια και ακρίβεια από τους ειδικούς. Οπότε θα χρειαζόταν να οριστεί μια κοινή βάση για ένα γλωσσικό κριτήριο

(Πολύ, Λίγο, Καθόλου) πάνω στο οποίο θα έπρεπε επίσης να συμφωνήσουν οι ειδικοί για τις σχέσεις μεταξύ των κριτηρίων.

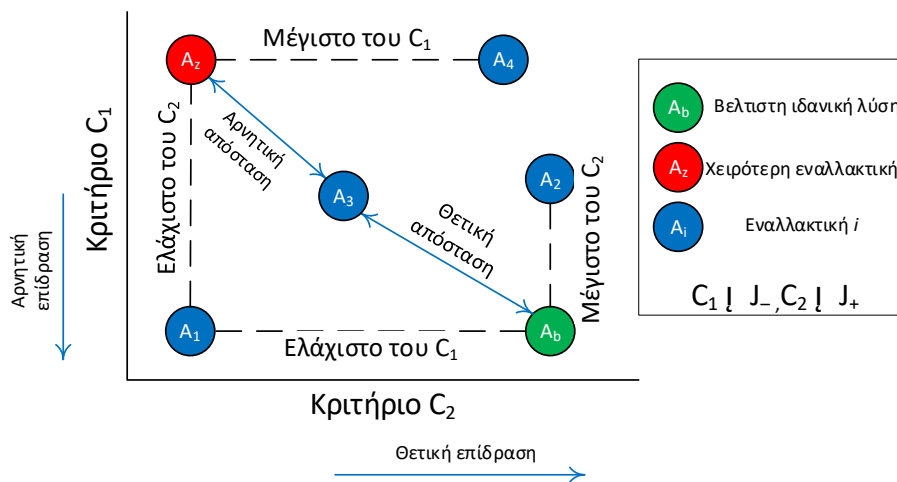
### 3.3.2 TOPSIS

Η TOPSIS πρωτοαναπτύχθηκε το 1981, από τους Yoon και Hwang [14], και είναι μια μέθοδος πολυκριτήριας λήψης αποφάσεων που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση και ταξινόμηση εναλλακτικών επιλογών βάσει πολλαπλών κριτηρίων. Χρησιμοποιείται συχνά στον τομέα της ενεργειακής απόδοσης για τη σύγκριση της απόδοσης διαφορετικών εναλλακτικών. Η βασική της ιδέα, (βλ. Διάγραμμα 1), είναι ότι η εναλλακτική που θα επιλεγεί πρέπει να βρίσκεται όσο πιο κοντά γίνεται στην ιδανική λύση και όσο πιο μακριά από την αντίθετη αρνητική λύση) [15].



Διάγραμμα 1. Βασική ιδέα της μεθόδου TOPSIS: (A<sup>+</sup>: ιδανικό σημείο, A<sup>-</sup>: Αντίθετο (αρνητικό) ιδανικό σημείο)

Λαμβάνει υπόψη την απόσταση που χωρίζει την κάθε εναλλακτική επιλογή από την ιδεατή. Όσο μικρότερη είναι αυτή η απόσταση, τόσο καλύτερη είναι και η εναλλακτική. Αυτός είναι και ο τρόπος για να ορίσουμε την κυριαρχία μιας έναντι κάποιας άλλης [16]. Η καλύτερη επιλογή έχει την μικρότερη απόσταση από την ιδεατή και τη μεγαλύτερη απόσταση από τη χειρότερη.



Διάγραμμα 2. Γραφική αναπαράσταση της πολυκριτήριας μεθόδου TOPSIS με δύο κριτήρια (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>). [17]

Στο πλαίσιο της χάραξης ενεργειακής στρατηγικής, η TOPSIS επιτρέπει την αξιολόγηση διάφορων παραγόντων ή δεικτών που συνδέονται με την ενεργειακή απόδοση, όπως η κατανάλωση ενέργειας, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ενεργειακή ένταση, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και οι ενεργειακές πολιτικές. Η μέθοδος βοηθά τους λήπτες αποφάσεων να εντοπίσουν τις πιο κατάλληλες επιλογές ή χώρες που επιτυγχάνουν έναν ισορροπημένο συνδυασμό αυτών των παραγόντων.

Η μέθοδος TOPSIS περιλαμβάνει τα εξής στάδια και βήματα:

1. **Επιλογή Κριτηρίων:** Καθορισμός των σχετικών κριτηρίων για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης. Αυτά τα κριτήρια πρέπει να είναι μετρήσιμα, αντιπροσωπευτικά της απόδοσης της ενέργειας και αρμόζουν στους στόχους της ανάλυσης.
2. **Συλλογή Δεδομένων:** Συλλογή δεδομένων για κάθε εναλλακτική. Τα δεδομένα μπορούν να αποκτηθούν από διάφορες πηγές, όπως στατιστικές αναφορές, βάσεις δεδομένων ενέργειας ή απόψεις εμπειρογνομόνων.
3. **Κανονικοποίηση των Δεδομένων:** Κανονικοποίηση των δεδομένων για να εξασφαλισθεί ότι όλα τα κριτήρια βρίσκονται σε παρόμοια κλίμακα μέτρησης. Αυτό το βήμα είναι απαραίτητο επειδή τα κριτήρια μπορεί να έχουν διαφορετικές μονάδες μέτρησης. Η κανονικοποίηση μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας μεθόδους όπως η κανονικοποίηση *min-max* ή η κανονικοποίηση *z-score*. Έτσι κατασκευάζεται ένας πίνακας απόφασης με  $a$  εναλλακτικές και  $c$  κριτήρια. Η κανονικοποιημένη τιμή  $n_{ij}$  υπολογίζεται ως εξής.

:



$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^a x_{kj}^2}}, j = 1, 2, \dots, c, i = 1, 2, \dots, a$$

όπου  $x_{ij}$  είναι η τιμή της συνάρτησης του κριτηρίου  $j$  για την εναλλακτική  $i$ , όπου  $j = 1, \dots, c$  και  $i = 1, \dots, a$ .

4. **Ανάθεση Συντελεστών Βαρύτητας:** Ανάθεση βαρών σε κάθε κριτήριο για να αντικατοπτρίζουν τη σημασία τους στην ανάλυση. Τα βάρη μπορούν να αναθέτονται με βάση τη συμβολή κάθε κριτηρίου στην επίτευξη των στόχων. Έτσι υπολογίζεται ο πίνακας κανονικοποιημένων βαρών. Η σταθμισμένη κανονικοποιημένη τιμή  $y_{ij}$  υπολογίζεται ως εξής:

$$y_{ij} = \frac{r_{ij}W_j}{\sum_{k=1}^c W_k}, j = 1, 2, \dots, c, i = 1, 2, \dots, a$$

όπου  $W_j$  είναι η βαρύτητα του κριτηρίου  $j$ .

5. **Υπολογισμός Θετικής και Αρνητικής Ιδανικής Λύσης:** Υπολογισμός της βέλτιστης και της χειρότερης εναλλακτικής που προκύπτει αντίστοιχα από τον συνδυασμό των καλύτερων και των χειρότερων επιδόσεων όλων των εναλλακτικών για κάθε κριτήριο. Η λύση που είναι πιο κοντά στην ιδανική λύση και πιο μακριά από την αρνητική – ιδανική λύση, επιλέγεται ως βέλτιστη. Π.χ. όταν πρόκειται για κριτήριο οφέλους, τότε ο αποφασίζων θέλει να επιτύχει τις μέγιστες τιμές από τις εναλλακτικές και όταν πρόκειται για κριτήρια κόστους, θέλει τις ελάχιστες. Έτσι, οι ιδανικές λύσεις  $A^+$  και οι αρνητικές-ιδανικές λύσεις  $A^-$  θα είναι:

$$A^+ = \{ \max (y_{ij}: j \in J_-), \min (y_{ij}: j \in J_+) \} \triangleq \{y_{bj}: j = 1, 2, \dots, c\}, i = 1, 2, \dots, a$$

$$A^- = \{ \min (y_{ij}: j \in J_-), \max (y_{ij}: j \in J_+) \} \triangleq \{y_{zj}: j = 1, 2, \dots, c\}, i = 1, 2, \dots, a$$

όπου το  $J_+$  το σύνολο των κριτηρίων κέρδους και το  $J_-$  το σύνολο των κριτηρίων κόστους.

6. **Υπολογισμός Θετικής και Αρνητικής Απόστασης:** Υπολογισμός της θετικής απόστασης και της αρνητικής απόστασης από την ιδανική λύση για κάθε εναλλακτική. Η θετική απόσταση αναφέρεται στην ευκολία με την οποία η εναλλακτική επιλογή πλησιάζει την ιδανική λύση, ενώ η αρνητική απόσταση αναφέρεται στο πόσο μακριά βρίσκεται η εναλλακτική από την ιδανική λύση. Η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ κάθε λύσης και της ιδανικής και αρνητικής-ιδανικής λύσης ορίζεται αντίστοιχα ως:

$$d_{ib} = \sqrt{\sum_{j=1}^c (y_{ij} - y_{bj})^2}, i = 1, 2, \dots, a$$

$$d_{iz} = \sqrt{\sum_{j=1}^c (y_{ij} - y_{zj})^2}, i = 1, 2, \dots, a$$

7. **Υπολογισμός Συνολικής Εγγύτητας:** Υπολογισμός της συνολικής εγγύτητας για κάθε εναλλακτική μέσω ενός συνδυασμού της θετικής και αρνητικής απόστασης. Η εναλλακτική με τη μεγαλύτερη συνολική εγγύτητα θεωρείται η καλύτερη επιλογή. Η συνολική εγγύτητα της εναλλακτικής  $A_i$  σε σχέση με το  $A^+$  δίνεται από τη σχέση:

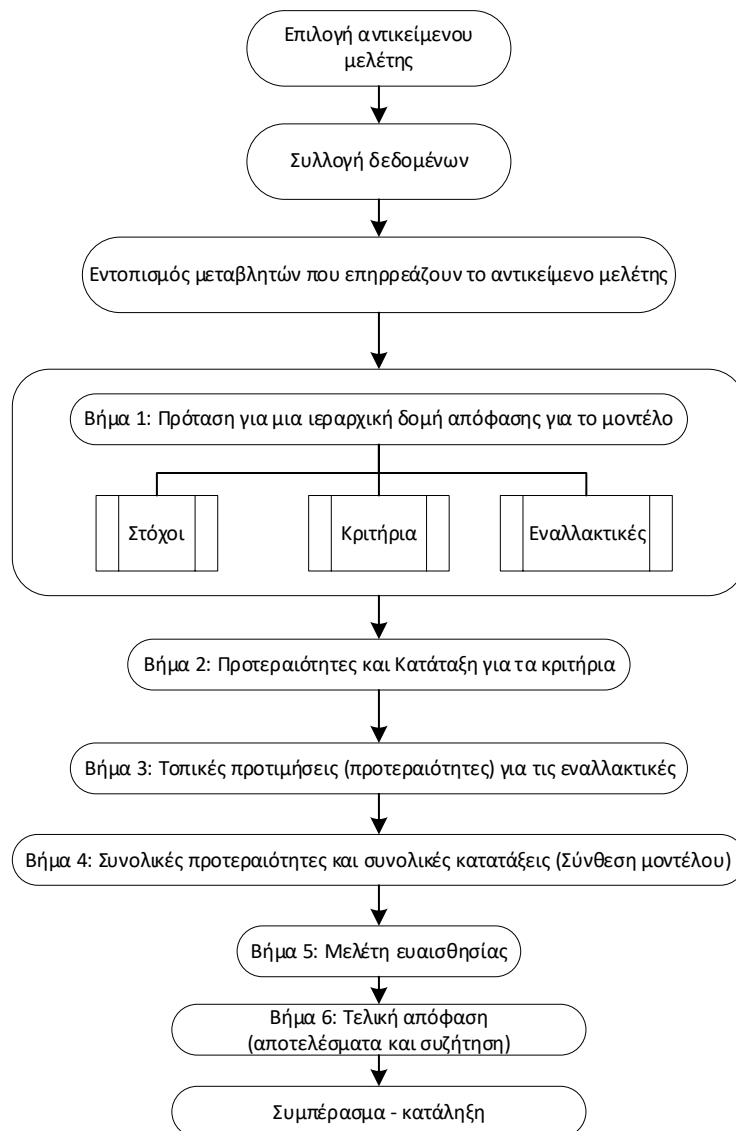
$$s_{iz} = \frac{d_{iz}}{d_{ib} + d_{iz}}, i = 1, 2, \dots, a$$

8. **Κατάταξη:** Η κατάταξη των εναλλακτικών γίνεται σύμφωνα με την συνολική εγγύτητα της κάθε εναλλακτικής στην ιδεατή λύση. Οι εναλλακτικές που έχουν υψηλότερη συνολική εγγύτητα θα ταξινομηθούν ως προτιμότερες. Η λύση είναι η εναλλακτική που έχει την μικρότερη απόσταση από την θετική ιδεατή και ταυτόχρονα εξασφαλίζεται ότι θα έχει και τη μεγαλύτερη απόσταση από την αρνητική-ιδανική λύση [10].

Η μέθοδος TOPSIS είναι μια χρήσιμη τεχνική για την ανάλυση και σύγκριση πολλών κριτηρίων, καθώς και της ενεργειακής συμπεριφοράς διαφορετικών χωρών ή περιοχών. Με τη χρήση αυτής της μεθόδου, είναι δυνατό να εντοπιστούν οι πιο αποτελεσματικές εναλλακτικές και να ληφθούν αποφάσεις που θα βοηθήσουν στην προώθηση της ενεργειακής απόδοσης και της βιωσιμότητας.

