

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



Διπλωματική εργασία

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Υπό
ΦΡΑΓΚΙΣΚΟ ΜΑΡΑΓΚΟΥΔΑΚΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΤΣΑΛΑΚΗΣ

Χανιά, 2024

Ευχαριστίες

Η διπλωματική μου εργασία σηματοδοτεί και το τέλος της φοιτητικής μου πορείας στο Πολυτεχνείο Κρήτης, ως προπτυχιακός φοιτητής. Κάπου εδώ κλείνει ένα πολύ μεγάλο και ωραίο κεφάλαιο για εμένα και θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές, συμφοιτητές, φίλους και ακαδημαϊκό προσωπικό που αποτέλεσαν κομμάτι αυτού.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Γεώργιο Ατσαλάκη, που μου εμπιστεύτηκε την παρούσα διπλωματική, με βοήθησε στην συγγραφή της και παράλληλα με έκανε να γνωρίσω έναν τομέα που πλέον με συναρπάζει ιδιαίτερος πολύ, αυτόν της ενέργειας.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και όλους τους δικούς μου ανθρώπους, που βρίσκονται πάντα δίπλα μου και με ωθούν να κυνηγάω και να καταφέρνω αυτά που ονειρεύομαι.

Χανιά, Δεκέμβριος 2024

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παραγωγή και διανομή της ενέργειας αποτελούσε ανέκαθεν ένα θέμα μείζονος σημασίας αλλά και συγκρούσεων μεταξύ των κρατών. Στις μέρες μας διακρίνεται μια έντονη προσπάθεια μετάβασης σε ένα βιώσιμο μέλλον αειφορίας, κατά την οποία ωστόσο τα δεδομένα και οι πολιτικές συχνά δεν συμβαδίζουν μεταξύ των χωρών. Πρόσφατα η Ε.Ε έθεσε συγκεκριμένους ενεργειακούς στόχους για τα δίκτυα διανομής ενέργειας που απασχολούν τα κράτη – μέλη της και αποσκοπούν σε ενεργειακές μεταβάσεις με χρονικούς ορίζοντες έως το 2030 και το 2050.

Τελικός στόχος αποτελεί η επίτευξη της ενεργειακής ουδετερότητας της Ε.Ε. με την ύπαρξη μηδενικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε όλα τα στάδια παραγωγής, μετατροπής, μεταφοράς και χρήσης της ενέργειας. Με προτεραιότητα λοιπόν στόχους όπως ο συγκεκριμένος, τόσο τα κράτη της Ε.Ε όσο και η Η.Π.Α επενδύουν όλο και πιο πολύ στην πλαisiώση των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας με Α.Π.Ε., μη εξασφαλίζοντας ωστόσο τα επιθυμητά αποτελέσματα για λόγους τόσο εσωτερικούς όσο και εξωτερικούς. Από την μία η δυσκολία που εμφανίζεται όχι μόνο στην συνεχή παραγωγή ενέργειας μέσω Α.Π.Ε. αλλά και στην ίδια τους την εγκατάσταση δυσχεραίνει σε πολλές χώρες το έργο αυτό. Οι κοντινές κοινότητες συχνά είναι αντίθετες με την εγκατάσταση Α.Π.Ε., ενώ παράλληλα η γραφειοκρατία που απαιτείται από δημόσιους φορείς δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο την κατάσταση. Στο σύνολο αυτών των δυσκολιών σημαντικό κομμάτι αποτελούν και οι πλέον παλιές γραμμές μεταφοράς των δικτύων οι οποίες χρειάζονται απαραίτητα αλλαγή για την υποστήριξη τέτοιων ενεργειακών μεταβιβάσεων, με το κόστος και το χρόνο που απαιτείται να αποτελούν σημαντικά εμπόδια.

Δεύτερος και κύριος παράγοντας δυσκολίας στην υλοποίηση των στόχων Ε.Ε. και Η.Π.Α. αποτελεί η ενεργειακή πολιτική της Κίνας. Σε αντίθεση με τις βιώσιμες μεταρρυθμίσεις που αναφέρθηκαν, η Κίνα έχει ως κύριο μέλημα της επίτευξη όσον το δυνατόν μεγαλύτερου οικονομικού κέρδους, αδιαφορώντας πλήρως για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της τόσο έντονης χρήσης του άνθρακα. Συνεπώς δημιουργείται ένας αθέμητος ανταγωνισμός που ωφελεί από την μια την Κίνα και ζημιώνει σε τεράστιο βαθμό Ε.Ε. και Η.Π.Α. όσον αφορά την ενέργεια και την οικονομία γύρω από αυτήν.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η ανάδειξη της τωρινής διαμόρφωσης των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη και το πώς αυτά μπορούν ρεαλιστικά να αλλάξουν μέσα στα επόμενα χρόνια. Συλλέγοντας έτσι δεδομένα θα διαμορφωθεί μια σφαιρική άποψη για το πόσο επιτεύξιμος είναι ο στόχος της Ε.Ε. για ενεργειακή ουδετερότητα αναφέροντας παράλληλα πως οι ενεργειακές πολιτικές άλλων χωρών επηρεάζουν την διαμόρφωση και την επίτευξη τέτοιων στρατηγικών.

ABSTRACT

The production and distribution of energy have always been subjects of great importance and sources of conflict among nations. Today, there is a marked effort to transition toward a sustainable future, yet data and policies often do not align across countries. Recently, the EU set specific energy goals for its energy distribution networks, engaging its member states in energy transitions with timeframes extending to 2030 and 2050.

The ultimate aim is to achieve the EU's energy neutrality by ensuring zero greenhouse gas emissions at every stage of energy production, conversion, transmission, and use. With such ambitious goals as a priority, both the EU member states and the U.S. are increasingly investing in the integration of renewable energy sources (RES) into their electricity distribution networks. However, the desired results remain elusive due to both internal and external challenges.

On the one hand, the difficulty of not only maintaining continuous energy production through RES but also implementing their installation creates significant obstacles for many countries. Local communities often oppose the installation of RES infrastructure, while the bureaucracy required by public authorities further complicates the situation. An additional challenge stems from the outdated transmission lines in many networks, which necessitate upgrades to support such energy transitions, with the associated costs and time requirements posing significant barriers.

A second and major factor hindering the realization of the EU and U.S. goals is China's energy policy. In contrast to the sustainable reforms mentioned earlier, China prioritizes maximizing economic profits, showing little regard for the environmental consequences of its extensive coal usage. This approach creates unfair competition, benefiting China while significantly disadvantaging the EU and U.S. in terms of energy and the surrounding economy.

The aim of this thesis is to highlight the current state of electricity distribution networks in Europe and explore how they can realistically evolve in the coming years. By gathering data, a comprehensive view will be formed of how achievable the EU's energy neutrality target is, while also examining how the energy policies of other nations impact the formulation and success of such strategies.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	6
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στα Δίκτυα Διανομής Ενέργειας	8
1.1 Βασική Δομή και Λειτουργία	8
1.1.1 Τα Είδη των Δικτύων.....	8
1.1.2 Στάδια Διανομής Ενέργειας	9
1.2 Τεχνολογία και Εξέλιξη των Δικτύων Διανομής.....	10
1.2.1 Παραδοσιακά vs Έξυπνα Δίκτυα	11
1.2.2 Εφαρμογές Νέων Τεχνολογιών στα Έξυπνα Δίκτυα	13
1.3 Αποδοτικότητα και Απώλειες Ενέργειας.....	17
1.3.1 Απώλειες κατά την Μεταφορά.....	17
1.3.2 Μέθοδοι βελτίωσης της Απόδοσης.....	22
1.4 Ασφάλεια και Αξιοπιστία	24
1.4.1 Προκλήσεις στην Ασφάλεια	24
1.4.2 Μέτρα Ασφάλειας	25
1.5 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Δίκτυα Διανομής.....	27
1.5.1 ΑΠΕ	27
1.5.2 Εξέλιξη των δικτύων και ΑΠΕ	34
1.5.3 Αποθήκευση Ενέργειας.....	39
1.6 Κανονισμοί και Πολιτική	39
Κεφάλαιο 2: Η Εξέλιξη του Δικτύου Διανομής της Ελλάδας	41
2.1 Το Δίκτυο σήμερα	41
2.2 Επενδύσεις στο Δίκτυο	43
2.3 Οι Ενεργειακοί Ρύποι της Ελλάδας	50
Κεφάλαιο 3: Δίκτυα Διανομής Ενέργειας στην ΕΕ	52
3.1 Ενεργειακές πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	52
3.1.1 The Grid Action Plan	54
3.1.2 Λοιπές πολιτικές και μέτρα	56
3.2 Ανάλυση επιτευξιμότητας του European Green Deal	60
Κεφάλαιο 4: Οι Ανταγωνιστές και οι Πολιτικές τους	72
4.1 ΗΠΑ και Inflation Reduction Act	72
4.2 Κίνα	75

4.2.1	Ενεργειακές πολιτικές.....	75
4.2.2	Ενεργειακή Εξάρτηση της Κίνας από τον Άνθρακα.....	76
4.2.3	Επιρροή της Κίνας στην Παγκόσμια Αγορά	80
Κεφάλαιο 5: Διαχείριση αθέμιτου ανταγωνισμού και περιορισμός άνθρακα		83
5.1	Στόχος και Λειτουργία του Border Carbon Adjustment (BCA)	84
5.2	Πλεονεκτήματα και Προκλήσεις του BCA	84
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα		85
Κεφάλαιο 7: Βιβλιογραφία		86

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενεργειακή πολιτική είναι ιδιαίτερα κρίσιμη τόσο για την ανταγωνιστικότητα όσο και την ασφάλεια και την απανθρακοποίηση της Ευρώπης, με βασικό στόχο να επιτύχει κλιματική ουδετερότητα μέχρι το 2050, καθώς και άλλους επιμέρους στόχους, όπως η μηδενική ρύπανση, η προστασία της βιοποικιλότητας και η κυκλική οικονομία. Έχοντας σαν θεμέλιο την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία και λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η ενέργεια είναι υπεύθυνη για το 75% περίπου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG), η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει θεσπίσει ένα σταθερό και φιλόδοξο πλαίσιο ενεργειακής πολιτικής.

Το 2023 και το 2024, η Επιτροπή ενοποίησε το απαραίτητο πολιτικό πλαίσιο για την επίτευξη των διεθνών δεσμεύσεων και των ενεργειακών και κλιματικών στόχων της Ένωσης. Με την επίτευξη πολιτικών συμφωνιών σε όλα τα βασικά νομοθετικά αρχεία του Πακέτου «Fit for 55», η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δημιουργήσει ένα ξεκάθαρο πλάνο προς τους στόχους του 2030 (Ευρωπαϊκή Ένωση, 2023).

Ο πόλεμος της Ρωσίας εναντίον της Ουκρανίας και η χρήση της ενέργειας ως όπλου απειλούν την ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης και, ως εκ τούτου, την οικονομική της ασφάλεια. Σε απάντηση, η ΕΕ Ξεκίνησε το σχέδιο REPowerEU για την εξάλειψη της εξάρτησης της Ρωσίας από τα ορυκτά καύσιμα και έλαβε ειδικά μέτρα για τη διασφάλιση της ενεργειακής ασφάλειας και τη σταθεροποίηση της αγοράς.

Ο ρυθμός χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει φτάσει σε επίπεδα ρεκόρ τα τελευταία χρόνια. Η ΕΕ έχει επίσης μειώσει την εξάρτηση της από την Ρωσία όσον αφορά το ορυκτό αέριο και η εξοικονόμηση ενέργειας έχει περιορίσει σε ένα βαθμό την κατανάλωση. Ωστόσο, η ενεργειακή ασφάλεια της ΕΕ εξακολουθεί να αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως η εξάρτηση από τις εισαγωγές και οι κίνδυνοι για την ασφάλεια, καθώς και οι αυξανόμενες απειλές από την κλιματική αλλαγή και την υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Οι ευρωπαϊκές βιομηχανίες αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις λόγω της αυξημένης ανταγωνιστικότητας από την Κίνα, των υψηλών διαφορών τιμών ενέργειας σε σύγκριση με άλλους βιομηχανικούς ανταγωνιστές όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες και της πιθανής στρατηγικής εξάρτησης από τις τεχνολογίες καθαρής ενέργειας. Ταυτόχρονα, οι πολίτες αντιμετωπίζουν υψηλούς λογαριασμούς ενέργειας, οι οποίοι, σε συνδυασμό με το αυξανόμενο κόστος ζωής, μειώνουν ολοένα και πιο πολύ την αγοραστική τους δύναμη.

Επιπλέον, ο ρυθμός επίτευξης των στόχων της ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πρέπει να επιταχυνθεί περαιτέρω για να διασφαλιστεί η επίτευξή τους.

Η μετάβαση στην καθαρή ενέργεια είναι το κλειδί για την παροχή βιώσιμης, ανταγωνιστικής, ασφαλούς, και προσιτής ενέργειας για τις επιχειρήσεις και τους πολίτες, τη διατήρηση των βιομηχανιών, εξασφαλίζοντας ποιοτικές θέσεις εργασίας στην ΕΕ και οικονομική ασφάλεια. Η γενική γεωγραφική-οικονομική κατάσταση απαιτεί από την Επιτροπή και την ΕΕ να παρέχουν συγκεκριμένα αποτελέσματα.

Μέσα από την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία παρουσιάζεται μια ανάλυση των στόχων της ΕΕ για ένα πιο βιώσιμο πλανήτη αναλύοντας τόσο τις υφιστάμενες πολιτικές Ευρώπης, Αμερικής και Κίνας, όσο και την κατάσταση και απόδοση των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Έναν πρωταρχικό παράγοντα που χρήζει σημαντικής αναβάθμισης αν οι χώρες, κράτη – μέλη της ΕΕ θέλουν να ελπίζουν σε ένα πιο πράσινο μέλλον .

Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια εισαγωγή στα Δίκτυα Διανομής ενώ παράλληλα αναλύονται τα στάδια του. Αρχικά γίνεται μια ανάλυση των διαφορών μεταξύ των παραδοσιακών δικτύων και των smart grids, ενώ στην συνέχεια παρουσιάζονται όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν

την απόδοση ενός δικτύου. Τόσο η χρήση των ΑΠΕ όσο και η προσπάθεια για μείωση των απωλειών των δικτύων είναι θέματα μείζονος σημασίας για την εξέλιξη και την απόδοση της εγκατάστασης τους. Στο τέλος του πρώτου κεφαλαίου γίνεται μια αναφορά σε πολιτικές και κανονισμούς που έχουν αρχίσει να εφαρμόζονται τα τελευταία χρόνια, τα οποία και αναλύονται περαιτέρω στο κεφάλαιο 3.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά την ενεργειακή κατάσταση και δικτύωση της Ελλάδας. Ο Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) είναι ο εθνικός αρμόδιος φορέας και μέσα από τα στοιχεία του γίνεται μια ανάλυση του κατά πόσο συμβαδίζει η ενεργειακή πορεία της Ελλάδας με αυτή της ΕΕ. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα, ενώ παράλληλα γίνεται εκτενής αναφορά στην στοχοθεσία και σε επενδύσεις της ΔΕΔΔΗΕ.

Όλες οι κύριες Ευρωπαϊκές πολιτικές για την επίτευξη μηδενικών ρίπων έως το 2050 αλλά και των επιμέρους πιο άμεσων στόχων αναλύονται στην Τρίτη ενότητα. Αρχικά αναγράφεται όλο το χρονικό ψήφισης, τροποποιήσεων και εφαρμογής των παραπάνω κλιματικών πολιτικών και μετέπειτα μέσα από διάφορες προβλέψεις παρουσιάζονται πιθανά σενάρια για την επίτευξη ή όχι των ενεργειακών αυτών στόχων.

Στην συνέχεια, στο τέταρτο κεφάλαιο η ανάλυση επεκτείνεται γύρω από τους ανταγωνιστές της Ευρώπης και τις ενεργειακές τους πολιτικές. Εκεί γίνεται μία εισαγωγή το πρόγραμμα IRA της Αμερικής και το πως αυτό επηρεάζει την Ευρώπη ενεργειακά και οικονομικά επεκτείνοντας μετέπειτα την ανάλυση αυτή στην περίπτωση της Κίνας. Μιας χώρας με τεράστια παραγωγή ενέργειας με ελάχιστους περιβαλλοντικούς κανονισμούς.

Τέλος, αφού έχει αναλυθεί διεξοδικά το πως η τόσο έντονη χρήση άνθρακα από την Κίνα επηρεάζει τόσο το περιβάλλον όσο και την παγκόσμια αγορά και πολιτική της ενέργειας, γίνεται μια αναφορά σε κάποια νέα μέτρα που σκοπό έχουν να περιορίσουν την αλόγιστη χρήση άνθρακα εντός και εκτός ΕΕ. Η διπλωματική κλείνει με κάποια συμπεράσματα όσον αφορά την υφιστάμενη κατάσταση και το μέλλον που πλησιάζει.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στα Δίκτυα Διανομής Ενέργειας

1.1 Βασική Δομή και Λειτουργία

Τα δίκτυα διανομής ενέργειας αποτελούν κρίσιμη συνιστώσα των σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων, καθώς εξασφαλίζουν τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τις πηγές παραγωγής στους τελικούς καταναλωτές. Στη σύγχρονη κοινωνία, όπου η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για την οικονομική ανάπτυξη και την κοινωνική ευημερία, τα δίκτυα διανομής διαδραματίζουν κομβικό ρόλο στη διασφάλιση αξιόπιστης, ασφαλούς και αδιάλειπτης παροχής ενέργειας. Στην ουσία, τα δίκτυα διανομής λειτουργούν ως το τελευταίο τμήμα της αλυσίδας παροχής ενέργειας, το οποίο συνδέει τα συστήματα μεταφοράς υψηλής τάσης με τους τελικούς χρήστες σε τοπικό επίπεδο (Lakervi, 1995).

Η δομή και η λειτουργία των δικτύων διανομής διαφέρει από εκείνη των δικτύων μεταφοράς, κυρίως ως προς τα επίπεδα τάσης και την κάλυψη μικρότερων αποστάσεων. Τα δίκτυα μεταφοράς λειτουργούν σε υψηλότερες τάσεις και καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις, μεταφέροντας ενέργεια από τα κέντρα παραγωγής σε περιοχές κατανάλωσης. Αντίθετα, τα δίκτυα διανομής λειτουργούν σε χαμηλότερες τάσεις και διασφαλίζουν τη διοχέτευση της ενέργειας σε μικρότερες περιοχές, φέρνοντας την ηλεκτρική ενέργεια πιο κοντά στους τελικούς καταναλωτές (Georgilakis, 2015). Η αποτελεσματικότητα των δικτύων διανομής είναι κρίσιμη για την αποφυγή ενεργειακών απωλειών και τη διασφάλιση της ποιότητας του ρεύματος που φτάνει στους καταναλωτές.

Ο κύριος στόχος των δικτύων διανομής είναι να παρέχουν σταθερή και ασφαλή ενέργεια στους χρήστες σε κατάλληλα επίπεδα τάσης για την καθημερινή χρήση, όπως ο φωτισμός, η θέρμανση, η ψύξη, και η λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών. Επιπλέον, τα δίκτυα διανομής συμβάλλουν στην αειφόρο ανάπτυξη και την ενεργειακή απόδοση, καθώς τα σύγχρονα συστήματα διανομής ενσωματώνουν τεχνολογίες παρακολούθησης και αυτοματισμού για τη βέλτιστη λειτουργία τους.

1.1.1 Τα είδη των δικτύων

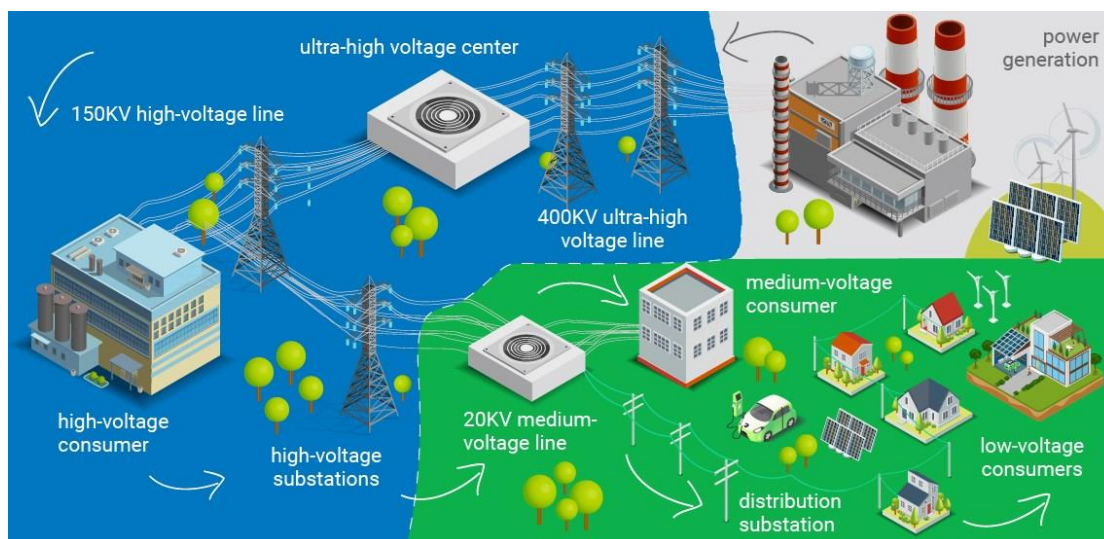
Τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής ενέργειας αποτελούν κρίσιμα στοιχεία του ενεργειακού συστήματος, αλλά διαφέρουν σημαντικά στον ρόλο, τη δομή και τη λειτουργία τους (Kabouris ΑΔΜΗΕ, 2018). Τα δίκτυα μεταφοράς είναι υπεύθυνα για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, από τους σταθμούς παραγωγής έως τα σημεία διανομής. Λειτουργούν σε υψηλή ή υπερυψηλή τάση (συνήθως 110-400 kV), προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες κατά τη μεταφορά. Αντίθετα, τα δίκτυα διανομής παραδίδουν την ηλεκτρική ενέργεια στους τελικούς καταναλωτές (οικιακούς, εμπορικούς ή βιομηχανικούς) μέσω γραμμών μέσης και χαμηλής τάσης, που κυμαίνονται από 1 kV έως 35 kV.

Η κύρια διαφορά ανάμεσα στα δύο δίκτυα είναι ο σκοπός τους. Τα δίκτυα μεταφοράς επικεντρώνονται στη μετακίνηση μεγάλων όγκων ενέργειας μεταξύ των περιοχών παραγωγής και των κέντρων κατανάλωσης, εξασφαλίζοντας τη σταθερότητα του συστήματος και την ενοποίηση των αγορών ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, τα δίκτυα διανομής εστιάζουν στην τοπική παροχή ενέργειας, διασφαλίζοντας ότι η ενέργεια φτάνει με ασφάλεια και αξιοπιστία στους καταναλωτές. Επίσης, τα δίκτυα διανομής είναι πιο πολύπλοκα όσον αφορά τη γεωγραφική κάλυψη, καθώς πρέπει να καλύπτουν ευρύτερες και πιο διάσπαρτες περιοχές.

Τεχνολογικά, τα δίκτυα μεταφοράς ενσωματώνουν γραμμές υψηλής απόδοσης και μεγάλα υποσταθμούς για τη μείωση της τάσης σε κατάλληλα επίπεδα για τα δίκτυα διανομής. Τα δίκτυα διανομής, από την άλλη, ενσωματώνουν περισσότερους τοπικούς υποσταθμούς και έξυπνες τεχνολογίες (όπως έξυπνους μετρητές) για την ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και την ευελιξία στη διαχείριση της ζήτησης. Παρά τις διαφορές τους, και τα δύο δίκτυα συνεργάζονται στενά για την ομαλή λειτουργία του ενεργειακού συστήματος, αντιμετωπίζοντας από κοινού τις προκλήσεις της ενεργειακής μετάβασης και της αυξημένης ζήτησης.

1.1.2 Στάδια Διανομής Ενέργειας

Η διανομή ενέργειας περιλαμβάνει διάφορα στάδια, ξεκινώντας από τη στιγμή που παράγεται και εισάγεται ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο και τελειώνει τη στιγμή που φτάνει στον τελικό χρήστη. Τα βασικά στάδια της διανομής ενέργειας παρουσιάζονται στην **Εικόνα 1.1** του ΔΕΔΔΗΕ και μπορούν να αναλυθούν ως εξής:



Εικόνα 1.1 Στάδια Μεταφοράς και Διανομής Ενέργειας. Στο μπλε κομμάτι παρουσιάζεται η μεταφορά ενώ στο πράσινο η διανομή. (ΔΕΔΔΗΕ, χ.χ.)