## 4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Μια αρκετά διαδεδομένη γενική προσέγγιση στην πολυκριτήρια ανάλυση παρουσιάζεται σε βήματα στην Εικόνα 2 και είναι μια μεθοδολογία που μπορεί να ακολουθηθεί και από τους λήπτες αποφάσεων, στελέχη και συμβούλους ενεργειακών επιχειρήσεων σε δημόσιους ή ιδιωτικούς οργανισμούς και ιδρύματα.



Εικόνα 2. Ροή και βήματα προτεινόμενης μεθοδολογίας

Η κύρια συλλογή δεδομένων έγινε από τα ΕΣΕΚ [1] για τα 27 κράτη-μέλη, στη συνέχεια έγινε μετατροπή όλων των μεγεθών σε μια κοινή μορφή ώστε να είναι συμβατά και αξιοποιήσιμα. Ακολούθησε αλλαγή μονάδων και τέλος έγινε απόρριψη μη σχετικών ή εσφαλμένων καταχωρήσεων. Επί των δεδομένων έγιναν οι ακόλουθες πράξεις για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης, την αποτελεσματικότητα δηλαδή κάθε χώρας να μετατρέψει την πρωτογενή σε τελική ενέργεια.

$$\text{Energy Efficiency (\%)} = \frac{\text{Final energy consumption (Mtoe)}}{\text{Primary energy consumption (Mtoe)}} \cdot 100\%$$

Πίνακας 3. Πρωτογενή και τελική κατανάλωση ενέργειας σε Mtoe και ενεργειακή απόδοση (%) για το έτος 2030 ανά χώρα της Ευρώπης.

Country	Final energy consumption (Mtoe)	Primary energy consumption (Mtoe)	Energy Efficiency (%)
Austria	25,6	30,8	83%
Belgium	35,2	42,7	82%
Bulgaria	10,3	17,5	59%
Croatia	6,85	8,23	83%
Cyprus	2	2,4	83%
Czechia	23,65	41,43	57%
Denmark	15,8	18,3	86%
Estonia	2,9	5,4	54%
Finland	24,9	34,8	72%
France	120,9	202,2	60%
Germany	185	216	86%
Greece	16,51	20,55	80%
Ireland	11,2	13,7	82%
Italy	103,8	125,1	83%
Latvia	3,6	4,1	88%
Lithuania	4,5	5,5	82%
Malta	0,8	1,1	73%
Netherlands	43,9	46,6	94%
Poland	67,1	91,3	73%
Portugal	14,9	21,5	69%
Romania	25,7	32,3	80%
Slovakia	10,3	15,7	66%
Slovenia	4,7	6,4	73%
Spain	73,6	98,5	75%
Sweden	29,7	40,2	74%

Όπως είναι κατανοητό δεν έχουν όλα τα κράτη μέλη την ίδια συνεισφορά στις εκπομπές tCO<sub>2</sub>eq, ούτε την ίδια παραγωγικότητα ανά εκπεμπόμενο tCO<sub>2</sub>eq, ακόμα και μέσα στην ίδια χώρα η αποδοτικότητα αυτή μεταβάλλεται ανά τομέα παραγωγής και φυσικά εξαρτάται έντονα από την μετρούμενη ποσότητα (συνεισφορά στο ΑΕΠ, στις θέσεις εργασίας, στις εξαγωγές) και τέλος είναι μερικώς υποκειμενική υπόθεση η ανακήρυξη ενός κλάδου πιο σημαντικού σε σχέση με κάποιο άλλο. Από την άλλη η μέτρηση των επιπτώσεων από τη μη συμμόρφωση στους στόχους και στα μέτρα είναι εξίσου δύσκολη υπόθεση, μιας και ανάλογα με τον φορέα αυτή αλλάζει, και πολλές φορές δεν μπορεί να μετρηθεί παρά μόνο να εκτιμηθεί και να προσεγγιστεί με προβλέψεις (επιπτώσεις στην δημόσια υγεία, επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, στην ίδια την παραγωγή). Επίσης χωρίζονται στις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις και στις βραχυπρόθεσμες, καθώς και σε κλίμακα χώρας ή στο σύνολο των χωρών της ΕΕ.

Επίσης, αυτές οι επιπτώσεις δεν κατανέμονται το ίδιο σε κάθε κλάδο, κλιματική ή γεωγραφική περιοχή (Βορράς-Νότος, Ατλαντικός-Βαλτική-Μεσόγειος, παραθαλάσσιες, παραποτάμιες περιοχές ή ενδοχώρα, ορεινές ή πεδινές περιοχές). Αλλά όλα αυτά ξεφεύγουν από το πλαίσιο αυτής της διπλωματικής και μπορούν να αναζητηθούν στις ακόλουθες μελέτες ([18], [19], [20]).

Έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες πρωτογενείς πηγές, συμβατές με τα ΕΣΕΚ και με τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε μεθοδολογία. Ακόμα και αν πολλές φορές έχουμε αποτελέσματα για τα ίδια τελικά μεγέθη, η διαδρομή που ακολουθήθηκε για να φτάσουμε εκεί διαφοροποιείται τόσο πολύ που σε πολλές περιπτώσεις κάνει ακόμη και τα δεδομένα εισόδου στην μέθοδό μας μη συγκρίσιμα.

Όπως έχει αναφερθεί, στις αποφάσεις για τον ενεργειακό σχεδιασμό είναι απόλυτα ταιριαστή η χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης. Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί πολλές πολυκριτήριες μέθοδοι για τη λήψη αποφάσεων. Φυσικά, δεν μπορεί να υπάρχει η απολύτως κατάλληλη μέθοδος για κάποιο πρόβλημα που απαιτείται λήψη μιας απόφασης.

Η επιλογή της πολυκριτηριακής μεθόδου είναι ένα πολυκριτηριακό πρόβλημα. Κάθε μέθοδος έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Διαφορετικοί λήπτες αποφάσεων μπορεί πάντα να διαφωνούν για το ποια είναι η κατάλληλη μέθοδος. Κάθε κατηγορία πολυκριτήριων αναλύσεων έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, δεν ήταν δυνατόν και εύκολο να βρεθεί ένας αποφασίζων ειδικός στο θέμα αυτό (σύμβουλος, στέλεχος, αξιωματούχος της ΕΕ ή οργανισμού ή ενεργειακής επιχείρησης), ο οποίος θα μας έδινε τους συντελεστές που χρειάζονται για να εφαρμοστεί η μέθοδος ΑΗΡ. Έτσι, στην παρούσα εργασία, αναφέρεται μόνο η περιγραφή της μεθόδου και όχι η εφαρμογή της.

Συμπερασματικά μπορεί να αναφερθεί ότι ο παραπάνω λόγος, έδρασε ανασταλτικά, με αποτέλεσμα να δοθεί μόνο η περιγραφή αυτής της μεθόδου, με σκοπό να γνωρίσει ο αναγνώστης τα κύρια χαρακτηριστικά μιας επιπλέον, ευρέως χρησιμοποιούμενης πολυκριτηριακής ανάλυσης.

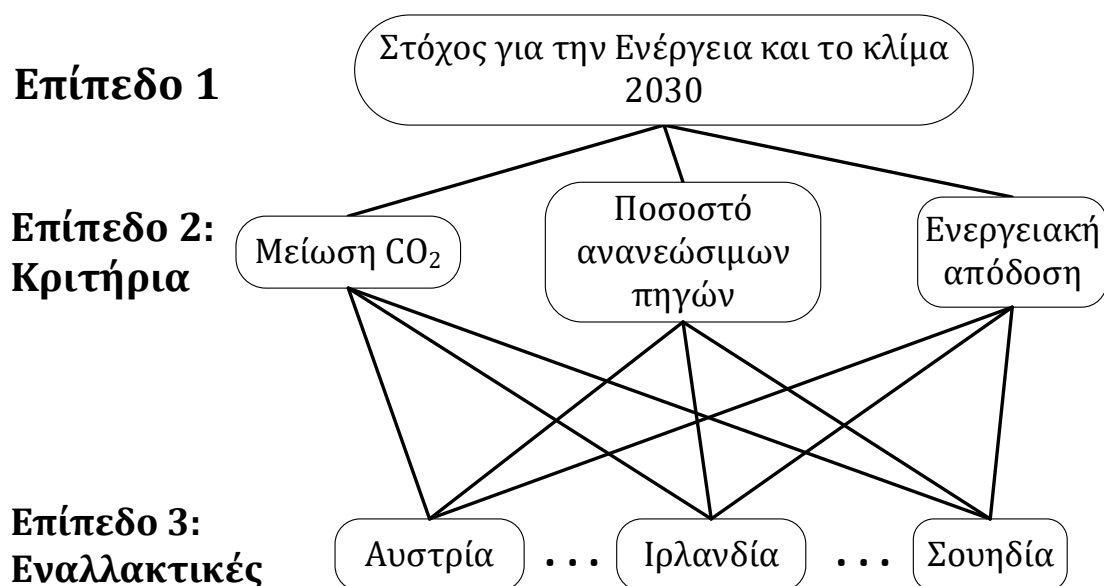
Οι μέθοδοι που στηρίζονται στη σχέση υπεροχής, με κύριες τις ELECTRE και PROMETHEE έχουν ως κύριο πλεονέκτημα το ότι λαμβάνουν υπόψη τυχόν διστακτικότητα του αποφασίζοντος όσον αφορά την υπεροχή ενός κριτηρίου έναντι ενός άλλου [21].

Η Θεωρία Χρησιμότητας επεξεργάζεται ποιοτικούς παράγοντες, όπως και ποσοτικούς. Τα πλεονεκτήματα της ΑΗΡ είναι ότι είναι απλή στην εφαρμογή και ότι μπορεί να

επεξεργαστεί ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα. Το μειονέκτημά της είναι ότι γίνεται πολύ χρονοβόρα ως διαδικασία όταν τα κριτήρια για την επιλογή είναι πολλά [21].

Η επιλογή, συνεπώς εξαρτάται πάντα από τις προτιμήσεις των ενδιαφερομένων ή των αναλυτών. Είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη η εφαρμοστικότητα, η εγκυρότητα και η ευκολία στη χρήση της μεθόδου. Είναι σημαντικό να γίνει αντιληπτό ότι η χρήση διαφορετικών μεθόδων μπορεί να αποφέρει διαφορετικά αποτελέσματα. Αυτό, φυσικά, δε σημαίνει ότι κάτι λειτουργεί με λανθασμένο τρόπο σε κάποια μέθοδο, αλλά ότι οι διάφορες μέθοδοι εφαρμόζουν διαφορετική διαδικασία [21].

Στην παρούσα μελέτη, για την αξιολόγηση των επιπτώσεων θα χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο του TOPSIS. Η μέθοδος TOPSIS είναι μια πολυκριτήρια μέθοδος που βασίζεται στον υπολογισμό της απόστασης κάθε εναλλακτικής λύσης από την ιδανική λύση. Κατά τη χρήση της μεθόδου TOPSIS, οι εναλλακτικές λύσεις ταξινομούνται βάσει της απόστασής τους από την ιδανική λύση, που ορίζεται ως η λύση που έχει την καλύτερη απόδοση σε όλα τα κριτήρια. Η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη τόσο την προσέγγιση της επιθυμητής λύσης όσο και την απόσταση από τη μη επιθυμητή λύση, που είναι η λύση που έχει τη χειρότερη απόδοση σε όλα τα κριτήρια.

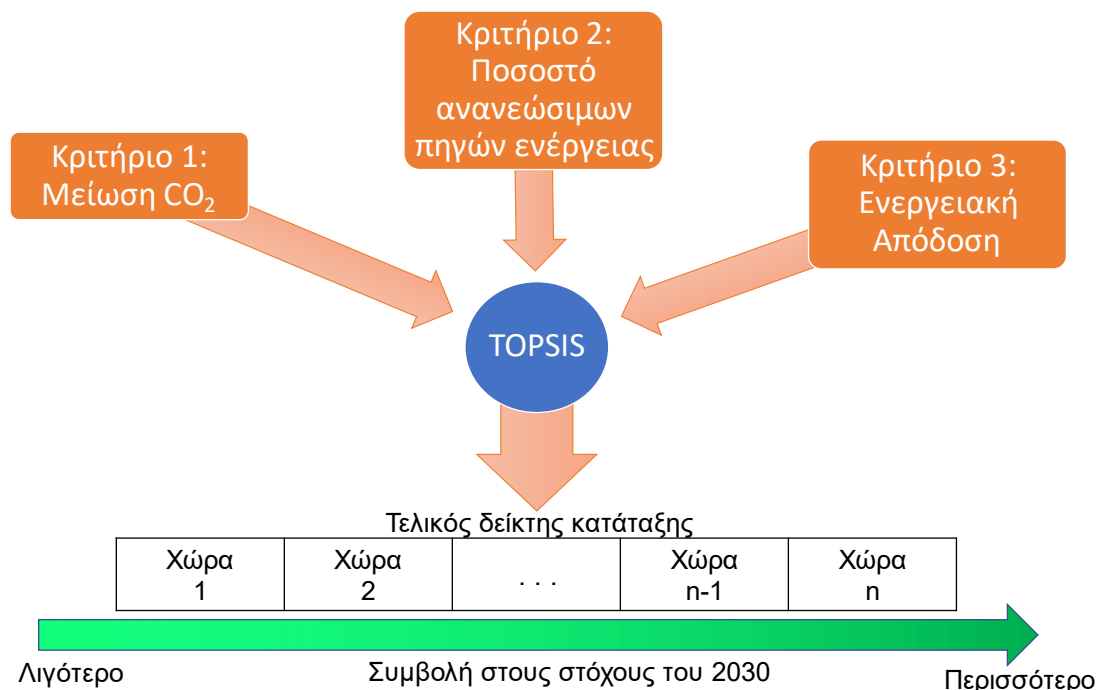


Εικόνα 3. Σχέση στόχων-κριτηρίων-εναλλακτικών

Επιλέχθηκαν κριτήρια, τέτοια ώστε να απεικονίζουν σφαιρικά, όσο το δυνατόν, τους στόχους των ΕΣΕΚ, δηλαδή κριτήρια οικονομικά, περιβαλλοντικά, ενεργειακά, σχετικά με την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, την ενεργειακή απόδοση και την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επίσης, επιλέχθηκε κάθε κριτήριο ώστε να είναι αντιπροσωπευτικό του στόχου και να μην επικαλύπτεται με τα άλλα κριτήρια. Στην Εικόνα 4 παρουσιάζεται σχηματικά η διαδικασία που θα ακολουθήσουμε για να

κατατάξουμε τις Χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης με βάση την συμβολή τους στους στόχους που τέθηκαν από τα ΕΣΕΚ για το έτος 2030. Φαίνονται τα τρία κριτήρια, (1) Μείωση CO<sub>2</sub>, (2) Ενεργειακή απόδοση, (3) Ποσοστό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που επιλέχθηκαν σαν είσοδο στην μέθοδο και τα αποτελέσματα που θα λάβουμε σαν έξοδο, την κατάταξη δηλαδή χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης με βάση την συμβολή τους στους στόχους των ΕΣΕΚ για το έτος 2030.