Το πρώτο στάδιο της αλυσίδας διανομής ενέργειας είναι η μεταφορά ενέργειας από το εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας στο κέντρο κατανάλωσης. Η μεταφορά γίνεται μέσω γραμμής υψηλής τάσης, συνήθως σε επίπεδα τάσης από 110kV έως 400kV. Αυτό το στάδιο στοχεύει στη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας με ελάχιστη απώλεια ενέργειας. Η χρήση υψηλής τάσης μειώνει τις απώλειες ενέργειας κατά τη μεταφορά και ένα μεγάλο δίκτυο μεταφοράς καθιστά δυνατή τη σύνδεση σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με κέντρα κατανάλωσης σε μεγάλες αποστάσεις.

Αφότου φθάνει η ενέργεια στο κέντρο κατανάλωσης, το επόμενο στάδιο είναι να μετατραπεί η υψηλή τάση στη μέση τάση, συνήθως μεταξύ 10kV και 35kV, στον υποσταθμό διανομής. Αυτοί οι υποσταθμοί χρησιμεύουν ως κόμβοι που μειώνουν την τάση της ενέργειας σε ασφαλέστερα και πιο πρακτικά επίπεδα για τοπική διανομή. Οι υποσταθμοί διανομής βρίσκονται συνήθως κοντά σε αστικές περιοχές και εξυπηρετούν την κοινότητα, διασφαλίζοντας ότι η ενέργεια διανέμεται αποτελεσματικά και χωρίς διακοπή. Η λειτουργία

του υποσταθμού διανομής είναι σημαντική για τη διασφάλιση της ασφάλειας του δικτύου και την αποφυγή υπερφόρτωσης που μπορεί να προκαλέσει αστοχίες του συστήματος.

Από τους υποσταθμούς διανομής, η ενέργεια διανέμεται σε μικρούς τοπικούς υποσταθμούς μέσω δικτύων μέσης τάσης ή απευθείας σε βιομηχανικούς και εμπορικούς χρήστες με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις. Το δίκτυο μέσης τάσης καλύπτει την απόσταση μεταξύ του κεντρικού υποσταθμού και του τελικού υποσταθμού ή του χρήστη και η τάση διατηρείται σε επίπεδα που κυμαίνονται από 10kV έως 35kV. Σε αυτό το στάδιο, είναι σημαντικό να διατηρηθεί η σταθερότητα του δικτύου και να αποφευχθούν διακοπές που μπορούν να επηρεάσουν την παροχή ρεύματος σε βιομηχανικές διαδικασίες και εμπορικές επιχειρήσεις.

Οι υποσταθμοί μέσης έως χαμηλής τάσης είναι το επόμενο στάδιο της διαδικασίας διανομής. Σε αυτούς τους υποσταθμούς, η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται από μέση τάση σε χαμηλή τάση, συνήθως 230V για οικιακή χρήση και 400V για εμπορική χρήση. Αυτοί οι υποσταθμοί βρίσκονται κοντά σε κατοικημένες περιοχές και εξυπηρετούν τον τελικό καταναλωτή. Στόχος τους είναι να εξασφαλίσουν μια ασφαλή και αξιόπιστη παροχή ρεύματος σε επίπεδο τάσης κατάλληλο για καθημερινή χρήση.

Από τον υποσταθμό χαμηλής τάσης, η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στον τελικό χρήστη μέσω του δικτύου χαμηλής τάσης. Τα δίκτυα αυτά εξυπηρετούν κυρίως οικιακούς και μικρούς εμπορικούς χρήστες, εξασφαλίζοντας ότι η ηλεκτρική ενέργεια φτάνει σε σπίτια, καταστήματα και μικρές επιχειρήσεις. Τα δίκτυα χαμηλής τάσης αποτελούν το τελευταίο μέρος της αλυσίδας διανομής και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διασφάλιση της ποιότητας της ενέργειας που χρησιμοποιείται καθημερινά.

Οι τελικοί χρήστες ηλεκτρικής ενέργειας είναι νοικοκυριά, επιχειρήσεις και βιομηχανίες που καταναλώνουν ενέργεια για ποικίλες χρήσεις. Σε αυτό το στάδιο, η ενέργεια χρησιμοποιείται για καθημερινές ανάγκες: θέρμανση, ψύξη, φωτισμός, λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών. Ο τελικός χρήστης συνδέεται στο δίκτυο μέσω δικτύου χαμηλής τάσης και βασίζεται στην αξιόπιστη παροχή ρεύματος χωρίς διακοπή για τη λειτουργία της δραστηριότητάς.

Η δομή και η λειτουργία του δικτύου διανομής ενέργειας είναι θεμελιώδους σημασίας για την αδιάλειπτη παροχή ενέργειας στους τελικούς χρήστες. Καθώς τα ενεργειακά συστήματα συνεχίζουν να εξελίσσονται και να εκσυγχρονίζονται, η σημασία της βελτίωσης των δικτύων διανομής καθίσταται όλο και πιο σημαντική, ιδίως με την ενσωμάτωση έξυπνων τεχνολογιών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι μελλοντικές προκλήσεις, όπως η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης, η ασφάλεια και η ανάγκη ανθεκτικότητας του συστήματος, καθιστούν τα δίκτυα διανομής κεντρικό σημείο αναφοράς των παγκόσμιων ενεργειακών στρατηγικών.

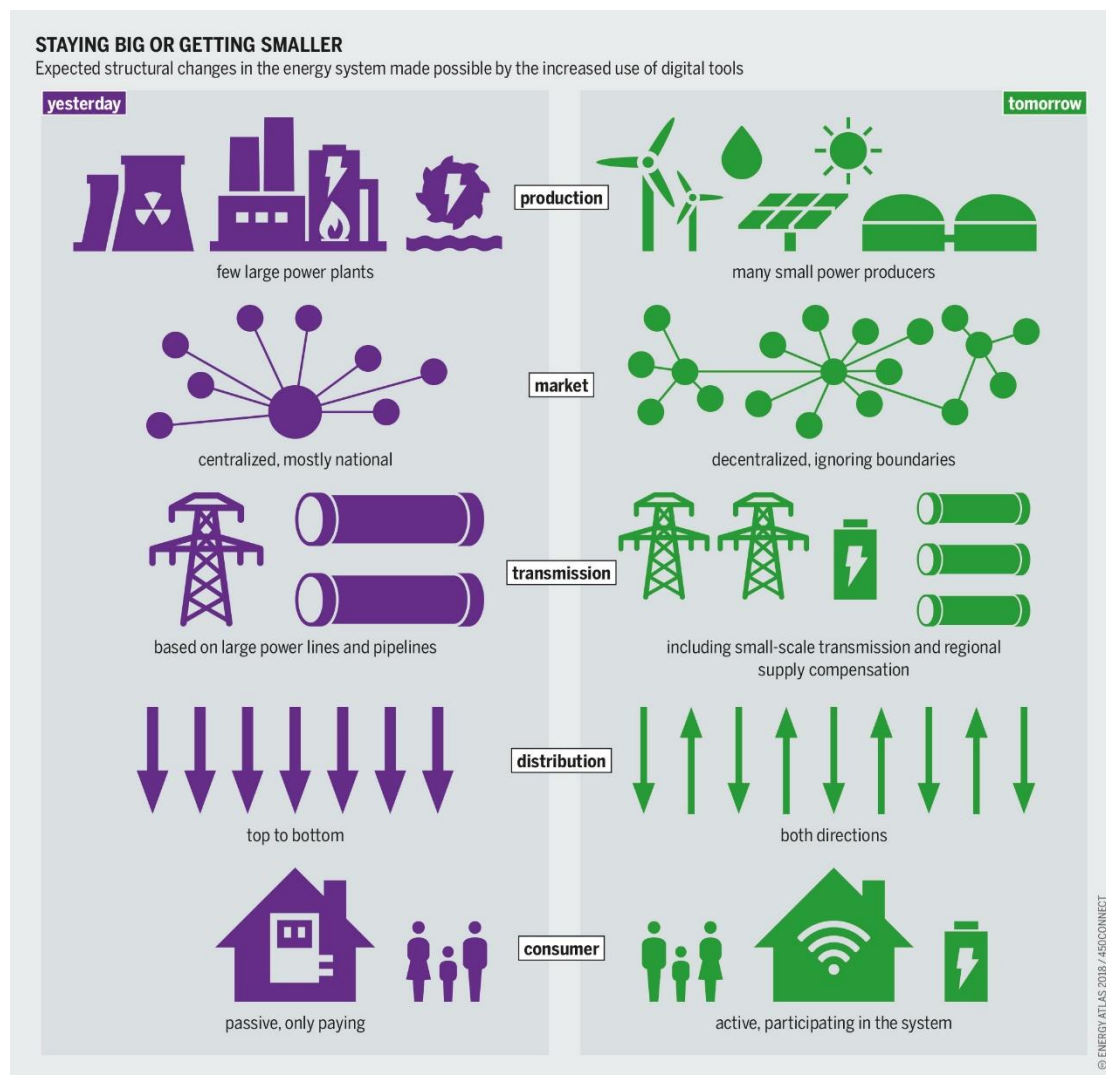
1.2. Τεχνολογία και Εξέλιξη των Δικτύων Διανομής

Λόγω της αυξανόμενης παγκόσμιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και των προκλήσεων της κλιματικής αλλαγής που απαιτούν πιο αποδοτικά και βιώσιμα ενεργειακά συστήματα, η τεχνολογία και η ανάπτυξη των δικτύων διανομής ενέργειας έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο τα τελευταία χρόνια. Μια από τις σημαντικότερες τεχνολογικές εξελίξεις ήταν η μετάβαση από τα παραδοσιακά δίκτυα διανομής στα έξυπνα δίκτυα (Smart Grids) (Colak, 2015). Οι διαφορές μεταξύ των δύο μοντέλων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας και οι νέες

ενσωματωμένες τεχνολογίες των smart grids αλλάζουν τον τρόπο με τον οποίο διανέμεται, διαχειρίζεται και καταναλώνεται η ενέργεια.

1.2.1 Παραδοσιακά vs Έξυπνα Δίκτυα

Τα παραδοσιακά δίκτυα διανομής χρησιμοποιούνται εδώ και δεκαετίες και εξακολουθούν να αποτελούν τη βάση της ενεργειακής υποδομής σε πολλές χώρες. Ωστόσο, έχουν σχεδιαστεί για να στέλνουν ενέργεια σε μία μόνο, σταθερή κατεύθυνση από κεντρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας στους τελικούς χρήστες (Weisheng Lu et al., 2020). Τα παραδοσιακά δίκτυα είναι σχετικά απλά στη δομή και τη λειτουργία τους, αλλά έχουν περιορισμούς που τα καθιστούν λιγότερο αποδοτικά και ευέλικτα στις σύγχρονες απαιτήσεις (**Εικόνα 1.2**).

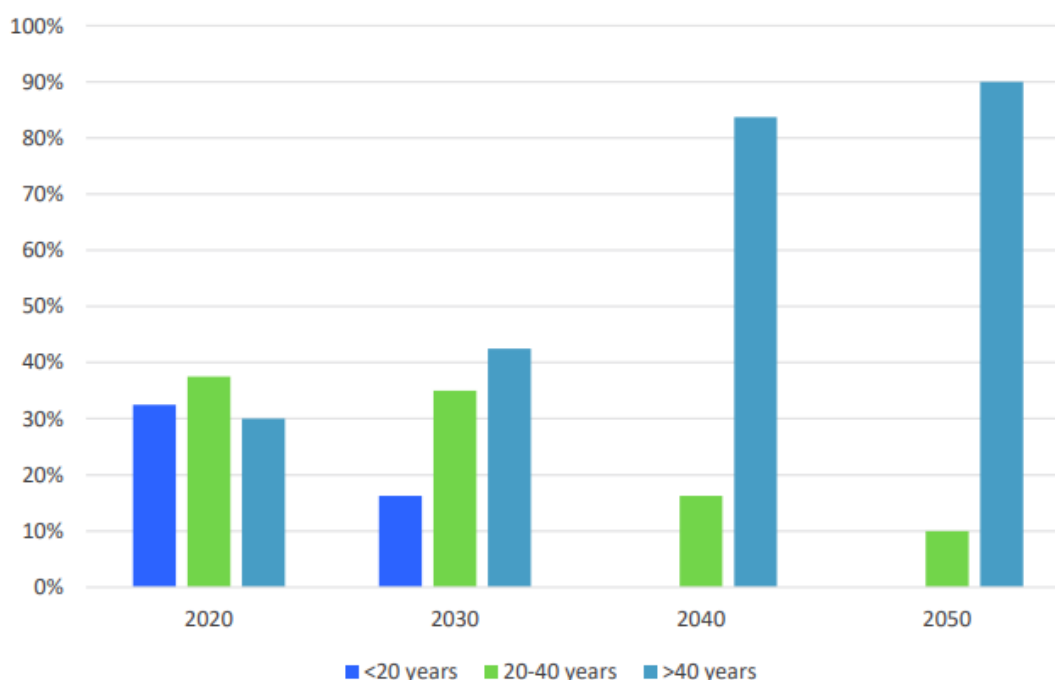


Εικόνα 1.2 Κύριες Διαφορές μεταξύ Παραδοσιακών και έξυπνων δικτύων. (Weisheng Lu et al., 2020)

Χαρακτηριστικά των Παραδοσιακών Δικτύων:

Μονή ροή ενέργειας: Στα παραδοσιακά δίκτυα, η ενέργεια ρέει από τον σταθμό παραγωγής ενέργειας στον καταναλωτή χωρίς αλληλεπίδραση ή ανατροφοδότηση από τον χρήστη. Η κεντρική παραγωγή ενέργειας δεν προσαρμόζεται άμεσα στη ζήτηση σε πραγματικό χρόνο.