Η επιλογή της μεθόδου TOPSIS για την αξιολόγηση των μέτρων των Εθνικών Σχεδίων Ενέργειας και Κλίματος είναι επιλογή στρατηγικής λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει. Καταρχήν, η μέθοδος TOPSIS είναι αρκετά ευέλικτη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογηθούν πολλά κριτήρια ταυτόχρονα, καθιστώντάς την ιδανική για μια πολυκριτηριακή αξιολόγηση. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι η αδυναμία της να χειριστεί πάρα πολλά κριτήρια, αλλά επίσης πλεονέκτημά της είναι ότι μπορεί να αναλύσει ταυτόχρονα πολλές εναλλακτικές λύσεις. Και τα δύο αυτά στοιχεία την καθιστούν ιδανική για την ανάλυση στην παρούσα εργασία.



Εικόνα 4. Σχηματική παρουσίαση της εφαρμογής της μεθόδου TOPSIS για την κατάταξη των Χωρών της Ευρώπης με βάση τα κριτήρια (Μείωση CO<sub>2</sub>, Ενεργειακή απόδοση, Ποσοστό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) [22]

Επιπλέον, η μέθοδος TOPSIS προσφέρει σαφήνεια και ευκολία στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Με τη χρήση της μεθόδου TOPSIS, μπορούμε να εξάγουμε ένα συμπέρασμα για την απόδοση κάθε εναλλακτικής λύσης σε σχέση με την ιδανική λύση

και τη μη επιθυμητή λύση. Αυτό μας επιτρέπει να κατανοήσουμε ποιες εναλλακτικές λύσεις είναι πιο προτιμητέες και ποιες πρέπει να απορριφθούν.

Ένας ακόμα λόγος που επιλέχθηκε η μέθοδος TOPSIS είναι η ικανότητά της να παρέχει μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των μέτρων. Η μέθοδος λαμβάνει υπόψη την απόδοση σε όλα τα κριτήρια και δίνει έναν συνολικό βαθμό για κάθε εναλλακτική λύση. Αυτό μας επιτρέπει να πάρουμε μια πλήρη εικόνα της απόδοσης των μέτρων και να κατανοήσουμε ποια είναι η πιο αποτελεσματική λύση.

Τέλος, η μέθοδος TOPSIS έχει ευρεία αναγνώριση και εφαρμογή στην επιστημονική και επιχειρηματική κοινότητα. Έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένης της ενεργειακής αξιολόγησης και της κλιματικής ανάλυσης. Η ευρεία αποδοχή και χρήση της μεθόδου μας επιτρέπει να εμπιστευόμαστε την αξιοπιστία και την ακρίβειά της στην αξιολόγηση των πολυκριτηριακών προβλημάτων. Αυτό μας επιτρέπει να αποκτήσουμε αξιόπιστα αποτελέσματα και να προτείνουμε βέλτιστες λύσεις με βάση τα επιλεγμένα κριτήρια.

Ως εκ τούτου, η μέθοδος TOPSIS είναι κατάλληλη για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των πολιτικών των Εθνικών Σχεδίων Ενέργειας και Κλίματος. Με τη χρήση της μεθόδου TOPSIS, μπορούμε να εξετάσουμε ποια μέτρα είναι πιο αποτελεσματικά και συνεισφέρουν περισσότερο στην επίτευξη των στόχων της ΕΕ για την Ενέργεια και το Κλίμα. Τα επιλεγμένα κριτήρια θα καθορίσουν την αξιολόγηση των μέτρων, ανάλογα με τον συντελεστή βαρύτητας που έχει θεωρηθεί για την μείωση των εκπομπών ή την ενεργειακή απόδοση ή την συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εναλλακτικά, μπορούν επίσης να συμπεριλάβουν οικονομικά, κοινωνικά και άλλα κριτήρια που είναι σημαντικά για την επίτευξη μιας ολοκληρωμένης και βιώσιμης πολιτικής για την Ενέργεια και το Κλίμα.

Πρώτο βήμα της μεθόδου είναι η κατάρτιση του πίνακα αξιολόγησης των εναλλακτικών προτάσεων. Κάθε ΕΣΕΚ είναι και μία εναλλακτική πρόταση. Θεωρείται δηλαδή ότι κάθε χώρα προτείνει μια εναλλακτική λύση, ένα σύνολο μέτρων ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι της ευρωπαϊκής πολιτικής για το Κλίμα και την Ενέργεια. Άρα έχουμε  $c = 3$  διαφορετικά κριτήρια και  $a = 25$  εναλλακτικές να αξιολογήσουμε. Δηλαδή αν ο Πίνακας 4 έχει  $j = 1, 2, \dots, c$  στήλες του και  $i = 1, 2, \dots, a$  γραμμές, τότε  $x_{ij}$  είναι η τιμή του κριτηρίου  $j$  για την εναλλακτική  $i$ .

Μια παρατήρηση σχετικά με τον πίνακα αξιολόγησης είναι ότι δύο χώρες εξαιρέθηκαν από την ανάλυση, διότι δεν υπήρχαν στοιχεία για την πρωτογενή τους κατανάλωση ενέργειας για το έτος 2030, η Ουγγαρία και το Λουξεμβούργο. Αυτό δεν μεταβάλλει πολύ



την ανάλυση λόγω του μικρού μεγέθους τους συγκρινόμενες με το σύνολο των υπολοίπων χωρών.

Πίνακας 4. Πίνακας Αξιολόγησης, που περιέχει τα επιλεγμένα κριτήρια: το ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας, την ποσοστιαία μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> σε σχέση με το 2005 και την ενεργειακή απόδοση.

Country	CO <sub>2</sub> Change (%)	Renewable share (%)	Energy Efficiency (%)
Austria	-36	50	83%
Belgium	-35	17,5	82%
Bulgaria	0	27,09	59%
Croatia	-7	36,4	83%
Cyprus	-24	22,9	83%
Czechia	-14	22	57%
Denmark	-39	55	86%
Estonia	-13	42	54%
Finland	-39	51	72%
France	-37	33	60%
Germany	-38	30	86%
Greece	-16	35	80%
Ireland	-30	34,1	82%
Italy	-33	30	83%
Latvia	-6	50	88%
Lithuania	-9	45	82%
Malta	-19	11,5	73%
Netherlands	-36	27	94%
Poland	-7	23	73%
Portugal	-17	47	69%
Romania	-2	30,7	80%
Slovakia	-12	19,2	66%
Slovenia	-15	27	73%
Spain	-26	42	75%
Sweden	-40	65	74%

Δεύτερο βήμα είναι η κανονικοποίηση του πίνακα αξιολόγησης, δηλαδή ο Πίνακας 5 που προκύπτει αν εφαρμόσουμε τον ακόλουθο τύπο:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^a x_{kj}^2}}, j = 1, 2, \dots, c, i = 1, 2, \dots, a$$

Πίνακας 5. Κανονικοποιημένος πίνακας απόφασης

Country	$n_{i1}$	$n_{i2}$	$n_{i3}$
Austria	-0,219887613	0,144118476	0,05672273
Belgium	-0,213779624	0,050441466	0,05625779
Bulgaria	0	0,07808339	0,040166783
Croatia	-0,042755925	0,10491825	0,056801344
Cyprus	-0,146591742	0,066006262	0,056870446
Czechia	-0,085511849	0,063412129	0,038956873

<b>Denmark</b>	-0,238211581	0,158530323	0,058921511
<b>Estonia</b>	-0,07940386	0,121059519	0,036649843
<b>Finland</b>	-0,238211581	0,147000845	0,048830141
<b>France</b>	-0,225995602	0,095118194	0,040804967
<b>Germany</b>	-0,232103591	0,086471085	0,05845018
<b>Greece</b>	-0,097727828	0,100882933	0,054828091
<b>Ireland</b>	-0,183239677	0,0982888	0,055791153
<b>Italy</b>	-0,201563645	0,086471085	0,056624962
<b>Latvia</b>	-0,036647935	0,144118476	0,059922031
<b>Lithuania</b>	-0,054971903	0,129706628	0,055836438
<b>Malta</b>	-0,116051796	0,033147249	0,049632389
<b>Netherlands</b>	-0,219887613	0,077823977	0,064290452
<b>Poland</b>	-0,042755925	0,066294499	0,050155622
<b>Portugal</b>	-0,103835817	0,135471367	0,04729505
<b>Romania</b>	-0,012215978	0,088488744	0,054299831
<b>Slovakia</b>	-0,073295871	0,055341495	0,044771892
<b>Slovenia</b>	-0,091619839	0,077823977	0,05011708
<b>Spain</b>	-0,15880772	0,121059519	0,050992871
<b>Sweden</b>	-0,24431957	0,187354018	0,05041947

Τρίτο βήμα είναι οι επιλογή των συντελεστών βαρύτητας  $W_j$  για κάθε κριτήριο  $j = 1, 2, \dots, c$ . Ο Πίνακας 6 παρουσιάζει επτά διαφορετικά σενάρια/συνδυασμούς συντελεστών βαρύτητας για τα τρία κριτήρια, που θα μελετηθούν για λόγους ανάλυσης ευαισθησίας. Το πρώτο σενάριο (Scenario A) θεωρεί όλα τα κριτήρια το ίδιο σημαντικά και μόνο για αυτό το σενάριο παρουσιάζονται οι πίνακες υπολογισμών στα επόμενα βήματα. Τα υπόλοιπα σενάρια θεωρούν το ένα κριτήριο δύο φορές πιο σημαντικό από τα άλλα δύο (Scenario B, C και D) ή δύο φορές λιγότερο σημαντικό από τα άλλα δύο (Scenario E, F και G). Σε αυτό το βήμα, για τον καθορισμό των συντελεστών βαρύτητας, μπορεί εναλλακτικά να εφαρμοστεί η μέθοδος AHP, όπως περιεγράφηκε παραπάνω.

Πίνακας 6. Σενάρια συνδυασμών συντελεστών βαρύτητας.

	$W_1$ for CO <sub>2</sub> Reduction	$W_2$ for Renewable Share	$W_3$ for Energy Efficiency
Scenario A	1	1	1
Scenario B	2	1	1
Scenario C	1	2	1
Scenario D	1	1	2
Scenario E	0,5	1	1

	$W_1$ for CO <sub>2</sub> Reduction	$W_2$ for Renewable Share	$W_3$ for Energy Efficiency
Scenario F	1	0,5	1
Scenario G	1	1	0,5

Τέταρτο βήμα είναι ο υπολογισμός του κανονικοποιημένου πίνακα με συντελεστές βαρύτητας για κάθε κριτήριο. Ο Πίνακας 7 παρουσιάζει το αποτέλεσμα των υπολογισμών για το σενάριο A (όλα τα κριτήρια έχουν την ίδια βαρύτητα) με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$y_{ij} = \frac{r_{ij}W_j}{\sum_{k=1}^c W_k}, j = 1, 2, \dots, c, i = 1, 2, \dots, a$$

Πίνακας 7. Κανονικοποιημένος πίνακας με βάση τους συντελεστές βαρύτητας του σεναρίου A.