Περιορισμένη ικανότητα παρακολούθησης και διαχείρισης: Στα παραδοσιακά δίκτυα μεταφοράς, η κατανάλωση ενέργειας και οι βλάβες του συστήματος παρακολουθούνται με περιορισμένα και κατακερματισμένα δεδομένα. Οι διαχειριστές του δικτύου συχνά δεν είναι σε θέση να έχουν άμεση πλήρης εικόνα των προβλημάτων ή των βλαβών, γεγονός που καθυστερεί την επιδιόρθωση. Επίσης το 30% των εφιστάμενων δικτύων είναι άνω των 40χρόνων, (Σχήμα 1.1) με ότι συνεπάγεται αυτό για την τεχνολογία που τα συνοδεύει και τις φθορές τις οποίες αντιμετωπίζουν.



Σχήμα 1.1 Ηλικία της υποδομής του δικτύου (γραμμές ισχύος χαμηλής τάσης) Προοδευτική γήρανση των υφιστάμενων δικτύων, εάν καμία από τις υποδομές δεν αντικατασταθεί μετά το 2024 στην ΕΕ27 + Νορβηγία. (ΕΥ, 2024)

Χαμηλή ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Τα παραδοσιακά δίκτυα μεταφοράς έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν με μεγάλες, εντατικές πηγές ενέργειας, όπως θερμοηλεκτρικοί και υδροηλεκτρικοί σταθμοί. Είναι δύσκολο να ενσωματωθούν αποκεντρωμένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά, οι οποίες απαιτούν σημαντικές αλλαγές στη δομή του δικτύου.

Αδυναμία αντιμετώπισης αυξημένης ζήτησης και εξισορρόπησης φορτίου: Τα παραδοσιακά δίκτυα αντιμετωπίζουν προκλήσεις όταν η ζήτηση αυξάνεται ή η κατανάλωση παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε υπερφόρτωση και διακοπές ρεύματος.

Αντίθετα, τα έξυπνα δίκτυα (Smart Grids), αποτελούν μια καινοτόμο προσέγγιση για τη διανομή και τη διαχείριση της ενέργειας (Kakran, 2018). Συνδυάζουν την παραδοσιακή υποδομή με την πιο σύγχρονη τεχνολογία πληροφοριών, αισθητήρες, συστήματα επικοινωνίας και αυτοματισμούς, επιτρέποντας αμφίδρομες ροές ενέργειας και πληροφοριών μεταξύ σταθμών παραγωγής ενέργειας, υποσταθμών και καταναλωτών.

Χαρακτηριστικά των έξυπνων δικτύων.

Αμφίδρομη ροή ενέργειας και πληροφοριών: Τα έξυπνα δίκτυα επιτρέπουν την αμφίδρομη ροή ενέργειας και την ενσωμάτωση αποκεντρωμένων πηγών, όπως οι ανεμογεννήτριες και τα ηλιακά πάνελ που βρίσκονται εγκατεστημένες σε σπίτια και επιχειρήσεις. Οι καταναλωτές μπορούν να γίνουν οι ίδιοι παραγωγοί και να παρέχουν ενέργεια στο δίκτυο.

Προηγμένη παρακολούθηση και διαχείριση: Αισθητήρες και συστήματα επικοινωνίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την άμεση παρακολούθηση της κατανάλωσης και της κατάστασης του δικτύου σε πραγματικό χρόνο. Οι διαχειριστές λαμβάνουν άμεσα δεδομένα και μπορούν να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα πριν προκαλέσουν διακοπές ή βλάβες.

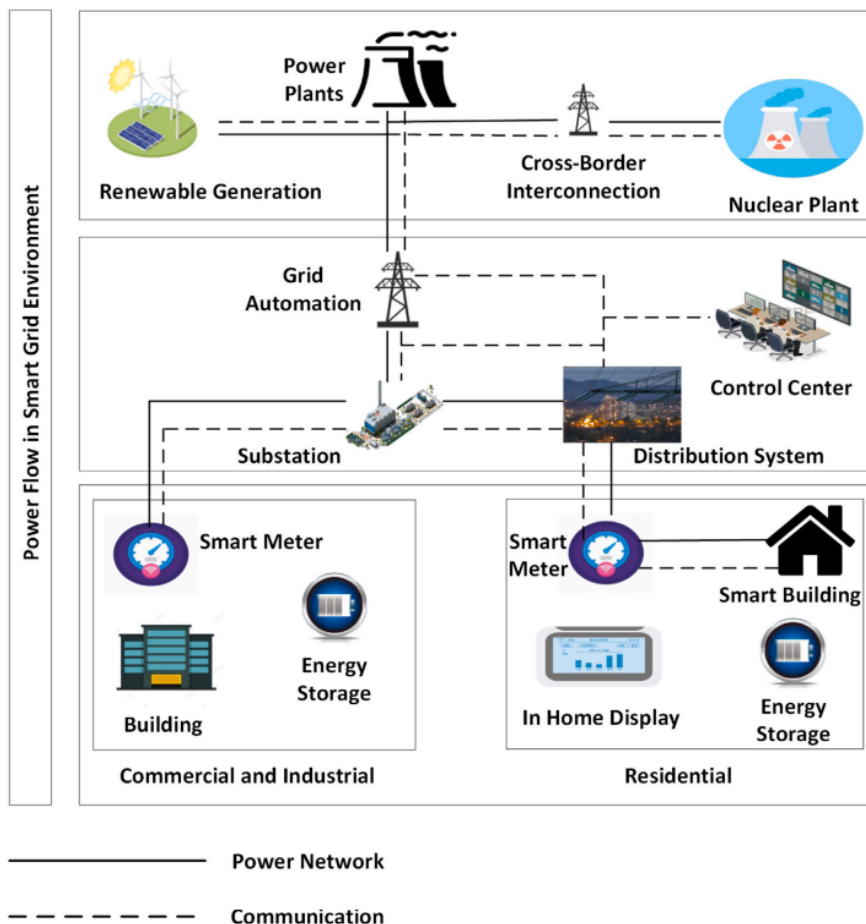
Βελτιστοποίηση της κατανάλωσης και της παραγωγής: Τα έξυπνα δίκτυα επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση της παραγωγής και της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της διαχείρισης ζήτησης (demand response), προσαρμόζοντας την προσφορά ενέργειας στις διακυμάνσεις της ζήτησης. Κάτι τέτοιο, μειώνει τις απώλειες και βελτιώνει την αποδοτικότητα του συστήματος.

Μεγαλύτερη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: τα έξυπνα δίκτυα είναι σχεδιασμένα ώστε να ενσωματώνουν ευκολότερα τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τόσο σε κεντρικά όσο και σε αποκεντρωμένα μέρη. Η διακοπτόμενη παραγωγή (λόγω καιρικών συνθηκών) μπορεί να διαχειριστεί πιο αποτελεσματικά μέσω της χρήσης συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας και παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο.

Αυτοματοποίηση και αυτοεπιδιόρθωση: Μέσω της αυτοματοποίησης του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, τα έξυπνα δίκτυα μπορούν να επιδιορθώνουν αυτόματα τις βλάβες, να ανιχνεύουν τα προβλήματα σε πραγματικό χρόνο και να ενεργοποιούν τη διαδικασία επιδιόρθωσης χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης. Αυτό μειώνει τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και βελτιώνει την αξιοπιστία του δικτύου.

1.2.2 Εφαρμογές Νέων Τεχνολογιών στα Έξυπνα Δίκτυα

Η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών αποτελεί τη βάση για τη λειτουργία των έξυπνων δικτύων, βελτιώνοντας τη διαχείριση, την απόδοση και την ευελιξία του ενεργειακού συστήματος. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα έξυπνα δίκτυα περιλαμβάνουν αισθητήρες, αυτοματισμούς, συστήματα επικοινωνιών και συστήματα ανάλυσης δεδομένων, που επιτρέπουν την παρακολούθηση και τον έλεγχο του δικτύου σε πραγματικό χρόνο (**Σχήμα 1.2**).



Σχήμα 1.2 Ροή ενέργειας σε ένα έξυπνο Δίκτυο (M.A. Judge et al., 2022)

- **Αισθητήρες και μετρητές**

Οι αισθητήρες και οι έξυπνοι μετρητές αποτελούν βασικά στοιχεία του έξυπνου δικτύου (Alonso et al., 2020), επιτρέποντας την καταγραφή και την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Οι έξυπνοι μετρητές αντικαθιστούν τους παραδοσιακούς μετρητές και παρέχουν στους καταναλωτές και τους διαχειριστές του δικτύου λεπτομερή δεδομένα σχετικά με τη χρήση ενέργειας (Ourahou et al., 2020). Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να βελτιστοποιήσουν την κατανάλωση, να βελτιώσουν τη διαχείριση του φορτίου και να αποτρέψουν την υπερκατανάλωση.

Αισθητήρες μπορούν επίσης να εγκατασταθούν σε διάφορα σημεία του δικτύου για την παρακολούθηση της απόδοσης των γραμμών μεταφοράς, των μετασχηματιστών και των υποσταθμών. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να προβλέψουν πιθανές βλάβες, να βελτιστοποιήσουν τη συντήρηση και να αποτρέψουν τα προβλήματα προτού οδηγήσουν σε διακοπές και ζημιές (Dileep, 2020).

Οι αισθητήρες σε κρίσιμα σημεία του δικτύου μπορούν επίσης να ανιχνεύουν απώλειες ισχύος, διαρροές και προβλήματα ποιότητας ενέργειας (π.χ. διακυμάνσεις τάσης), υποστηρίζοντας την αποτελεσματικότερη διαχείριση των πόρων και τη μείωση του λειτουργικού κόστους.

- **Αυτοματισμοί**

Οι αυτοματισμοί στα έξυπνα δίκτυα επιτρέπουν την αυτοματοποίηση πολλών διαδικασιών που προηγουμένως απαιτούσαν ανθρώπινη παρέμβαση (Sayed et al., 2017). Αυτό σημαίνει ότι τα smart grids έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν χωρίς άμεση ανθρώπινη παρέμβαση όποτε αυτό κι αν χρειαστεί, σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης ή και σε άλλες καθημερινές διαδικασίες.

Για παράδειγμα, σε περίπτωση βλάβης, το έξυπνο δίκτυο μπορεί να απομονώσει αυτόματα την περιοχή που υπέστη βλάβη και να ενεργοποιήσει εναλλακτικές διαδρομές για τη μεταφορά ενέργειας, αποκαθιστώντας έτσι τη λειτουργία του δικτύου ταχύτερα. Επιπλέον, με την ενσωμάτωση ευφύων συστημάτων διαχείρισης φορτίου, το έξυπνο δίκτυο μπορεί να εξισορροπεί αυτόματα την κατανάλωση και την παραγωγή ενέργειας, να ελαχιστοποιεί τις υπερφορτώσεις και να βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση.

- **Δίκτυα Επικοινωνιών**

Τα δίκτυα επικοινωνίας αποτελούν το θεμέλιο της λειτουργίας του έξυπνου δικτύου και επιτρέπουν την αμφίδρομη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των καταναλωτών, των διαχειριστών του δικτύου, των εγκαταστάσεων παραγωγής και των υποδομών του δικτύου (Kabalcı, 2016). Τα δεδομένα που συλλέγονται από αισθητήρες και μετρητές μεταδίδονται μέσω ασφαλών και αξιόπιστων δικτύων επικοινωνίας, επιτρέποντας στους διαχειριστές του δικτύου να λαμβάνουν αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο.