Country	$y_{i1}$	$y_{i2}$	$y_{i3}$
Austria	-0,073295871	0,048039492	0,018907577
Belgium	-0,071259875	0,016813822	0,018752597
Bulgaria	0	0,026027797	0,013388928
Croatia	-0,014251975	0,03497275	0,018933781
Cyprus	-0,048863914	0,022002087	0,018956815
Czechia	-0,02850395	0,021137376	0,012985624
Denmark	-0,07940386	0,052843441	0,019640504
Estonia	-0,026467953	0,040353173	0,012216614
Finland	-0,07940386	0,049000282	0,016276714
France	-0,075331867	0,031706065	0,013601656
Germany	-0,077367864	0,028823695	0,019483393
Greece	-0,032575943	0,033627644	0,01827603
Ireland	-0,061079892	0,032762933	0,018597051
Italy	-0,067187882	0,028823695	0,018874987
Latvia	-0,012215978	0,048039492	0,01997401
Lithuania	-0,018323968	0,043235543	0,018612146
Malta	-0,038683932	0,011049083	0,01654413
Netherlands	-0,073295871	0,025941326	0,021430151
Poland	-0,014251975	0,022098166	0,016718541
Portugal	-0,034611939	0,045157122	0,015765017
Romania	-0,004071993	0,029496248	0,018099944
Slovakia	-0,024431957	0,018447165	0,014923964
Slovenia	-0,030539946	0,025941326	0,016705693
Spain	-0,052935907	0,040353173	0,016997624
Sweden	-0,081439857	0,062451339	0,01680649

Πέμπτο βήμα είναι ο υπολογισμός ιδανικής βέλτιστης εναλλακτικής  $A_b$ , καθώς και χειρότερης εναλλακτικής  $A_z$ . Ο υπολογισμός αυτός εξαρτάται από το αν επιδιώκεται από τον αποφασίζοντα ένα κριτήριο να έχει θετική ή αρνητική επίδραση στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, στην περίπτωση μας, το κριτήριο εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου έχει αρνητική επίδραση ενώ τα υπόλοιπα δύο κριτήρια έχουν θετική επίδραση. Άρα αναζητούμε την μεγιστοποίηση για τα κριτήρια  $j \in J_+, j = 1, 2$ . Και την ελαχιστοποίηση για το κριτήριο  $j \in J_-, j = 3$ .

$$A_b = \{\max (y_{ij}: j \in J_-), \min (y_{ij}: j \in J_+)\} \triangleq \{y_{bj}: j = 1, 2, \dots, c\}, i = 1, 2, \dots, a$$

$$A_z = \{\min (y_{ij}: j \in J_-), \max (y_{ij}: j \in J_+)\} \triangleq \{y_{zj}: j = 1, 2, \dots, c\}, i = 1, 2, \dots, a$$

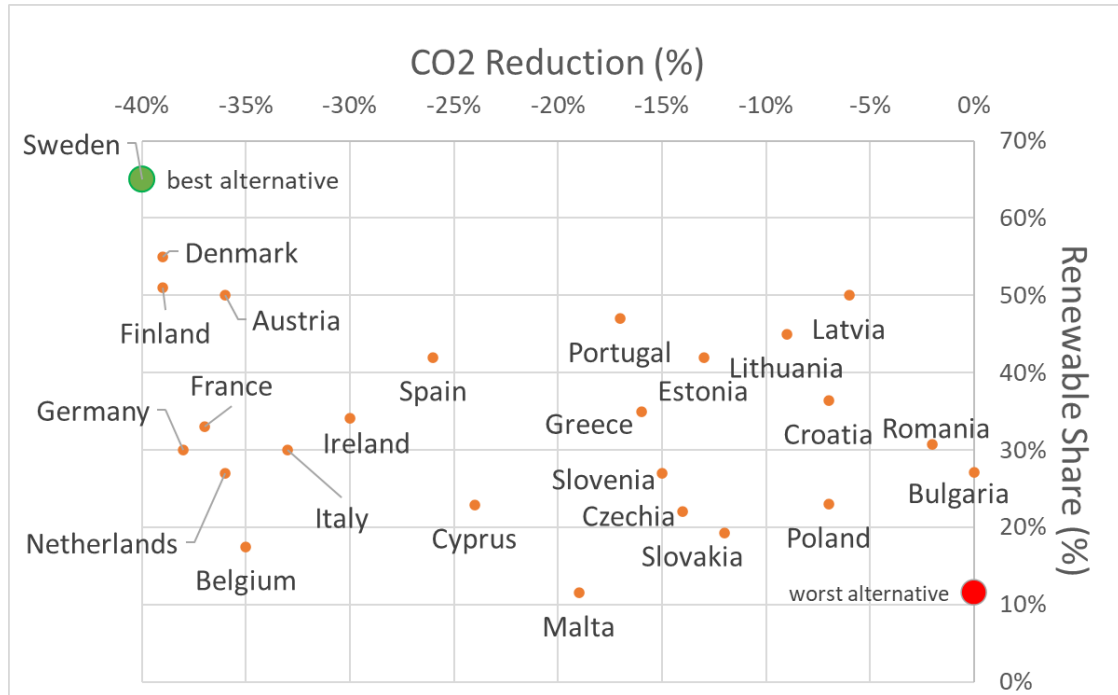
<b>Best</b>	$y_{b1}$	$y_{b2}$	$y_{b3}$
$A_b$	-0,081439857	0,062451339	0,021430151
<b>Worst</b>	$y_{z1}$	$y_{z2}$	$y_{z3}$
$A_z$	0,00	0,01	0,01

Έκτο βήμα είναι ο υπολογισμός των «γεωμετρικών» αποστάσεων από την βέλτιστη  $A_b$  και χειρότερη λύση  $A_z$ , κάθε εναλλακτικής πρότασης  $i = 1, 2, \dots, a$  με βάση τους ακόλουθους τύπους:

$$d_{ib} = \sqrt{\sum_{j=1}^c (y_{ij} - y_{bj})^2}, i = 1, 2, \dots, a$$

$$d_{iz} = \sqrt{\sum_{j=1}^c (y_{ij} - y_{zj})^2}, i = 1, 2, \dots, a$$

Στο Διάγραμμα 3 φαίνεται η θέση των εναλλακτικών, της βέλτιστης και χειρότερης λύσης για τα κριτήρια 1 και 2, αν εφαρμόζαμε την TOPSIS μόνο για αυτά τα δύο κριτήρια με ίση σχετική σημασία μεταξύ τους ( $c_{12} = 1$ ).



Διάγραμμα 3. Παράδειγμα γραφικής αναπαράστασης της βέλτιστης και της χειρότερης εναλλακτικής της μεθόδου TOPSIS για δύο κριτήρια, που συνεισφέρουν το ίδιο.

Έβδομο και τελευταίο βήμα είναι ο υπολογισμός της εγγύτητας  $s_{iz}$  κάθε εναλλακτικής  $i = 1, 2, \dots, a$  με την ιδανική λύση όλων των εναλλακτικών με βάση το  $s_{iz}, i = 1, 2, \dots, a$ .

$$s_{iz} = \frac{d_{iz}}{d_{ib} + d_{iz}}, i = 1, 2, \dots, a$$

Πίνακας 8. Συνολική εγγύτητα ανά χώρα για όλα τα κριτήρια (μείωση εκπομπών αερίων, ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ενεργειακή απόδοση) και κατάταξη με βάση αυτή

Country	$s_{iz}$	RANK
Austria	0,823460684	4
Belgium	0,588224377	11
Bulgaria	0,113695071	25
Croatia	0,316022694	19
Cyprus	0,468528491	13
Czechia	0,277083336	21
Denmark	0,905434652	2
Estonia	0,392607008	17
Finland	0,854701371	3
France	0,68546299	7

Πολυκριτήρια ανάλυση των στόχων και των επιδράσεων των τελικών Εθνικών Σχεδίων για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης

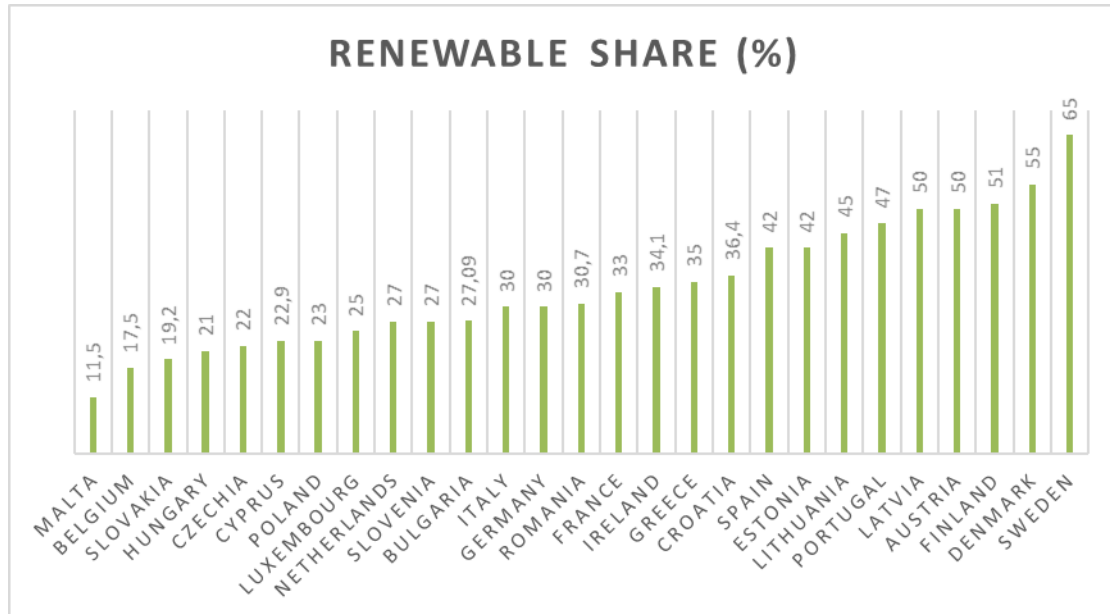
Country	$S_{iz}$	RANK
Germany	0,720909414	5
Greece	0,430915068	14
Ireland	0,627741169	9
Italy	0,644964611	8
Latvia	0,400996253	15
Lithuania	0,400589199	16
Malta	0,302778858	20
Netherlands	0,685658405	6
Poland	0,209797953	23
Portugal	0,508732887	12
Romania	0,199939159	24
Slovakia	0,243125766	22
Slovenia	0,351420504	18
Spain	0,612583917	10
Sweden	0,967451764	1

## 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

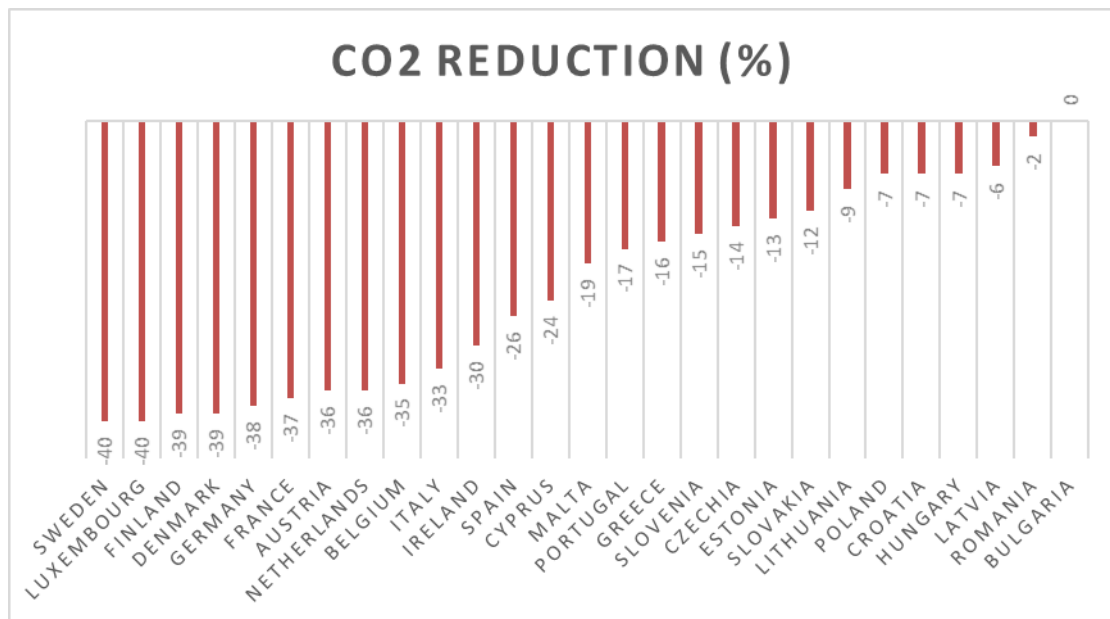
Με την εφαρμογή της μεθόδου TOPSIS, έγινε αξιολόγηση των επιπτώσεων των πολιτικών των Εθνικών Σχεδίων Ενέργειας και Κλίματος. Έτσι, εξετάστηκε ποια μέτρα είναι πιο αποτελεσματικά και συνεισφέρουν περισσότερο στην επίτευξη των στόχων της ΕΕ για την Ενέργεια και το Κλίμα. Τα κριτήρια που επιλέχθηκαν είναι η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, η συμμετοχή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η ενεργειακή αποδοτικότητα. Ο συνδυασμός των συντελεστών βαρύτητας που επιλέχθηκαν, δημιούργησαν επτά σενάρια τα οποία αναλύονται λεπτομερώς με τη βοήθεια των αντίστοιχων διαγραμμάτων. Τα σενάρια και ο αντίστοιχος συνδυασμός των συντελεστών βαρύτητας παρουσιάζει ο Πίνακας 6.

Το Διάγραμμα 4 παρουσιάζει την ποσοστιαία συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών στην τελική κατανάλωση ενέργειας σε Χώρες της Ευρώπης για το έτος 2030. Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι η Δανία έχει το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων (65%), ενώ η Μάλτα το μικρότερο (11.5%). Βεβαίως, το είδος των ανανεώσιμων πηγών που χρησιμοποιεί κάθε χώρα είναι διαφορετικό και εξαρτάται από την διαθεσιμότητα της βιομάζας, των μικρών υδροηλεκτρικών, του ηλιακού και του αιολικού δυναμικού που διαθέτει. Δεδομένου ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν αποκεντρωμένο χαρακτήρα [23], η μεγάλη διείσδυσή τους σε μία χώρα συνεπάγεται και θέσεις εργασίας στις περιφέρειες της χώρας αυτής. Αυτό το τελευταίο στοιχείο είναι σημαντικό και έχει κοινωνικό χαρακτήρα. Εκτιμάται ότι στην Πορτογαλία, περίπου 20.000 θέσεις εργασίας θα δημιουργηθούν μέχρι το 2030 μόνο στον κλάδο των ηλιακών φωτοβολταϊκών, ενώ η EDP (Πορτογαλίας) έχει ανακοινώσει επενδύσεις ύψους 24 δισεκατομμυρίων ευρώ στον κλάδο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέχρι το 2026, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων κατευθύνεται στην αιολική και ηλιακή ενέργεια και στην παραγωγή πράσινου υδρογόνου [24] [25]. Γενικά ο τομέας των ανανεώσιμων προσφέρει σημαντικό καλοπληρωμένο αριθμό θέσεων εργασίας [26]. Επιπλέον, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται στη ζήτηση αφήνοντας χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα και μπορούν να διευκολύνουν άλλα πιεστικά ζητήματα, όπως η ενεργειακή ασφάλεια, συμβάλλοντας σε μια διάσπαρτη και διαφοροποιημένη ενεργειακή υποδομή. [27]

Επίσης, θα πρέπει να τονισθεί ότι η σύγκριση των ποσοστών αυτών, μεταξύ των διαφόρων χωρών απαιτεί μεγάλη προσοχή. Ο λόγος είναι ότι μία χώρα μπορεί να έχει μικρό ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων λόγω της μεγάλης κατανάλωσης τελικής ενέργειας. Έτσι, π.χ. η Γερμανία έχει μικρότερο ποσοστό ανανεώσιμων από την Σουηδία, όμως παρουσιάζει αρκετά μεγαλύτερη κατανάλωση τελικής ενέργειας.



Διάγραμμα 4. Ποσοστιαία συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών στην τελική κατανάλωση ενέργειας σε Χώρες της Ευρώπης για το έτος 2030 [1].

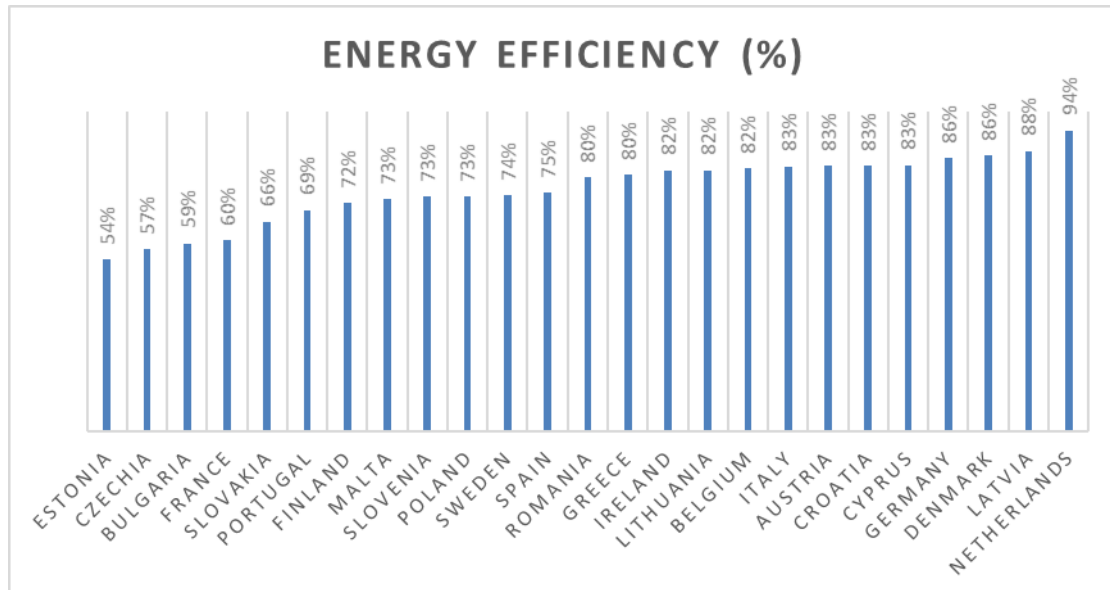


Διάγραμμα 5: Ποσοστιαία μείωση του CO<sub>2</sub> για το έτος 2030, σε σύγκριση με το έτος 2005, σε Χώρες της Ευρώπης.

Στο Διάγραμμα 5, παρουσιάζεται η ποσοστιαία μείωση του CO<sub>2</sub> για το έτος 2030, σε σύγκριση με το έτος 2005, σε Χώρες της Ευρώπης. Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι οι χώρες Σουηδία και Λουξεμβούργο έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό μείωσης του CO<sub>2</sub> σε σύγκριση με το 2005. Τα ποσοστά αυτού του διαγράμματος θα πρέπει να συσχετισθούν με την τελική κατανάλωση ενέργειας και με την συμμετοχή των ανανεώσιμων που έχει κάθε χώρα. Έτσι, μία χώρα που έχει μεγάλη κατανάλωση ενέργειας και μικρή συμμετοχή ανανεώσιμων αναμένεται να έχει μεγάλη εκπομπή CO<sub>2</sub>.



Στην περίπτωση όμως που διαθέτει μεγάλη συμμετοχή ανανεώσιμων, τότε οι εκπομπές CO<sub>2</sub> θα είναι ελαττωμένες.

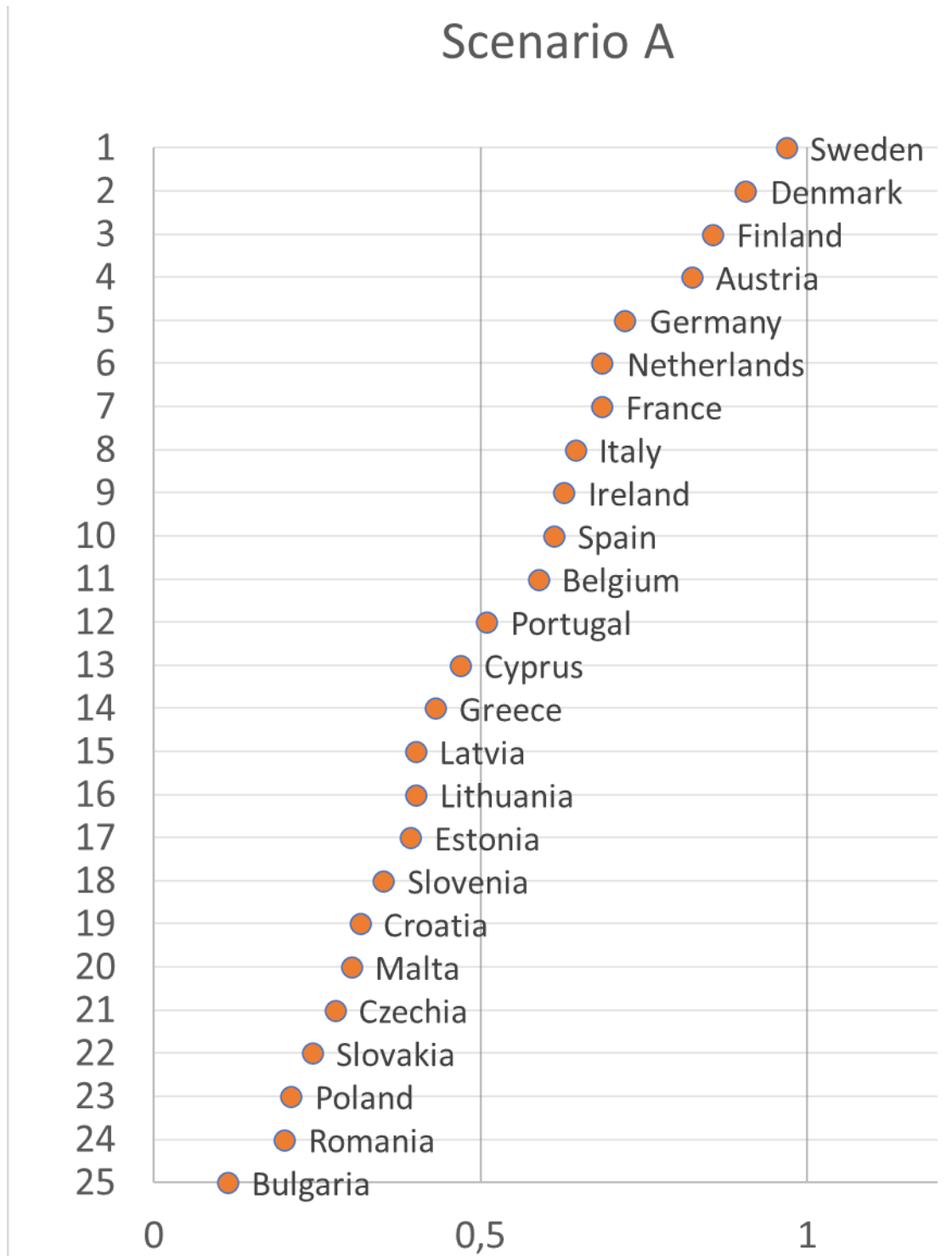


Διάγραμμα 6. Ενεργειακή απόδοση της μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας σε χρήσιμη, για το έτος 2030, σε Χώρες της Ευρώπης.

Το Διάγραμμα 6 παρουσιάζει την ενεργειακή απόδοση της μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας σε τελική, για το έτος 2030, σε Χώρες της Ευρώπης. Η Ολλανδία φαίνεται να υπερέχει στον δείκτη αυτό έναντι όλων των άλλων χωρών, ενώ η Εσθονία παρουσιάζει τον μικρότερο δείκτη. Η μεγάλη τιμή της ενεργειακής απόδοσης σε μία χώρα, σημαίνει κυρίως σωστή λειτουργία σταθμών παραγωγής ενέργειας, αλλά και κάθε είδους μηχανών και ενεργειακών συστημάτων που καταναλώνουν καύσιμο για παραγωγή χρήσιμης ενέργειας.

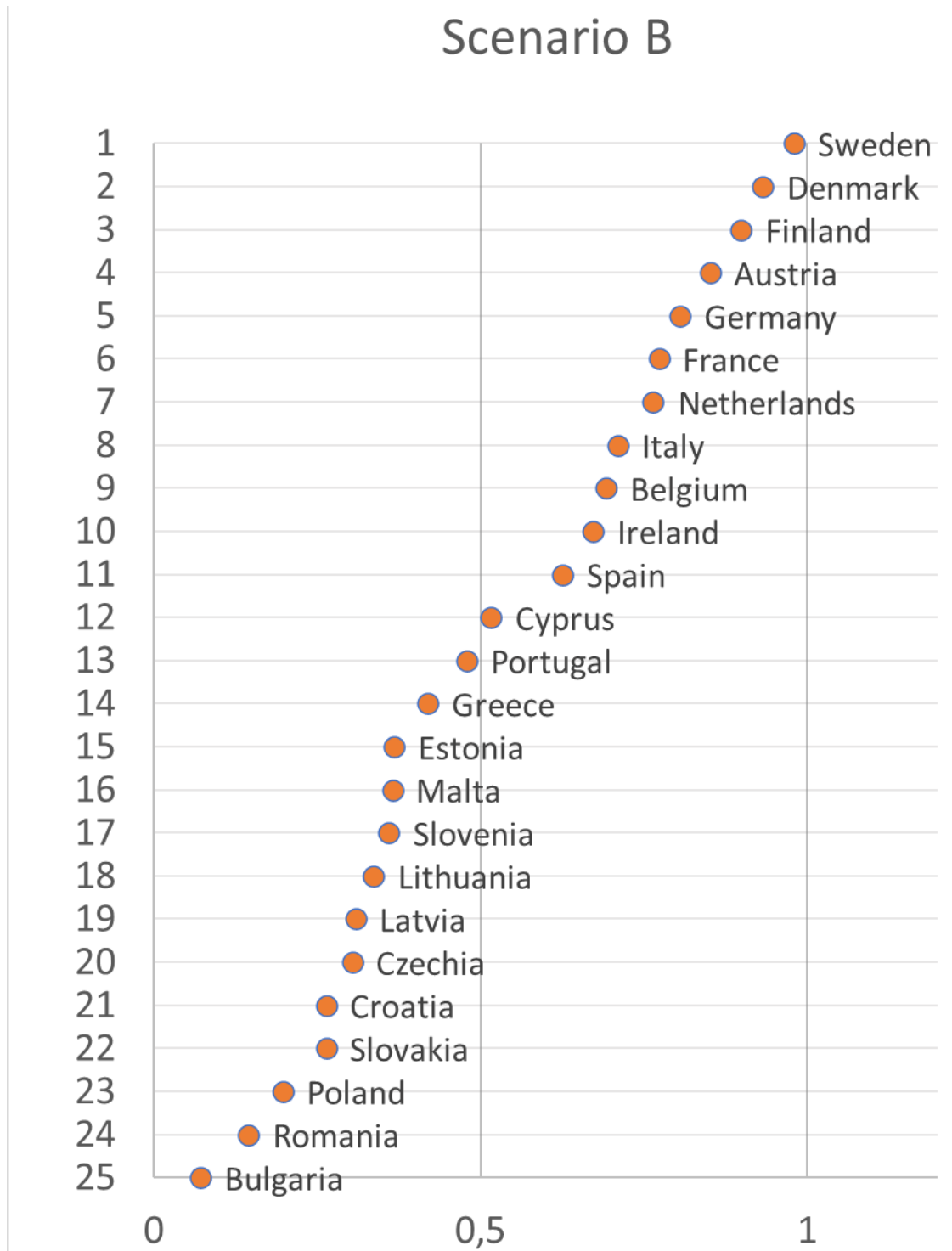
Η μικρή τιμή αυτού του ποσοστού, μπορεί να συνεπάγεται άσκοπη σπατάλη χρημάτων για την αγορά καυσίμου, λιπαντικών, ανταλλακτικών, αλλά και μεγάλη εκπομπή ρύπων.

Εφαρμόστηκε η μεθοδολογία TOPSIS, για τα επτά σενάρια που παρουσιάζει ο Πίνακας 6. Για κάθε ένα σενάριο έγινε επιλογή τριών συντελεστών βαρύτητας από 0.5 μέχρι 2, με διαφορετικούς συνδυασμούς. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για κάθε σενάριο, δίνονται παρακάτω σε αντίστοιχα επτά διαγράμματα.



Διάγραμμα 7. Κατάταξη εναλλακτικών για ίσους συντελεστές βαρύτητας για όλα τα κριτήρια.

Στο Διάγραμμα 7, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης TOPSIS, για το σενάριο A, με συντελεστές βαρύτητας 1, 1, 1, (Πίνακας 6). Οι πρώτες πέντε χώρες είναι η Σουηδία, Δανία, Φιλανδία, Αυστρία και Γερμανία, ενώ οι τελευταίες τρεις χώρες είναι Βουλγαρία, Ρουμανία και Πολωνία.