Τα δίκτυα αυτά λειτουργούν με τεχνολογίες όπως καλώδια οπτικών ινών, ασύρματες επικοινωνίες (Wi-Fi, 5G) και ευρυζωνικά δίκτυα. Η αξιοποίηση τεχνολογιών αιχμής για τη μετάδοση δεδομένων επιτρέπει την άμεση ανταπόκριση σε προβλήματα, βελτιώνοντας τη διαχείριση του φορτίου και ενισχύοντας την ασφάλεια και την ανθεκτικότητα του δικτύου.

- **Ανάλυση Δεδομένων και Τεχνητή Νοημοσύνη (AI)**

Η συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων από ένα έξυπνο δίκτυο δεν έχει καμία αξία χωρίς τα κατάλληλα εργαλεία για την ανάλυσή τους. Χρησιμοποιώντας την ανάλυση μεγάλων δεδομένων (Big Data) και τους αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης (AI), οι διαχειριστές του δικτύου μπορούν να αποκτήσουν γνώσεις σχετικά με τη συμπεριφορά της κατανάλωσης ενέργειας, να προβλέψουν πιθανές βλάβες και να βελτιστοποιήσουν τις λειτουργίες του δικτύου (Niu et al., 2021).

Για παράδειγμα, μέσω της ανάλυσης δεδομένων, τα έξυπνα δίκτυα μπορούν να εντοπίζουν τάσεις στην κατανάλωση ενέργειας και να προσαρμόζουν ανάλογα την παραγωγή και τη διανομή ενέργειας. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη των φορτίων και τον εντοπισμό μη φυσιολογικών καταστάσεων (π.χ. διακοπές ρεύματος, διακοπές παροχής ρεύματος, ρευματοκλοπές κ.λπ.).

- **Αποθήκευση ενέργειας**

Η δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία για την αποτελεσματική λειτουργία ενός έξυπνου δικτύου. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες μεγάλης κλίμακας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και την παροχή της στο δίκτυο όταν η ζήτηση αυξάνεται (Tan et al., 2021).

Το χαρακτηριστικό αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες συχνά χαρακτηρίζονται από διακοπτόμενη παραγωγή (π.χ. ηλιακή ενέργεια τη νύχτα ή αιολική ενέργεια σε περιόδους απουσίας ανέμου). Με την αποθήκευση ενέργειας, τα έξυπνα δίκτυα μπορούν να εξισορροπήσουν την προσφορά και τη ζήτηση και να μειώσουν την ανάγκη για υπερπαραγωγή συμβατικών πηγών ενέργειας.

- **Microgrids**

Τα microgrids στην Ευρώπη έχουν τις ρίζες τους στις αρχές του 21ου αιώνα, όταν άρχισαν να εμφανίζονται ως λύση για την αποκεντρωμένη παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας. Η Ευρώπη, με την αυξανόμενη διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), έπρεπε να αντιμετωπίσει τη μεταβλητότητα και την ανάγκη για σταθερότητα στα ενεργειακά δίκτυα. Στις πρώτες εφαρμογές, τα microgrids χρησιμοποιήθηκαν κυρίως σε απομονωμένες περιοχές, όπως νησιά ή απομακρυσμένες κοινότητες, όπου η σύνδεση με το κεντρικό δίκτυο ήταν δύσκολη. Οι εξελίξεις στις τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας και στα έξυπνα δίκτυα τη δεκαετία του 2010 οδήγησαν στην ανάπτυξη πιο αποδοτικών και ευέλικτων μικροδικτύων, καθιστώντας τα έναν σημαντικό παράγοντα στην ενεργειακή μετάβαση της Ευρώπης (Saeed et al, 2021).

Τα microgrids λειτουργούν ως τοπικά ενεργειακά συστήματα που μπορούν να παράγουν, να αποθηκεύουν και να καταναλώνουν ενέργεια ανεξάρτητα ή σε σύνδεση με το κεντρικό δίκτυο. Περιλαμβάνουν πηγές παραγωγής, όπως φωτοβολταϊκά συστήματα, ανεμογεννήτριες, και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. μπαταρίες), καθώς και καταναλωτές που χρησιμοποιούν την παραγόμενη ενέργεια (Hatziaargyriou, 2007). Ένα κεντρικό σύστημα ελέγχου διαχειρίζεται την παραγωγή και τη ζήτηση, εξασφαλίζοντας βέλτιστη απόδοση. Σε περιπτώσεις διακοπών ρεύματος, τα microgrids μπορούν να λειτουργούν αυτόνομα (island mode), παρέχοντας αδιάλειπτη ενέργεια στους τοπικούς καταναλωτές. Αυτή η δυνατότητα τα καθιστά ιδανικά για κρίσιμες υποδομές, όπως νοσοκομεία και στρατιωτικές βάσεις, καθώς και για κοινότητες που επιδιώκουν ενεργειακή ανεξαρτησία.

Σήμερα, τα microgrids στην Ευρώπη αναπτύσσονται ραγδαία, με έργα που υποστηρίζονται από την ΕΕ και εθνικές κυβερνήσεις για την ενσωμάτωση ΑΠΕ και τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Οι εφαρμογές τους περιλαμβάνουν ενεργειακές κοινότητες, νησιά, και βιομηχανικές περιοχές. Επίσης, χρησιμοποιούνται για τη μείωση των απωλειών στα δίκτυα και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας σε ακραία καιρικά φαινόμενα. Στο μέλλον, η περαιτέρω ανάπτυξη των microgrids αναμένεται να επικεντρωθεί στη βελτίωση της τεχνολογίας αποθήκευσης, την ενσωμάτωση με τα έξυπνα δίκτυα και την ενίσχυση της συμμετοχής των καταναλωτών μέσω ενεργειακών κοινοτήτων (Saeed et al, 2021). Οι πρωτοβουλίες για πράσινη μετάβαση, όπως η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, θα αποτελέσουν βασικούς μοχλούς για την εξάπλωση αυτής της τεχνολογίας.

Συμπεράσματα

Η μετάβαση από τα παραδοσιακά δίκτυα διανομής ενέργειας στα έξυπνα δίκτυα αποτελεί σημαντική εξέλιξη για την ενεργειακή βιομηχανία. Τα έξυπνα δίκτυα περιλαμβάνουν τις τελευταίες τεχνολογίες, όπως αισθητήρες, αυτοματισμούς, δίκτυα επικοινωνίας και τεχνολογίες ανάλυσης δεδομένων, ώστε να εξασφαλίζεται η αποτελεσματικότερη και ασφαλέστερη λειτουργία των δικτύων διανομής.

Η εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών καθιστά δυνατή την καλύτερη διαχείριση των φορτίων, την πρόληψη βλαβών και τη μείωση των απωλειών ενέργειας. Επιπλέον, τα έξυπνα δίκτυα προσφέρουν τη δυνατότητα προώθησης της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και προώθησης ενός βιώσιμου και περισσότερο ενεργειακού μέλλοντος.

Η εξέλιξη αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων, όπως η κλιματική αλλαγή, η αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας και η ανάγκη για βιώσιμες και οικονομικά αποδοτικές λύσεις στον τομέα της ενέργειας.

1.3. Αποδοτικότητα και Απώλειες Ενέργειας

Η αποδοτικότητα των ενεργειακών δικτύων είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για την οικονομία, τη βιωσιμότητα και την αξιοπιστία της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, μεταξύ της μεταφοράς και της διανομής ενέργειας, συμβαίνουν σημαντικές απώλειες, οι οποίες επιβαρύνουν τόσο το περιβάλλον όσο και το ενεργειακό κόστος. Η αύξηση της αποδοτικότητας του δικτύου και η μείωση των απωλειών είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς η ζήτηση ενέργειας αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς και η κλιματική αλλαγή απαιτεί την ανάπτυξη πιο πράσινων και πιο αποδοτικών λύσεων (Dasenbrock, 2019).

1.3.1. Απώλειες κατά την μεταφορά

Κατά τη μεταφορά ηλεκτρικής ισχύος προς τελική κατανάλωση μέσω των δικτύων διανομής ηλεκτρισμού, μέρος αυτής χάνεται μετατρέπόμενο σε θερμότητα στις γραμμές και τα καλώδια (απώλειες χαλκού) και για τη δημιουργία ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στους μετασχηματιστές του δικτύου (απώλειες σιδήρου).

Η ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη λειτουργία του εξοπλισμού δικτύου στους υποσταθμούς, οι οποίοι τροφοδοτούν κυρίως το δίκτυο από το σύστημα, συχνά δεν μετρείται. Επιπλέον, η ενέργεια που καταναλώνεται αλλά δεν καταγράφεται λόγω σφαλμάτων μέτρησης, κλοπής ρεύματος ή άλλων αιτίων, συνυπολογίζεται στις συνολικές απώλειες ενέργειας του δικτύου. Οι απώλειες ενέργειας που οφείλονται στις φυσικές ιδιότητες του ηλεκτρικού δικτύου, όπως οι απώλειες χαλκού και σιδήρου, χαρακτηρίζονται ως "τεχνικές απώλειες". Αντίθετα, οι υπόλοιπες απώλειες, που δεν σχετίζονται με τις φυσικές ιδιότητες του δικτύου, αποκαλούνται "μη τεχνικές απώλειες" (PAE, n.d.).

Η τεχνική απώλεια ενέργειας εξαρτάται κυρίως από διάφορες παραμέτρους που σχετίζονται με το σχεδιασμό και την ανάπτυξη του δικτύου. Τέτοιες είναι το μήκος γραμμής, ο αριθμός μετασχηματιστών, η διεσπαρμένη παραγωγή, η πυκνότητα του φορτίου. Εξαρτάται επίσης από τα χαρακτηριστικά και τις προδιαγραφές αποδοτικότητας του εξοπλισμού και των στοιχείων του δικτύου και το επίπεδο φόρτισης σε σχέση με τη μέγιστη δυναμικότητά τους. Οι μη τεχνικές απώλειες σχετίζονται κατά κύριο λόγο με φαινόμενα ρευματοκλοπής.

Η απώλεια ενέργειας στο δίκτυο διανομής αποτελεί σημαντική συνιστώσα του συνολικού ενεργειακού κόστους του τελικού καταναλωτή. Σύμφωνα με το τρέχον σχέδιο αγοράς, οι προμηθευτές θα αναλάβουν το κόστος προμήθειας αυτής της ενέργειας από την αγορά και θα την συμπεριλάβουν σε τιμολόγια λιανικής. Η αναμενόμενη απώλεια ενέργειας στο δίκτυο διανομής για τις λειτουργικές ανάγκες της αγοράς υπολογίζεται από τον

διαχειριστή του δικτύου και καθορίζεται από τον συντελεστή απώλειας που έχει εγκρίνει η ΡΑΕ (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας).

Γενικότερα, στον Κώδικα Διαχείρισης του Δικτύου όπως αυτός αναγράφει από την ΡΑΕ προβλέπονται τα εξής:

- Μηχανισμός σύνδεσης του εσόδου του Διαχειριστή του ΕΔΔΗΕ με το επίπεδο των απωλειών ενέργειας στο Δίκτυο, με στόχο την παροχή κινήτρων στον Διαχειριστή για μείωση των απωλειών.
- Δημιουργία σύγχρονου πλαισίου για την αντιμετώπιση της ρευματοκλοπής, το οποίο στοχεύει στην αποτελεσματική αντιμετώπιση του φαινομένου, λειτουργώντας κατασταλτικά αλλά και αποτρεπτικά, και στην ορθολογικότερη χρήση των εσόδων από διαπιστωμένες ρευματοκλοπές, διασφαλίζοντας παράλληλα διαφάνεια και ασφάλεια δικαίου για τους καταναλωτές.