Διάγραμμα 8. Κατάταξη εναλλακτικών με το συντελεστή για το κριτήριο της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου να έχει διπλάσια βαρύτητα από τα άλλα κριτήρια.

Στο Διάγραμμα 8, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης TOPSIS, για το σενάριο Β, με συντελεστές βαρύτητας 2, 1, 1, (Πίνακας 6). Στο σενάριο αυτό ο συντελεστής βαρύτητας για την συμμετοχή της μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> είναι 2. Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι τις πέντε πρώτες θέσεις τις κατέχουν οι ίδιες χώρες, που είναι πρώτες και στο Διάγραμμα 7. Δηλαδή Σουηδία, Δανία, Φιλανδία,

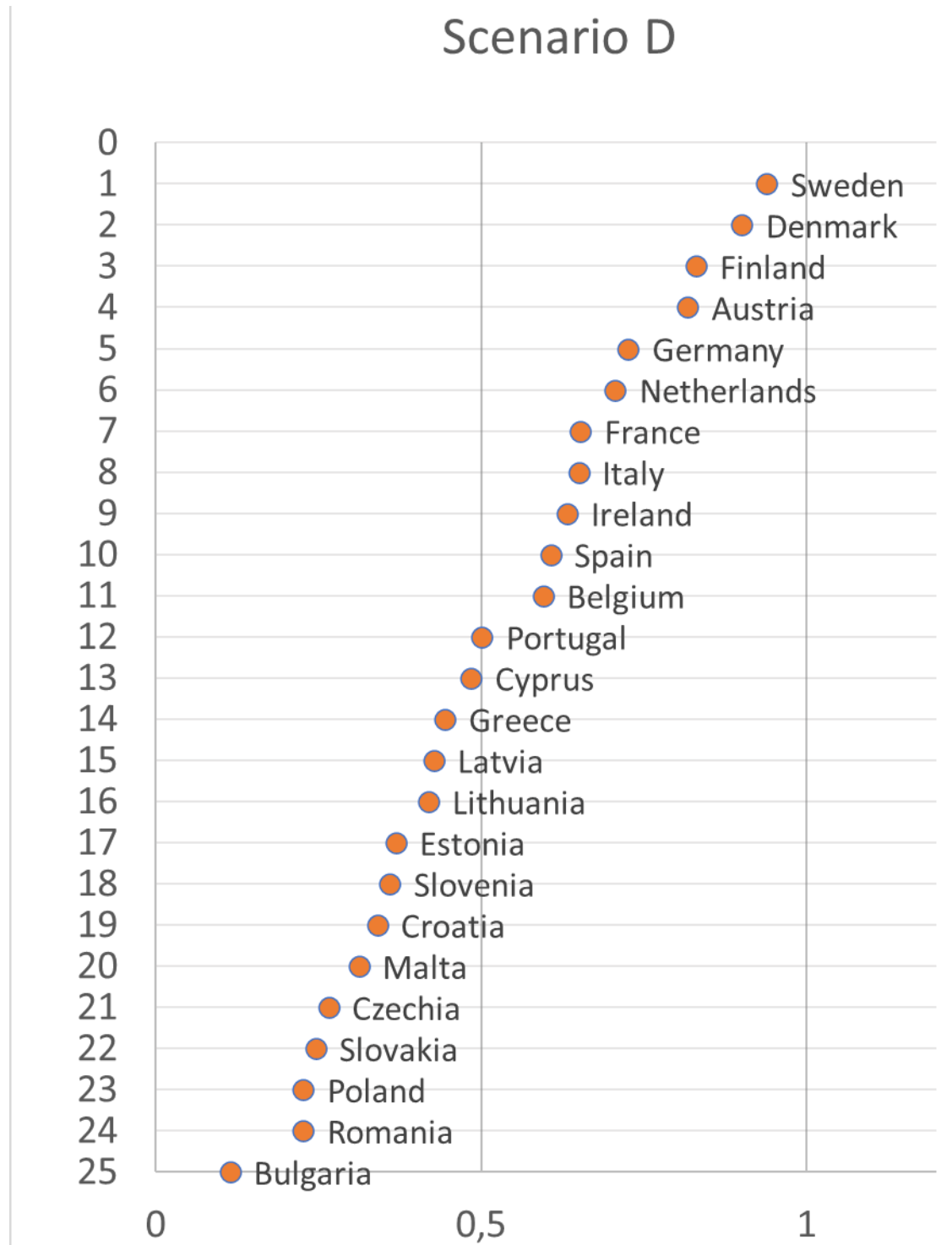
Αυστρία και Γερμανία. Στη συνέχεια όμως διαφοροποιείται η σειρά εμφάνισης και τη θέση της Ολλανδίας την παίρνει η Γαλλία. Αυτό εξηγείται από το Διάγραμμα 5, που η Γαλλία υπερτερεί στη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και από τον συντελεστή βαρύτητας που τώρα είναι 2 για τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Επίσης, οι τελευταίες τρεις χώρες είναι στην ίδια σειρά κατάταξης που ήταν και στο σενάριο A.



Διάγραμμα 9. Κατάταξη εναλλακτικών με το συντελεστή για το κριτήριο της ποσοστιαίας συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών να έχει διπλάσια βαρύτητα από τα άλλα κριτήρια.

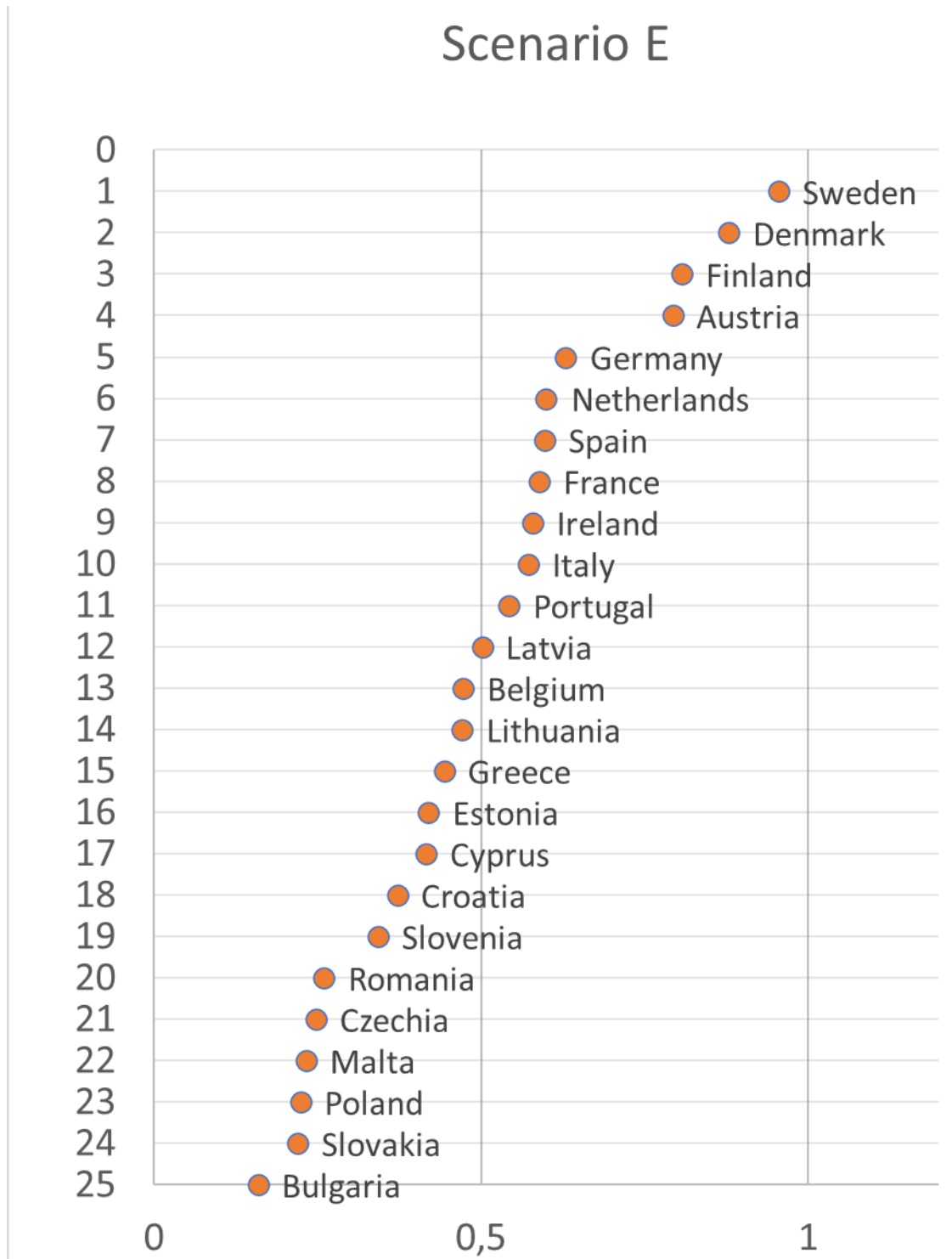
Στο διάγραμμα 6, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης TOPSIS, για το σενάριο C, με συντελεστές βαρύτητας 1, 2, 1, (Πίνακας 6). Στο σενάριο αυτό ο συντελεστής βαρύτητας για την συμμετοχή των ανανεώσιμων είναι 2. Και σε αυτό το σενάριο οι πέντε πρώτες χώρες είναι οι ίδιες όπως και στα προηγούμενα σενάρια. Επιπλέον, η Βουλγαρία συνεχίζει να κατέχει την τελευταία θέση. Αξιοπαράτητο είναι

ότι σε αυτό το σενάριο, η Ισπανία πήρε την έβδομη θέση, ενώ στα προηγούμενα σενάρια είχε την 10η και 11η αντίστοιχα. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι το ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών για την Ισπανία είναι μεγαλύτερο (Διάγραμμα 4) από εκείνο των χωρών που προηγούνται στο προηγούμενο σενάριο Α.



Διάγραμμα 10. Κατάταξη εναλλακτικών με το συντελεστή για το κριτήριο της ενεργειακής απόδοσης να έχει διπλάσια βαρύτητα από τα άλλα κριτήρια.

Στο Διάγραμμα 10, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης TOPSIS, για το σενάριο D, με συντελεστές βαρύτητας 1, 1, 2, (Πίνακας 6). Στο σενάριο αυτό ο συντελεστής βαρύτητας για την ενεργειακή απόδοση της μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας σε τελική είναι 2. Τις πέντε πρώτες θέσεις κατέχουν και σε αυτό το σενάριο οι ίδιες χώρες όπως και στα προηγούμενα σενάρια. Επίσης η Βουλγαρία κατέχει πάλι την τελευταία θέση σε αυτό το σενάριο.

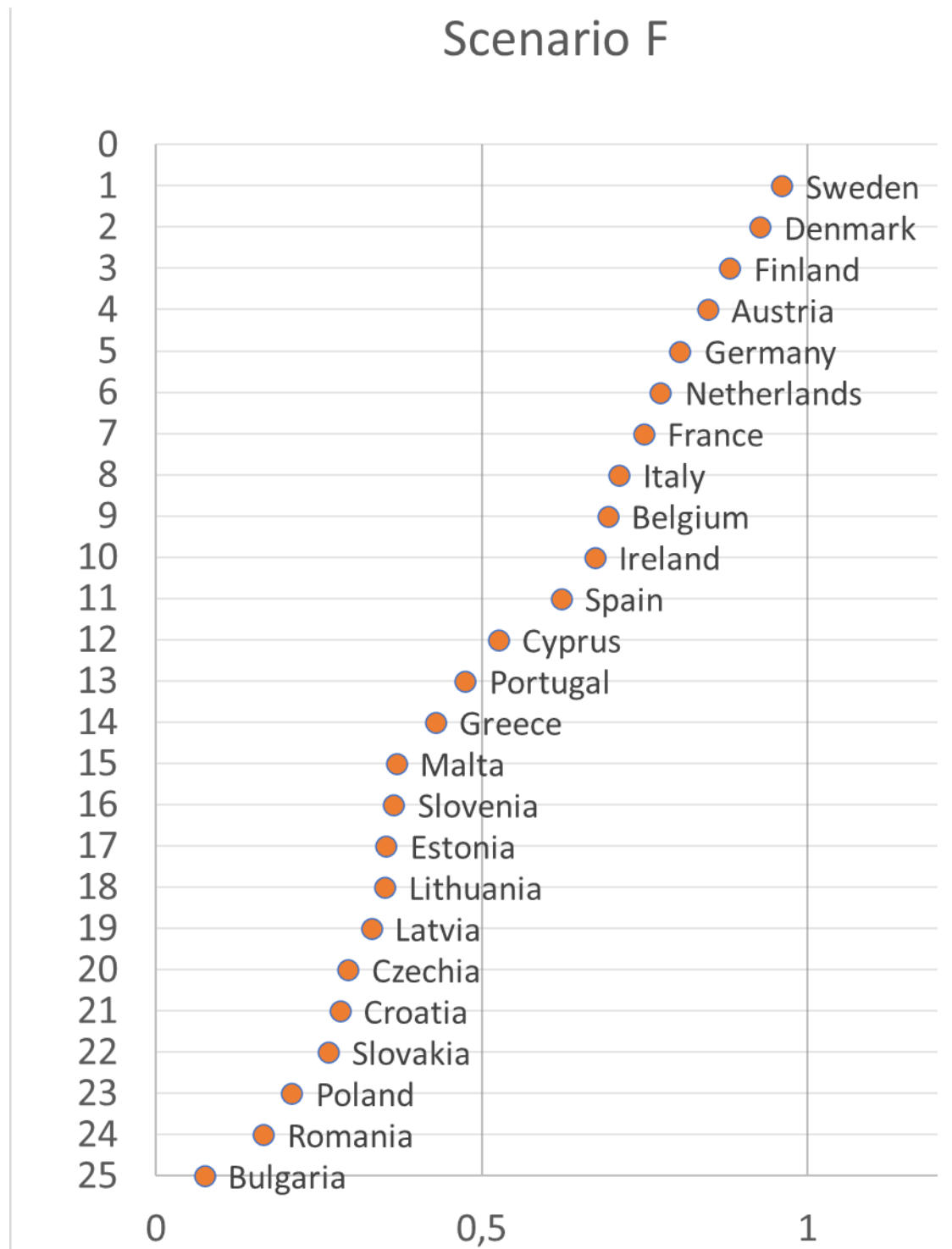


Διάγραμμα 11. Κατάταξη εναλλακτικών με το συντελεστή για το κριτήριο της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου να έχει τη μισή βαρύτητα από τα άλλα κριτήρια.