Αιτίες Απωλειών Ενέργειας κατά τη Μεταφορά

1. **Απώλειες αντίστασης (Joule losses):** Αποτελεί την πιο συνηθισμένη αιτία απωλειών ενέργειας στα ηλεκτρικά δίκτυα είναι η αντίσταση των αγωγών, η οποία προκαλεί απώλειες θερμότητας καθώς το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσω αυτών (Benato et al., 2018). Η απώλεια αυτή είναι ανάλογη του τετραγώνου της έντασης του ρεύματος και της αντίστασης του αγωγού. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που διανύει η ενέργεια, τόσο μεγαλύτερη είναι η απώλεια λόγω της αντίστασης του καλωδίου.

$$P = RI^2$$

2. **Απώλειες μετασχηματισμού:** Κατά τη μεταφορά ενέργειας, η τάση πρέπει να αυξάνεται ή να μειώνεται μέσω μετασχηματιστών, προκειμένου να προσαρμοστεί στα επίπεδα που απαιτούνται για τη μεταφορά και τη διανομή. Οι μετασχηματιστές, αν και απαραίτητοι, επιφέρουν ενεργειακές απώλειες τόσο κατά τη διαδικασία μετασχηματισμού όσο και κατά τη λειτουργία τους.
3. **Απώλειες επαγωγής και χωρητικότητας:** Στα μεγάλα δίκτυα μεταφοράς, οι επαγωγικές και χωρητικές αντιστάσεις επηρεάζουν τη μεταφορά ενέργειας, προκαλώντας απώλειες. Οι γραμμές μεταφοράς λειτουργούν σαν μεγάλα επαγωγικά ή χωρητικά κυκλώματα, και οι απώλειες αυτές αυξάνονται με την απόσταση και την ένταση του ρεύματος.
4. **Απώλειες λόγω κακής συντήρησης και απαρχαιωμένων δικτύων:** Πολλά δίκτυα μεταφοράς και διανομής, ειδικά σε χώρες με παλαιές υποδομές, είναι απαρχαιωμένα και δεν έχουν συντηρηθεί επαρκώς. Αυτό οδηγεί σε αυξημένες τεχνικές απώλειες λόγω φθοράς, κακής μόνωσης, και κακής ποιότητας εξοπλισμού.
5. **Μη τεχνικές απώλειες:** Αυτές οι απώλειες περιλαμβάνουν τη μη ακριβή καταγραφή της κατανάλωσης λόγω κατεστραμμένων ή ανακριβών μετρητών, καθώς και την κλοπή ενέργειας από παράνομες συνδέσεις στο δίκτυο. Αν και οι μη τεχνικές

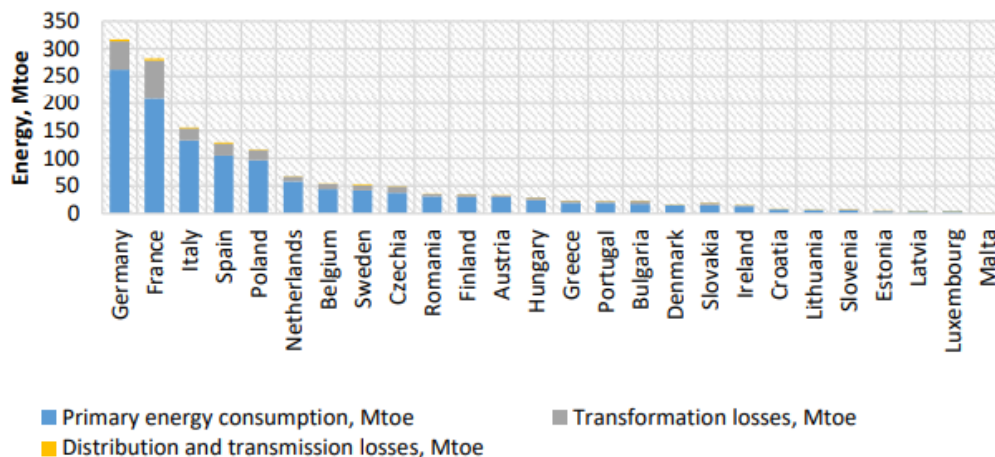
απώλειες δεν σχετίζονται άμεσα με την τεχνολογία του δικτύου, αποτελούν σημαντικό πρόβλημα σε ορισμένες περιοχές του κόσμου (ΡΑΕ, n.d.).

Μέγεθος των Απωλειών

Οι συνολικές απώλειες στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής διαφέρουν από χώρα σε χώρα, ανάλογα με την ποιότητα των υποδομών. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA, 2022) εκτιμά ότι οι ενεργειακές απώλειες στα ηλεκτρικά δίκτυα κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 6% και 8% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας, ενώ σε χώρες με πιο παλιά δίκτυα οι απώλειες μπορεί να φτάσουν έως και το 20%.

Τα στοιχεία του **Σχήματος 1.3** καταδεικνύουν έντονες διαφορές στην ενεργειακή αποδοτικότητα και τους συντελεστές απωλειών ενέργειας μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών. Οι αλλαγές στα ενεργειακά συστήματα, που αποσκοπούν στην αυξημένη χρήση μεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, επηρεάζουν σημαντικά όλα τα μέρη των συστημάτων αυτών. Κάθε τομέας βρίσκεται αντιμέτωπος με νέες προκλήσεις που σχετίζονται με την ασφάλεια, την ευελιξία και τη χωρητικότητα.

Στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής και της ενεργειακής μετάβασης, είναι πιθανό η ηλεκτρική υποδομή να γίνει πιο ευάλωτη σε αστοχίες, καθιστώντας αναγκαία τη θωράκισή της για την εξασφάλιση της μακροπρόθεσμης αξιοπιστίας της. Παράλληλα, η δομή της ενεργειακής κατανάλωσης μπορεί να αναδείξει αδυναμίες και ανισορροπίες που επηρεάζουν την ενεργειακή ασφάλεια κάθε χώρας.



Σχήμα 1.3 Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και ενεργειακές απώλειες, (βασισμένο σε δεδομένα της Eurostat ec.europa.eu/eurostat/, © Ευρωπαϊκή Ένωση, 1995–2022.)

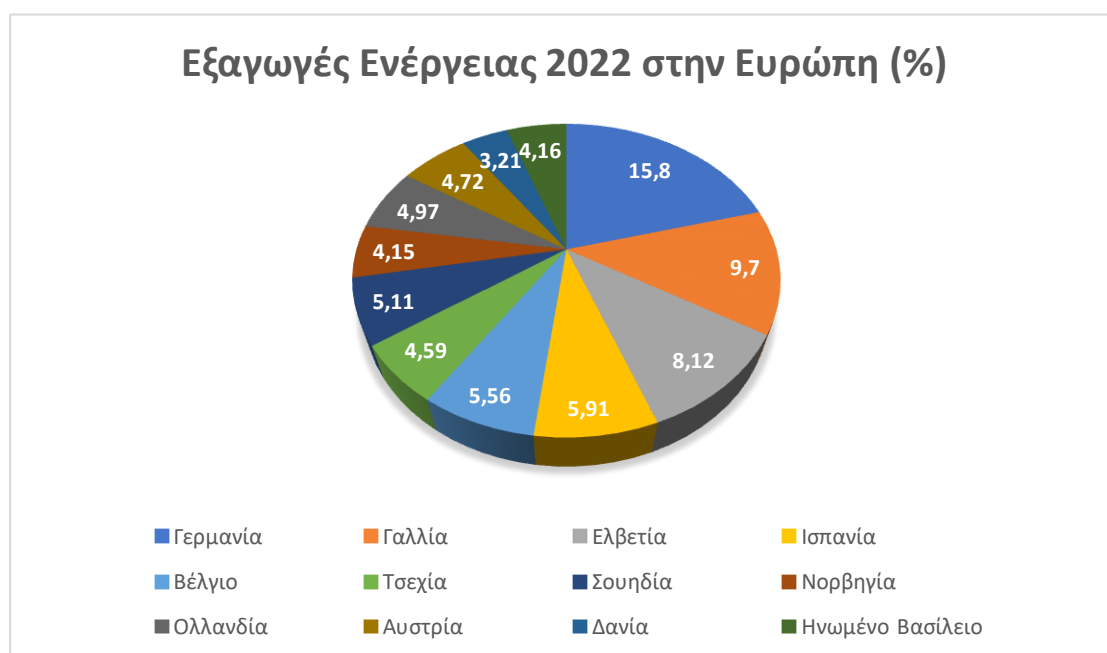
Το 2020, πάνω από το 80% της πρωτογενούς ενέργειας στην ΕΕ-27 καταναλώθηκε από τελικούς χρήστες. Παρά τη μείωση των κύριων απωλειών ηλεκτρικής ενέργειας, αυτές παραμένουν σε σημαντικά επίπεδα. Οι απώλειες από τη μετατροπή και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας μειώθηκαν από 20,44% το 1990 σε 15,74% το 2020. Αν και οι απώλειες από τη μετατροπή μειώθηκαν, εκείνες από τη διανομή αυξήθηκαν την ίδια χρονιά.

Τα ποσοστά ενεργειακών απωλειών από τη μετατροπή, τη διανομή και τη μεταφορά διαφέρουν σημαντικά μεταξύ ευρωπαϊκών και παγκόσμιων χωρών (Wolowiec et al, 2022)

Σύμφωνα με την έρευνα των Shaw-Williams και συνεργατών (2021), η αποδοτικότητα των δικτύων μετατροπής είναι υψηλότερη από αυτή των δικτύων διανομής. Οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι η μεταφορά ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις με υψηλές τάσεις θα έπρεπε να είναι πιο αποδοτική, αλλά τα δεδομένα δείχνουν το αντίθετο. Το 2019, σε κάποιες ευρωπαϊκές χώρες, πάνω από 42% της ενέργειας χάθηκε κατά τη μετατροπή, ενώ λιγότερο από 4% χάθηκε στη διανομή.

Το 2020, οι μεγαλύτερες ενεργειακές απώλειες από τη μετατροπή και διανομή καταγράφηκαν στη Γαλλία, τη Γερμανία, την Ιταλία, την Ισπανία και την Πολωνία. Αυτά τα δεδομένα φαινομενικά υποδηλώνουν αναποτελεσματικότητα στα ενεργειακά συστήματα αυτών των χωρών. Ωστόσο, η κατάσταση είναι πιο σύνθετη. Ορισμένες χώρες της Ευρώπης, με υψηλό ποσοστό εισαγωγών ενεργειακών πόρων, δεν εμφανίζουν απώλειες από την παραγωγή ενέργειας. Μικρά ποσοστά απωλειών στη μετατροπή μπορεί να συνυπάρχουν με μεγάλη εξάρτηση από εισαγόμενη ενέργεια.

Από το 1990, παρατηρείται αύξηση της εξάρτησης της ΕΕ από τις ενεργειακές εισαγωγές. Η συνολική διαθέσιμη ενέργεια έχει μειωθεί, κυρίως λόγω της μείωσης της παραγωγής στερεών ορυκτών καυσίμων. Το 2020, οι ενεργειακές εισαγωγές στην ΕΕ ήταν 7,5% υψηλότερες από το 1990. Στα **Σχήμα 1.4** και **Σχήμα 1.5** φαίνονται ποσοστιαία τόσο οι εισαγωγές όσο και εξαγωγές ενέργειας χωρών της ΕΕ. Άξιο αναφοράς είναι ότι πολλές χώρες, όπως η Γερμανία για παράδειγμα, πρωταγωνιστούν τόσο στην εισαγωγή όσο και στην εξαγωγή ενέργειας, κάτι φαινομενικά παράδοξο. Στην ουσία ωστόσο αυτά τα ποσοστά προκύπτουν λόγω τόσο του εμπορίου ενέργειας, της μεταφοράς από ενδιάμεσες χώρες αλλά και του ελλείματος ή πλεονάσματος ενέργειας λόγω των ΑΠΕ που μπορεί να έχει μια χώρα ανά χρονικά διαστήματα.



Σχήμα 1.4
Εξαγωγές Ενέργειας 2022 στην Ευρώπη (%). (Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχουν από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2023)

υιοποιήθηκαν αντλήθηκαν από την σελίδα της παγκόσμιας τράπεζας, World Bank, 2022)



Σχήμα 1.5 Εισαγωγές Ενέργειας 2022 στην Ευρώπη (%). (Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αντλήθηκαν από την σελίδα της παγκόσμιας τράπεζας, World Bank, 2022)

Η αυξημένη εισαγωγή ενέργειας έχει βοηθήσει πολλές χώρες να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επειδή οι ενεργειακές απώλειες από τη μετατροπή σχετίζονται με τον τομέα παραγωγής της χώρας που παράγει την ενέργεια, οι χώρες που βασίζονται στις εισαγωγές δεν αντιμετωπίζουν μεγάλες απώλειες στον τομέα της παραγωγής. Παρ' όλα αυτά, η εξάρτηση από μία μόνο πηγή, όπως η Ρωσία, υπονομεύει την ενεργειακή ασφάλεια ορισμένων χωρών, καθιστώντας τα ενεργειακά τους συστήματα πιο ευάλωτα. Ταυτόχρονα, όταν τα δεδομένα λαμβάνονται σε διεθνές και όχι σε εθνικό επίπεδο, φαίνεται ότι η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου δεν μειώνεται, αλλά μετατοπίζεται.