Στο Διάγραμμα 11, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης TOPSIS, για το σενάριο E, με συντελεστές βαρύτητας 0.5, 1, 1, (Πίνακας 6). Στο σενάριο αυτό ο συντελεστής βαρύτητας για την συμμετοχή της μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> είναι 0.5. Στο σενάριο αυτό οι πρώτες πέντε χώρες παραμένουν οι ίδιες όπως και στα προηγούμενα σενάρια. Επίσης, η Βουλγαρία κατέχει και σε αυτό το σενάριο την

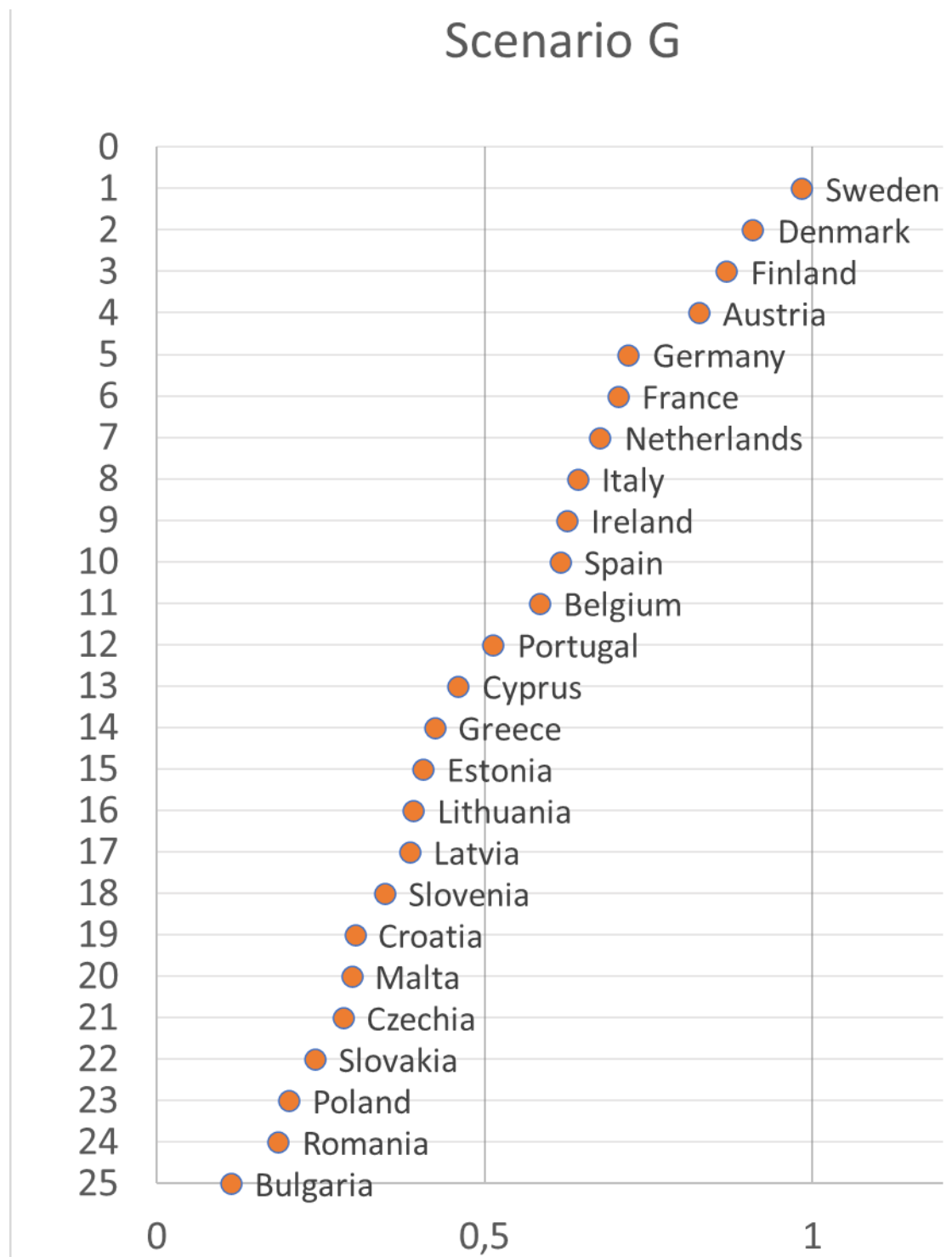


τελευταία θέση. Η Ισπανία, παρόλο ότι έχει μικρότερο ποσοστό μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> από την Γαλλία, όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 4, υπερτερεί της Γαλλίας σε αυτό το σενάριο διότι το ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών της είναι ανώτερο του αντίστοιχου της Γαλλίας και επιπλέον ο συντελεστής βαρύτητας για την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> είναι 0.5.



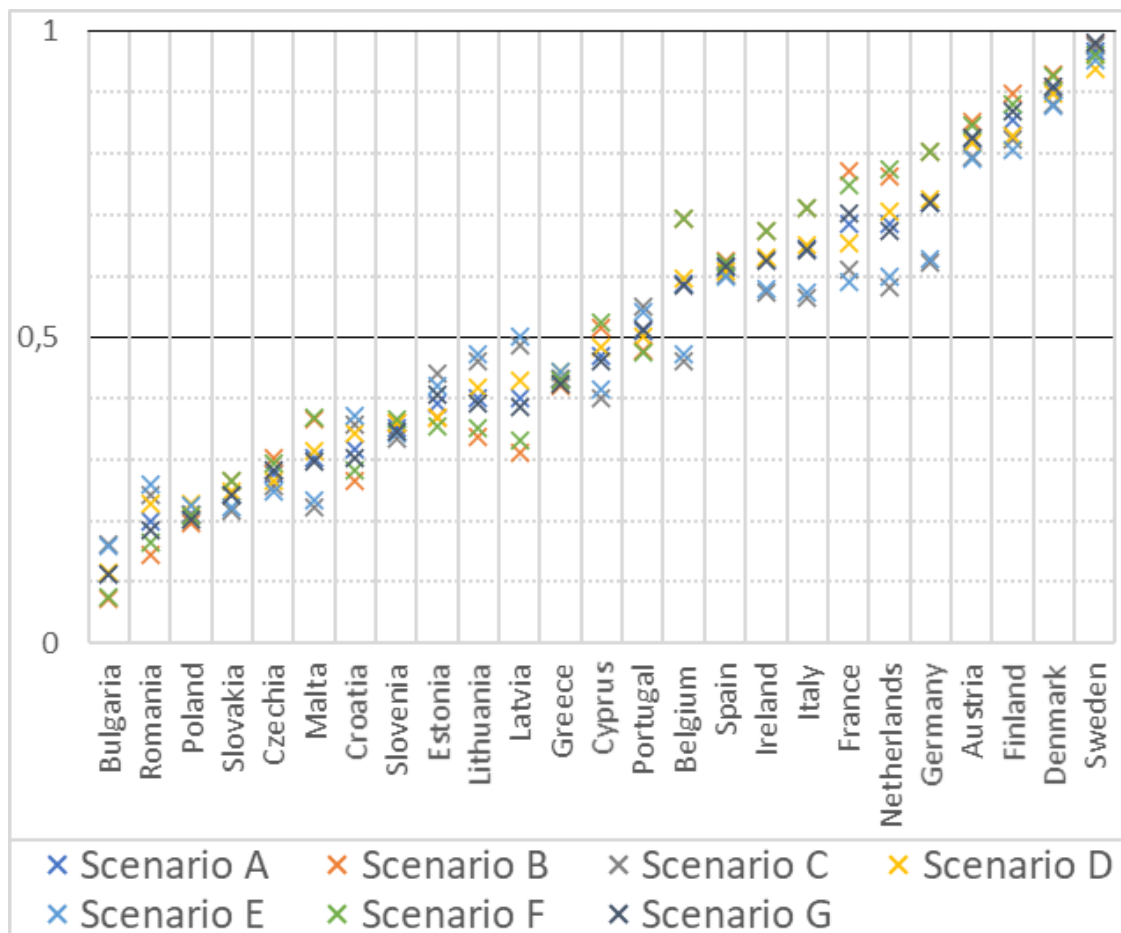
Διάγραμμα 12. Κατάταξη εναλλακτικών με το συντελεστή για το κριτήριο της ποσοστιαίας συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών να έχει τη μισή βαρύτητα από τα άλλα κριτήρια.

Στο Διάγραμμα 12, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης TOPSIS, για το σενάριο F, με συντελεστές βαρύτητας 1, 0.5, 1, (Πίνακας 6). Στο σενάριο αυτό ο συντελεστής βαρύτητας για την συμμετοχή των ανανεώσιμων είναι 0.5. Σε αυτό το σενάριο η κατάταξη των πέντε πρώτων παραμένει η ίδια όπως και στα προηγούμενα σενάρια. Επίσης η Βουλγαρία συνεχίζει να κατέχει την τελευταία θέση.



Διάγραμμα 13. Κατάταξη εναλλακτικών με το συντελεστή για το κριτήριο της ενεργειακής απόδοσης να έχει τη μισή βαρύτητα από τα άλλα κριτήρια.

Στο Διάγραμμα 13, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης TOPSIS, για το σενάριο G, με συντελεστές βαρύτητας 1, 1, 0.5, (Πίνακας 6). Στο σενάριο αυτό ο συντελεστής βαρύτητας για την συμμετοχή της ενεργειακής απόδοσης είναι 0.5. Σε αυτό το σενάριο η κατάταξη των πέντε πρώτων παραμένει η ίδια όπως και στα προηγούμενα σενάρια. Επίσης η Βουλγαρία συνεχίζει να κατέχει την τελευταία θέση.



Διάγραμμα 14. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα όλων των σεναρίων για κάθε χώρα.

Στο Διάγραμμα 14, παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα όλων των σεναρίων για κάθε μία χώρα. Μια γενική παρατήρηση είναι ότι το εύρος των τιμών των επτά σεναρίων, για κάθε χώρα είναι διαφορετικό. Έτσι, εμφανίζονται χώρες που έχουν μικρό εύρος τιμών ενώ άλλες με σχετικά μεγάλο εύρος τιμών. Στις χώρες με μεγάλο εύρος τιμών σημαίνει ότι υπάρχει κάποιο προτιμητέο σενάριο και κατά συνέπεια κάποιο κριτήριο με το οποίο οι χώρες αυτές ελαττώνουν την απόστασή τους από την βέλτιστη ιδανική τιμή. Μια χώρα με μεγάλο εύρος τιμών φαίνεται να είναι το Βέλγιο, και ακολουθούν η Γαλλία, Ολλανδία, Γερμανία και Λετονία. Αντίθετα, στις χώρες με πολύ μικρό εύρος τιμών δεν υπάρχει προτιμητέο σενάριο, άρα παραμένουν ανεπηρέαστες από την εφαρμογή των επτά σεναρίων που θεωρήθηκαν στην εργασία

αυτή. Χώρες που παρουσιάζονται με πολύ μικρό εύρος τιμών είναι η Ελλάδα, Σλοβενία, Πολωνία, Σουηδία, Δανία, Αυστρία και Ισπανία.

Επίσης, από το Διάγραμμα 14, παρατηρείται ότι οι πρώτες δεκαπέντε χώρες από την Βουλγαρία μέχρι και το Βέλγιο, δεν κατορθώνουν με κανένα σενάριο να φθάσουν το 0.5, γεγονός που σημαίνει ότι η απόσταση των χωρών αυτών από το ιδανικό βέλτιστο είναι μεγάλη. Στην παρατήρηση αυτή εξαίρεση αποτελούν η Λετονία, που φθάνει οριακά το 0.5 με κάποιο σενάριο καθώς επίσης και η Κύπρος, η Πορτογαλία και το Βέλγιο, που κάποια σενάρια τις αναβαθμίζουν σε τιμές λίγο πάνω από το 0.5 (Κύπρος, Πορτογαλία), ή αρκετά πάνω από το 0.5 (Βέλγιο).