Μείωση απωλειών

Η μείωση των απωλειών ενέργειας στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής αποτελεί προτεραιότητα για πολλές ενεργειακές επιχειρήσεις και κυβερνήσεις. Οι πιο αποτελεσματικές λύσεις για τη μείωση των απωλειών περιλαμβάνουν την τεχνολογική αναβάθμιση των υποδομών, τη βελτίωση της διαχείρισης των δικτύων και την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών, όπως τα έξυπνα δίκτυα. Ακολουθούν μερικές από τις βασικότερες προσεγγίσεις (Bouhouras, 2010):

1. **Αναβάθμιση των αγωγών:** Η αντικατάσταση των παλαιών αγωγών με νέους αγωγούς χαμηλότερης αντίστασης μπορεί να μειώσει σημαντικά τις απώλειες θερμότητας. Για παράδειγμα, οι αγωγοί που χρησιμοποιούν προηγμένα κράματα μετάλλων ή τεχνολογίες υπεραγωγίων υλικών μειώνουν δραστικά τις αντιστάσεις και τις ενεργειακές απώλειες.

2. **Ενίσχυση της μόνωσης:** Η βελτίωση της μόνωσης στα καλώδια και τους μετασχηματιστές μπορεί να μειώσει τις διαρροές ενέργειας και να αυξήσει την αποδοτικότητα των συστημάτων μεταφοράς. Οι μονώσεις νέας γενιάς είναι πιο ανθεκτικές και προσφέρουν μεγαλύτερη προστασία από εξωτερικούς παράγοντες.
3. **Εφαρμογή έξυπνων δικτύων (Smart Grids):** Τα έξυπνα δίκτυα επιτρέπουν την καλύτερη παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου και τη βελτιστοποίηση της ροής ενέργειας, μειώνοντας έτσι τις απώλειες. Μέσω της χρήσης αισθητήρων, αυτοματισμών και συστημάτων παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, οι διαχειριστές των δικτύων μπορούν να αντιδρούν άμεσα σε βλάβες ή υπερφορτώσεις, αποτρέποντας επιπλέον απώλειες.
4. **Αύξηση της τάσης μεταφοράς:** Όταν η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται σε υψηλότερες τάσεις, οι απώλειες μειώνονται. Αυτό οφείλεται στο ότι οι γραμμές υψηλής τάσης απαιτούν μικρότερη ροή ρεύματος για την ίδια ποσότητα ισχύος, μειώνοντας έτσι τις απώλειες Joule. Η αναβάθμιση των δικτύων σε πολύ υψηλές τάσεις (UHV) μπορεί να είναι μια αποδοτική λύση για τη μεταφορά ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
5. **Βελτίωση των μετασχηματιστών:** Η χρήση μετασχηματιστών νέας γενιάς, οι οποίοι είναι πιο αποδοτικοί στη μετατροπή της τάσης, μπορεί να μειώσει τις απώλειες μετασχηματισμού. Επιπλέον, η τακτική συντήρηση και ο εκσυγχρονισμός των υφιστάμενων μετασχηματιστών είναι απαραίτητες ενέργειες για τη μείωση των ενεργειακών απωλειών.

1.3.2. Μέθοδοι βελτίωσης της απόδοσης

Η βελτίωση της αποδοτικότητας των δικτύων μεταφοράς και διανομής ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη ενεργειακών στόχων, τη μείωση του κόστους και την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ενέργειας. Οι παρακάτω λύσεις προσφέρουν πρακτικούς τρόπους για τη βελτίωση της αποδοτικότητας του δικτύου:

1. Αυτοματοποιημένα Συστήματα Διαχείρισης Δικτύου (Automated Network Management Systems)

Η χρήση αυτοματοποιημένων συστημάτων διαχείρισης δικτύου επιτρέπει τη βελτίωση της απόδοσης μέσω της παρακολούθησης και της διαχείρισης του δικτύου σε πραγματικό χρόνο. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν δεδομένα από αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι σε διάφορα σημεία του δικτύου για να εντοπίσουν προβλήματα όπως υπερφορτώσεις, βλάβες, ή αυξημένες απώλειες (Peraka & Biligiri, 2020). Οι διαχειριστές μπορούν να αντιδρούν άμεσα, προσαρμόζοντας τη ροή της ενέργειας, βελτιώνοντας τη σταθερότητα και μειώνοντας τις απώλειες.

Τα αυτοματοποιημένα συστήματα διαχείρισης δικτύων συνδέονται άμεσα με τα **έξυπνα δίκτυα (Smart Grids)**, που προσφέρουν βελτιωμένη παρακολούθηση της απόδοσης του δικτύου και των συνθηκών κατανάλωσης. Τα έξυπνα δίκτυα διευκολύνουν την καλύτερη κατανομή της ενέργειας και μειώνουν τις απώλειες που σχετίζονται με τη μη ισορροπημένη κατανομή φορτίων.

2. Χρήση Συσσωρευτών Ενέργειας (Energy Storage Systems)

Η αποθήκευση ενέργειας μέσω συστημάτων όπως οι συσσωρευτές (μπαταρίες) μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση του δικτύου. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας επιτρέπουν την αποθήκευση πλεονάζουσας ενέργειας κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης και την απελευθέρωσή της όταν η ζήτηση αυξάνεται, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για αυξημένη παραγωγή και μειώνοντας τις απώλειες κατά τη μεταφορά.

Τα συστήματα αποθήκευσης βοηθούν επίσης στην ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες είναι διαλείπουσες (π.χ. ηλιακή και αιολική ενέργεια), διασφαλίζοντας ότι η ενέργεια αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του συστήματος (Olabi et al., 2021).

3. Ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας Κοντά στις Περιοχές Κατανάλωσης

Η παραγωγή ενέργειας κοντά στις περιοχές κατανάλωσης μειώνει τις απώλειες που συνδέονται με τη μεταφορά ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι ανεμογεννήτριες, μπορούν να εγκατασταθούν κοντά στους καταναλωτές, μειώνοντας την ανάγκη για μακρινή μεταφορά ενέργειας και, κατά συνέπεια, τις απώλειες.

Αυτή η προσέγγιση είναι γνωστή ως αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας και προσφέρει τη δυνατότητα να βελτιωθεί η απόδοση του συνολικού ενεργειακού συστήματος (Ourahou 2020), καθώς η παραγωγή και η κατανάλωση ενέργειας συμβαίνουν τοπικά.

4. Αύξηση της Τάσης στις Γραμμές Μεταφοράς

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η αύξηση της τάσης στις γραμμές μεταφοράς μειώνει τις απώλειες λόγω αντίστασης. Η χρήση δικτύων υπερυψηλής τάσης (Ultra-High Voltage - UHV) επιτρέπει τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις με χαμηλότερες απώλειες (Reddy & Kumari, 2024).

Τα UHV δίκτυα έχουν ήδη εφαρμοστεί σε ορισμένες χώρες, όπως η Κίνα, και έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αποδοτικά στη μείωση των απωλειών μεταφοράς. Ωστόσο, η εγκατάσταση και συντήρηση τέτοιων δικτύων απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές.

5. Βελτιστοποίηση της Διαχείρισης Φορτίων (Load Management)

Η διαχείριση φορτίων αφορά τη βελτίωση της ισορροπίας μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας. Μέσω της διαχείρισης της ζήτησης (demand response) (Sarker et al., 2021) τα έξυπνα δίκτυα μπορούν να προσαρμόσουν την παροχή ενέργειας σύμφωνα με τις διακυμάνσεις της ζήτησης, μειώνοντας την υπερφόρτωση του δικτύου και βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση.

Τα προγράμματα διαχείρισης ζήτησης επιτρέπουν στους καταναλωτές να προσαρμόζουν τη χρήση ενέργειας ανάλογα με τις τιμές της αγοράς ή τη διαθεσιμότητα ενέργειας. Αυτό μπορεί να μειώσει την πίεση στο δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής, αποτρέποντας τις υπερφορτώσεις και τις συνακόλουθες απώλειες.

6. Τακτική Συντήρηση και Αναβάθμιση Υποδομών

Η τακτική συντήρηση των υποδομών του δικτύου, όπως οι μετασχηματιστές, οι γραμμές και οι υποσταθμοί, μπορεί να αποτρέψει τη φθορά και τις απώλειες που συνδέονται με τη

λειτουργία παλαιωμένων συστημάτων. Επιπλέον, η αναβάθμιση του εξοπλισμού σε πιο αποδοτικά μοντέλα μπορεί να μειώσει τις τεχνικές απώλειες.

Οι παλαιωμένες υποδομές παρουσιάζουν αυξημένη πιθανότητα βλαβών και χαμηλή αποδοτικότητα, γι' αυτό η επένδυση σε σύγχρονα συστήματα είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της ενεργειακής απόδοσης και τη μείωση των απωλειών (European Commition, 2022).

1.4. Ασφάλεια και Αξιοπιστία

1.4.1. Προκλήσεις στην ασφάλεια

Η ασφάλεια και η αξιοπιστία των δικτύων διανομής ενέργειας είναι κρίσιμες για τη σταθερότητα και τη λειτουργία των σύγχρονων κοινωνιών. Με την ηλεκτρική ενέργεια να αποτελεί βασικό στοιχείο για την καθημερινή ζωή και την οικονομική ανάπτυξη, η διακοπή της παροχής ενέργειας λόγω φυσικών καταστροφών, τεχνολογικών βλαβών ή κυβερνοεπιθέσεων μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις. Καθώς τα δίκτυα διανομής εξελίσσονται και γίνονται πιο περίπλοκα, οι προκλήσεις στην ασφάλεια αυξάνονται, ενώ οι διαχειριστές του δικτύου καλούνται να λάβουν πιο σύνθετα μέτρα για την αντιμετώπιση των κινδύνων αυτών.

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για την ασφάλεια των δικτύων διανομής είναι η έκθεσή τους σε φυσικές καταστροφές, όπως οι σεισμοί, οι πλημμύρες, οι τυφώνες και οι πυρκαγιές. Οι φυσικές καταστροφές μπορούν να καταστρέψουν κρίσιμες υποδομές, όπως οι γραμμές μεταφοράς, οι υποσταθμοί και οι μετασχηματιστές, διακόπτοντας την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες περιοχές (**Πίνακας 1.1**). Η αδυναμία γρήγορης αποκατάστασης μπορεί να προκαλέσει αλυσιδωτές συνέπειες στην οικονομική δραστηριότητα, την παροχή υπηρεσιών υγείας και άλλες κρίσιμες λειτουργίες. Για παράδειγμα, οι πρόσφατες πυρκαγιές στην Καλιφόρνια (Νοέμβριος 2024) είχαν ως αποτέλεσμα τη διακοπή της ηλεκτροδότησης σε χιλιάδες κατοίκους, και σε κάποιες περιπτώσεις η διακοπή ενέργειας χρησιμοποιήθηκε ως μέτρο πρόληψης από την επέκταση της φωτιάς.