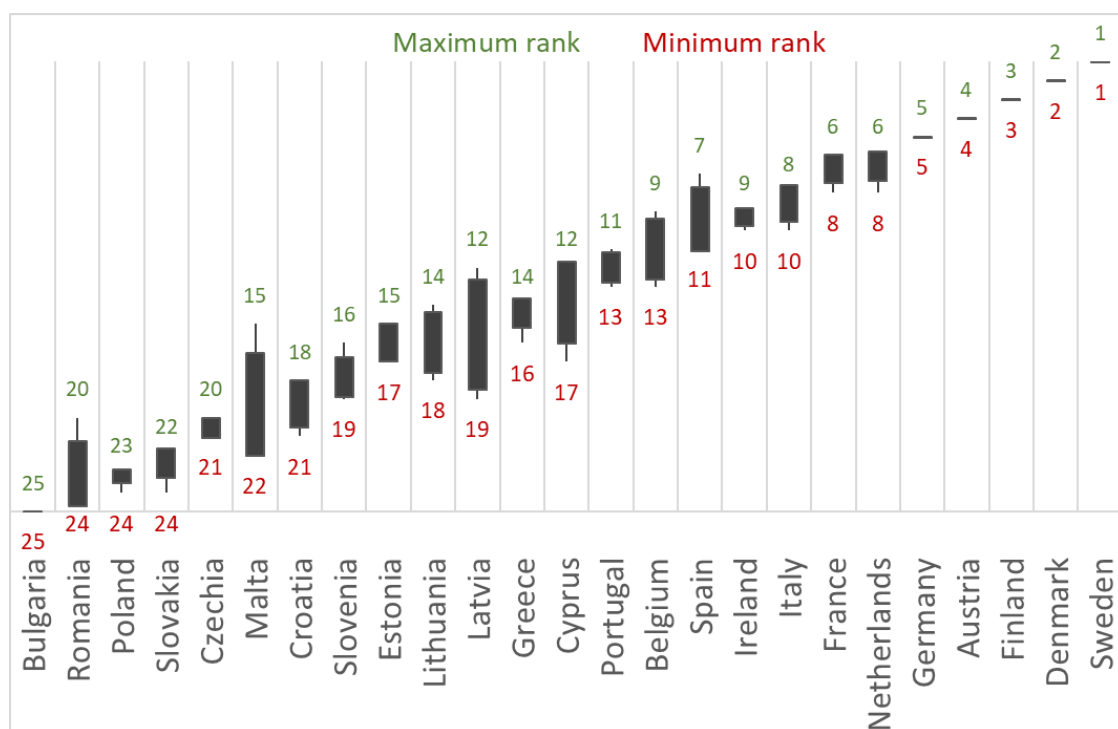
Γενικά οι χώρες κάτω του 0.5 πρέπει να επενδύσουν σε ανθρώπινο δυναμικό (θέσεις εργασίας) αλλά και σε τεχνολογίες απορρύπανσης και εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (χρηματικά κεφαλαία), προκειμένου να ελαττώσουν την απόστασή τους από το ιδανικό βέλτιστο και να προσεγγίσουν τα αποτελέσματα των πρώτων χωρών κατάταξης.

Μια παρατήρηση που προέρχεται επίσης από το Διάγραμμα 14, είναι ότι μια ομάδα 11 χωρών (Δανία, Φιλανδία, Αυστρία, Ολλανδία, Γαλλία, Ιταλία, Ιρλανδία, Βέλγιο, Κύπρος, Μάλτα, Τσεχία), πετυχαίνει τη μέγιστη τιμή της, και συνεπώς την προσέγγιση στο ιδανικό βέλτιστο, με εφαρμογή δυο ίδιων ακριβώς σεναρίων (B, F). Στα σενάρια αυτά οι συντελεστές βαρύτητας είναι στο σενάριο B (2 1 1), και στο σενάριο F (1 0.5 1). Συνεπώς, η αύξηση του συντελεστή βαρύτητας στη μέγιστη τιμή του (2) για το κριτήριο της μείωσης των ρύπων και η μείωση του συντελεστή βαρύτητας (0.5) για το κριτήριο του ποσοστού της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οδηγεί την ομάδα αυτή των 11 χωρών στις υψηλότερες τιμές από όλα τα υπόλοιπα σενάρια. Αν δεχθούμε για παράδειγμα την Μάλτα, τότε το σενάριο B την ευνοεί, διότι βρίσκεται στο μέσον περίπου της κατάταξης σχετικά με το κριτήριο της μείωσης των ρύπων (Διάγραμμα 5). Επίσης, ευνοείται με το σενάριο F, διότι είναι η χώρα που έχει την μικρότερη ποσοστιαία συμμετοχή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Διάγραμμα 4). Αν πάρουμε σαν δεύτερο παράδειγμα την Δανία, η οποία είναι μέσα στις πρώτες χώρες για τη συμμετοχή στις ανανεώσιμες (Διάγραμμα 4) καθώς και στη μείωση των ρύπων (Διάγραμμα 5), τότε ευνοείται και από τα δυο σενάρια (B, F).

Γενικά παρατηρείται ότι τα μέτρα που θεσπίστηκαν δημιουργούν μεγάλες ενεργειακές ανισότητες μεταξύ των χωρών, με επακόλουθα άλυτα περιβαλλοντικά προβλήματα.

## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, από την ανάλυση που προηγήθηκε, αποδεικνύεται ότι στις πέντε πρώτες θέσεις όλων των διαγραμμάτων είναι πάντα οι ίδιες χώρες, 1)Σουηδία, 2)Δανία, 3)Φινλανδία, 4)Αυστρία και 5)Γερμανία, ενώ τελευταία στην κατάταξη είναι πάντα η Βουλγαρία.. Αυτό σημαίνει ότι η μεταβολή σε καθένα από τους συντελεστές βαρύτητας των κριτήριων σε διπλάσιο ή μισό των υπολοίπων κριτηρίων, δεν επιδρά στις πρώτες θέσεις της κατάταξης και οι χώρες αυτές έχουν αρκετά σταθερά αποτελέσματα για τα τρία εξεταζόμενα κριτήρια, όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 15.



Διάγραμμα 15. Μέγιστες και ελάχιστες θέσεις στην κατάταξη για κάθε χώρα.

Επίσης επιβεβαιώνεται η γεωγραφική διαίρεση της Ευρώπης σε δύο ταχύτητες, των χωρών του Βορρά και της Δύσης από τη μία να καταλαμβάνουν σταθερά το πρώτο μισό της κατάταξης και των ανατολικών, Βαλτικών, Βαλκανικών να έχουν θέσεις στο δεύτερο μισό της κατάταξης.

Τέλος, τη μεγαλύτερη κινητικότητα μεταξύ των σεναρίων σε θέση κατάταξης παρουσιάζει η Μάλτα με καλύτερη της απόδοση την 15<sup>η</sup> θέση στο σενάριο F και την χειρότερη 22<sup>η</sup> στα σενάρια C και E. Αυτό εξηγείται από την χαμηλή ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που οδηγεί σε μικρότερες μειώσεις, δηλαδή μεγαλύτερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Μετά την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής και την ανάλυση των αποτελεσμάτων, τα πρώτα γενικά συμπεράσματα είναι η ισχυρή εξάρτηση μεταξύ των κριτηρίων που επιλέχθηκαν και η πρόταση για μια μελλοντική διερεύνηση κριτηρίων με οικονομικά (επενδύσεις, κόστος κάθε μέτρου/στόχου) και κοινωνικά (δημιουργία θέσεων εργασίας) χαρακτηριστικά. Πολλές φορές μεθοδολογίες από κάθε χώρα μέλος ήταν αντιφατικές, δεν υπήρχε κοινή γραμμή και αυτό καθιστούσε μη συγκρίσιμα τα δεδομένα, όπως διαφορές στον τρόπο συλλογής και επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων, διαφορετικοί ορισμοί των κλάδων, διαφορετικοί μηχανισμοί σε κάθε κράτος καθώς και ανισομετρία πόρων και ανθρώπων, επιστημόνων, ερευνητών που εμπλέχτηκαν στην διαδικασία των ΕΣΕΚ από κάθε χώρα.

Συνοψίζοντας, η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως στόχο την καταγραφή, ταξινόμηση και αξιολόγηση των εθνικών πολιτικών για την Ενέργεια και το Κλίμα των κρατών-μελών της Ε.Ε. μέσω της μεθόδου TOPSIS.

Για την υλοποίηση της αξιολόγησης, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος TOPSIS, η οποία παρέχει μια ολοκληρωμένη και αξιόπιστη προσέγγιση για την αξιολόγηση πολυκριτηριακών προβλημάτων. Με αυτό τον τρόπο, θα είμαστε σε θέση να αναγνωρίσουμε τα μέτρα που έχουν τη μεγαλύτερη απόδοση και συμβάλλουν περισσότερο στην επίτευξη των στόχων της Ε.Ε. για την Ενέργεια και το Κλίμα.

Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης, λήφθηκαν υπόψη διάφορα κριτήρια, που περιλαμβάνουν τη μείωση των εκπομπών αερίων, την αύξηση της ανανεώσιμης ενέργειας, την ενεργειακή αποδοτικότητα, την κοινωνική αποδοχή και άλλα σχετικά κριτήρια.

Μέσω αυτής της εργασίας, επιδιώξαμε να έχουμε μια κατανόηση της προόδου και της απόδοσης των εθνικών πολιτικών για την Ενέργεια και το Κλίμα στην Ε.Ε. Αυτή η αξιολόγηση μπορεί να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες και εισηγήσεις για τη βελτίωση των πολιτικών και την επίτευξη των στόχων της Ε.Ε. στον τομέα της ενέργειας και του κλίματος.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η παρούσα εργασία θα συμβάλει στην ενίσχυση της γνώσης και της κατανόησης για την πολιτική της Ε.Ε. σε θέματα ενέργειας και κλίματος, καθώς και στην προώθηση της διατήρησης και προαγωγής βιώσιμων πρακτικών για την προστασία του περιβάλλοντος και την αειφόρο ανάπτυξη. Η αξιολόγηση των εθνικών πολιτικών για την Ενέργεια και το Κλίμα μας δίνει τη δυνατότητα να αναγνωρίσουμε τις καλές πρακτικές και να διαμορφώσουμε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την επίτευξη των παγκόσμιων στόχων για την αλλαγή του κλίματος και τη μείωση της εξάρτησης από τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

---

- [1] European Commission, "National energy and climate plans (NECPs)," 2019. [Online]. Available: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/national-energy-and-climate-plans-necps\\_en#final-necps](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/national-energy-and-climate-plans-necps_en#final-necps). [Accessed 4 March 2022].
- [2] Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, «Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (Δ.Ο.Ε.),» 07 March 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://ypen.gov.gr/diethnis-organismos-energeias-d-o-e/>. [Πρόσβαση 2 July 2023].
- [3] A. Hernández-Alemán, N. Cruz-Pérez and J. C. Santamarta, "Rethinking Legal Criteria for Assessing Compensation for Rural Land Expropriation: Towards a European Institutional Framework," *Land*, vol. 11, no. 2, p. 194, 06 01 2022.
- [4] United Nations, United Nations Framework Convention on Climate Change, New York, 1992.
- [5] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, «Δράση για το κλίμα,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://climate.ec.europa.eu/index\\_el](https://climate.ec.europa.eu/index_el). [Πρόσβαση 09 July 2023].
- [6] NASA, "Data.GISS: GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP v4)," [Online]. Available: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>. [Accessed 09 July 2023].
- [7] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, «Ενεργειακή πολιτική: γενικές αρχές,» 04 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/68/energy-policy-general-principles>. [Πρόσβαση 02 07 2023].
- [8] E. Løken και A. Botterud, «Planning of mixed local energy distribution systems: A comparison of two multi-criteria decision methods,» σε *28th Annual IAEE International Conference, Taipei, Taiwan*, 2005.
- [9] T. Catalina, J. Virgone and E. Blanco, "Multi-source energy systems analysis using a multi-criteria decision aid methodology," *Renewable Energy*, vol. 36, no. 8, pp. 2245-2252, 2011.
- [10] J. R. S. C. Mateo, Multi criteria analysis in the renewable energy industry, Springer Science & Business Media, 2012.

- [11] T. L. Saaty, "Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process," *Management Science*, vol. 32, no. 7, pp. 841-855, 01 07 1986.
- [12] A. Battou, «Toward an Enhanced Learning Through Existing Massive Open Online Courses Platforms,» σε *Distributed Sensing and Intelligent Systems*, Cham, 2022.
- [13] T. L. Saaty, *Multicriteria decision making: The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*, 2nd ed., vol. 1, Pittsburgh: RWS Publications, 1996, p. 287.
- [14] C.-L. Hwang and K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making*, Springer-Verlag: Berlin/Heidelberg, 1981.
- [15] V. Balioti, C. Tzimopoulos και C. Evangelides, «Multi-Criteria Decision Making Using TOPSIS Method Under Fuzzy Environment. Application in Spillway Selection,» σε *EWaS3 2018*, Lefkada island, 2018.
- [16] N. Munier, *A strategy for using multicriteria analysis in decision-making: a guide for simple and complex environmental projects*, Springer Science & Business Media, 2011.
- [17] A. Chauhan and R. Vaish, "A comparative study on decision making methods with interval data," *Journal of Computational Engineering*, vol. 2014, p. 10, 2014.
- [18] S. Četković and A. Buzogány, "Varieties of capitalism and clean energy transitions in the European Union: When renewable energy hits different economic logics," *Climate Policy*, vol. 16, no. 5, pp. 642-657, 2016.
- [19] K. Kaygusuz, Ö. Yüksek and A. Sari, "Renewable Energy Sources in the European Union: Markets and Capacity," *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, vol. 2, no. 1, pp. 19-29, 2007.
- [20] D. Connolly, H. Lund and B. Mathiesen, "Smart Energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union.," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 1634-1653, 2016.



- [21] E. Løken, «Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems,» *Renewable and sustainable energy reviews*, τόμ. 11, αρ. 7, pp. 1584-1595, 2007.
- [22] E. Saghapour, S. Kermani and M. Sehhati, "A novel feature ranking method for prediction of cancer stages using proteomics data," *PLoS One*, vol. 12, no. 9, p. e0184203, 2017.
- [23] P. Axaopoulos, Solar thermal conversion. Active solar systems, Simmetria, 2011.
- [24] TNP/Lusa, "End of Sines power plant means biggest emissions reduction ever," The Portugal News (in Portuguese), 16 January 2021. [Online]. [Accessed 2021 March 2021].
- [25] A. Lusa, "Central de Sines encerra esta sexta-feira, antes do previsto devido a evolução do mercado," Observador (in Portuguese), 15 January 2021. [Online]. [Accessed 2021 March 23].
- [26] C. Michael, "Portugal generated enough renewable energy to power the whole country in March," *Quartz*, 2018.
- [27] Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, «Θεματολογικά δελτία για την Ευρωπαϊκή Ένωση,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/70/>. [Πρόσβαση 30 June 2023].