Πίνακας 1.1 Επιπτώσεις των φυσικών καταστροφών στα δίκτυα ενέργειας. (Karagiannis et al., 2017)

	Earthquake	Space weather	Flood
Damage types	Structural damage due to inertial loading Foundation/ground failure	Damage to transmission and generation equipment from GICs Potential for system-wide impact	Damage to transmission tower foundations due to erosion and/or landslides Moisture and dirt
Contributing factors	Soil liquefaction No warning time	Early warning possible	Early warning possible
Most vulnerable equipment	Heavy equipment (e.g. generators, LPTs) Ceramic parts (e.g. bushings, bus bars) or equipment (e.g. transformers)	Equipment vulnerable to direct current (e.g. transformers) Equipment protected from DC excitation (tripping)	Transmission towers Substation equipment
Recovery time is driven by	Number of items in need of repair or replacement Access to conduct repairs	System-wide impact Delayed effects	Floodwaters recession (access) Number of items in need of repair or replacement
Recovery time range	A few hours to months; most commonly, 1 to 4 days	Power to areas serviced by equipment which has only tripped offline restored within less than 24 hours after the end of the storm Repairs of damaged equipment may take several months	Less than 24 hours to 3 weeks Longer recovery times (up to 5 weeks) with hurricane and/or storm damage

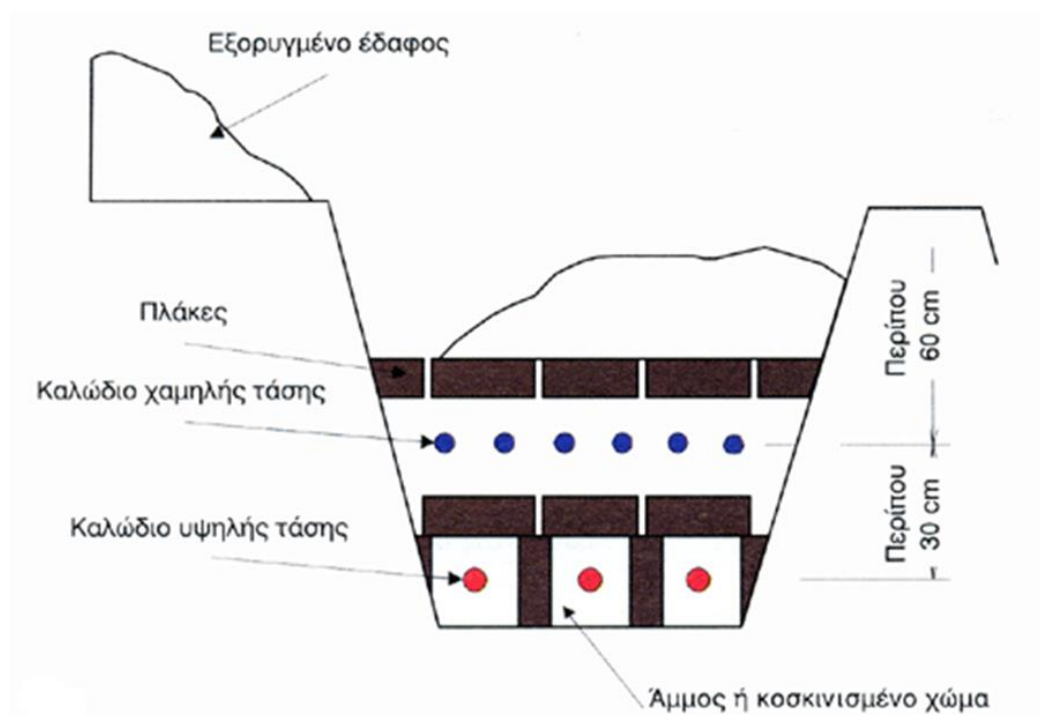
Εκτός από τις φυσικές καταστροφές, τα δίκτυα διανομής εκτίθενται επίσης σε τεχνολογικές αστοχίες και προβλήματα γήρανσης υποδομών. Πολλές χώρες, ειδικά με παλαιότερα ενεργειακά δίκτυα, αντιμετωπίζουν συχνά προβλήματα λόγω της φθοράς των υποδομών, της κακής συντήρησης και της αναβολής επενδύσεων. Η υπερφόρτωση του δικτύου κατά τις ώρες αιχμής ή η αποτυχία κρίσιμων συστημάτων όπως οι μετασχηματιστές και οι γραμμές μεταφοράς μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές βλάβες και εκτεταμένες διακοπές στην παροχή ενέργειας. Οι τεχνολογικές αστοχίες συνδέονται άμεσα με την αξιοπιστία των υποδομών και την αντοχή τους σε φαινόμενα υπερφόρτωσης, γεγονός που καθιστά τη συνεχή συντήρηση και αναβάθμιση των συστημάτων απαραίτητη για την ασφάλεια των δικτύων διανομής.

Η κυβερνοασφάλεια αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές και σύνθετες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα σύγχρονα δίκτυα διανομής ενέργειας. Καθώς τα δίκτυα ενσωματώνουν ολοένα και περισσότερες ψηφιακές τεχνολογίες, όπως οι αισθητήρες, οι αυτοματισμοί και τα έξυπνα συστήματα παρακολούθησης, η απειλή των κυβερνοεπιθέσεων γίνεται όλο και πιο έντονη. Οι κυβερνοεπιθέσεις μπορούν να εκμεταλλευτούν τις αδυναμίες των πληροφοριακών συστημάτων για να διακόψουν την παροχή ενέργειας, να επηρεάσουν τη λειτουργία των δικτύων ή να προκαλέσουν ζημιές στους διαχειριστές (Tufail et al., 2021). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα κυβερνοεπίθεσης είναι η περίπτωση της Ουκρανίας το 2015, όταν χάκερς κατέλαβαν τον έλεγχο των συστημάτων διανομής ενέργειας και προκάλεσαν εκτεταμένες διακοπές ρεύματος. Το περιστατικό αυτό ανέδειξε την ευπάθεια των ενεργειακών υποδομών σε κυβερνοεπιθέσεις και τόνισε την ανάγκη για βελτίωση της κυβερνοασφάλειας στα ενεργειακά δίκτυα.

Η κυβερνοασφάλεια έχει γίνει πρωταρχικός τομέας επενδύσεων για τις ενεργειακές εταιρείες και τους διαχειριστές δικτύων. Οι αυτοματοποιημένες πλατφόρμες κυβερνοασφάλειας παρακολουθούν συνεχώς τα συστήματα για ενδείξεις απειλών και παραβιάσεων, ενώ τα πρωτόκολλα ασφαλείας εφαρμόζονται σε κάθε επίπεδο του δικτύου, από τις βασικές λειτουργίες μέχρι τα συστήματα διαχείρισης και παρακολούθησης. Επιπλέον, η κρυπτογράφηση των δεδομένων και η υιοθέτηση τεχνολογιών blockchain (Zhuang et al. 2020), παρέχουν αυξημένη ασφάλεια στις ψηφιακές συναλλαγές και τη μεταφορά δεδομένων, διασφαλίζοντας ότι τα δεδομένα που σχετίζονται με τη λειτουργία του δικτύου παραμένουν ασφαλή από κακόβουλες επιθέσεις.

1.4.2. Μέθοδοι βελτίωσης της απόδοσης

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προκλήσεων, έχουν υιοθετηθεί διάφορες μέθοδοι και στρατηγικές ασφάλειας που αποσκοπούν στη διασφάλιση της αξιόπιστης λειτουργίας των δικτύων διανομής ενέργειας. Ένας βασικός τομέας που λαμβάνει ιδιαίτερη προσοχή είναι η ενίσχυση των υποδομών μέσω επενδύσεων σε ανθεκτικότερα υλικά, πιο ανθεκτικές δομές και συστήματα που μπορούν να αντέξουν τις φυσικές καταστροφές και την υπερφόρτωση. Η υπόγεια καλωδίωση, (Εικόνα 1.3) για παράδειγμα, μπορεί να προστατεύσει τις γραμμές μεταφοράς από τους κινδύνους που προκαλούν οι καιρικές συνθήκες, μειώνοντας σημαντικά την έκθεσή τους σε ζημιές από καταιγίδες, ανέμους και άλλους φυσικούς κινδύνους. Επίσης, οι νέοι μετασχηματιστές και οι υποσταθμοί σχεδιάζονται με πιο ανθεκτικά υλικά και δομές, τα οποία μπορούν να αντέξουν σε ακραίες συνθήκες.



Εικόνα 1.3 Μοντέλο υπόγειας καλωδίωσης (TiSoft, n.d.)

Πιο συγκεκριμένα στην Ελλάδα, μόλις το 11% του δικτύου 242.000 χιλιομέτρων που διαχειρίζεται ο ΔΕΔΔΗΕ, αποτελείται από υπόγεια καλώδια, όταν ο μέσος όρος στην Ευρώπη φτάνει στο 50%, ενώ μάλιστα σε άλλες αναπτυγμένες ευρωπαϊκές χώρες τα ποσοστά κυμαίνονται σε 70% ή 80%.

Συνολικά, τα έργα που υλοποιεί ο ΔΕΔΔΗΕ για την αναβάθμιση του εναέριου δικτύου, την υπογειοποίηση των καλωδίων και την αύξηση της δυναμικότητας των υποσταθμών, προκειμένου να ενισχυθεί η διείσδυση των ΑΠΕ και να συνδεθούν νέοι σταθμοί, αγγίζουν τα 400 εκατ. ευρώ. Η συμμετοχή στη χρηματοδότηση του Ταμείου Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας ξεπερνά το 40%. Τα έργα υπογειοποίησης - αναβάθμισης του δικτύου

1.845,2 χιλιομέτρων, που έχουν ως στόχο και την προστασία του περιβάλλοντος, έχουν προϋπολογιστεί στα 199,3 εκατ. ευρώ με την διάρκεια υλοποίησης του έργου να εκτιμάται σε 4,5 έτη.

Μια ακόμη κρίσιμη στρατηγική για την ενίσχυση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας των δικτύων είναι η ανάπτυξη πλάνων αντιμετώπισης καταστροφών και κρίσεων. Τα πλάνα αυτά επιτρέπουν στους διαχειριστές των δικτύων να αντιδρούν άμεσα σε καταστροφές, τεχνολογικές αστοχίες ή κυβερνοεπιθέσεις, μειώνοντας το χρόνο αποκατάστασης και διασφαλίζοντας τη γρήγορη επαναφορά της παροχής ενέργειας. Τα σχέδια αυτά περιλαμβάνουν εφεδρικές υποδομές και αυτοματοποιημένες διαδικασίες για την απομόνωση των βλαβών και τη διοχέτευση της ενέργειας σε εναλλακτικές διαδρομές. Για παράδειγμα, σε περίπτωση σεισμού ή πλημμύρας, τα δίκτυα διανομής μπορούν να διασφαλίσουν ότι η παροχή ενέργειας συνεχίζεται σε κρίσιμες περιοχές, όπως νοσοκομεία και βιομηχανίες, μέσω εναλλακτικών δικτύων ή αποθηκευτικών συστημάτων ενέργειας.

Η συνεργασία μεταξύ των διαχειριστών δικτύων, των κυβερνήσεων και των ρυθμιστικών αρχών είναι επίσης απαραίτητη για την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου πλαισίου ασφάλειας. Οι ρυθμιστικοί κανόνες και τα πρότυπα ασφάλειας διασφαλίζουν ότι οι ενεργειακές εταιρείες και οι διαχειριστές δικτύων εφαρμόζουν τα κατάλληλα μέτρα για την προστασία των υποδομών. Οι οργανισμοί, όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση και ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA), παρέχουν οδηγίες και κατευθυντήριες γραμμές για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των ενεργειακών συστημάτων, προωθώντας επενδύσεις σε υποδομές και την υιοθέτηση των τελευταίων τεχνολογιών ασφάλειας και κυβερνοασφάλειας. Οι διεθνείς συνεργασίες και η ανταλλαγή πληροφοριών για τις απειλές και τις βέλτιστες πρακτικές επιτρέπουν στους διαχειριστές να προετοιμάζονται καλύτερα για τυχόν επιθέσεις και φυσικές καταστροφές. Για παράδειγμα, η Ευρωπαϊκή Πράξη για την Ασφάλεια των Δικτύων και των Πληροφοριών (NIS Directive) θεσπίζει πρότυπα κυβερνοασφάλειας για τις κρίσιμες υποδομές, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων ενέργειας, με σκοπό την αύξηση της προστασίας έναντι κυβερνοεπιθέσεων.

Παράλληλα, η αξιοπιστία των δικτύων διανομής ενέργειας βελτιώνεται μέσω της υιοθέτησης έξυπνων δικτύων (smart grids), τα οποία προσφέρουν δυνατότητες αυτόνομης ανίχνευσης και επιδιόρθωσης προβλημάτων. Τα έξυπνα δίκτυα χρησιμοποιούν αισθητήρες και αυτοματισμούς για να παρακολουθούν τη λειτουργία του δικτύου σε πραγματικό χρόνο, να ανιχνεύουν βλάβες και να απομονώνουν αυτόματα τα προβληματικά τμήματα, αποτρέποντας τη διάχυση των προβλημάτων σε μεγαλύτερες περιοχές. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει στους διαχειριστές να αντιδρούν γρήγορα σε καταστροφές και βλάβες, μειώνοντας το χρόνο αποκατάστασης και διασφαλίζοντας τη σταθερότητα της παροχής ενέργειας.

Τέλος, η εκπαίδευση και η ενημέρωση των υπαλλήλων και των καταναλωτών σχετικά με τα θέματα ασφάλειας και αξιοπιστίας των ενεργειακών συστημάτων είναι απαραίτητη για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των δικτύων. Οι προσομοιώσεις καταστροφών και οι ασκήσεις ετοιμότητας επιτρέπουν στους υπαλλήλους των ενεργειακών εταιρειών να αντιδρούν άμεσα σε καταστάσεις κρίσης, ενώ οι καταναλωτές μπορούν να εκπαιδευτούν για την ασφαλή χρήση της ενέργειας και την αντιμετώπιση καταστάσεων διακοπής παροχής ενέργειας.

Συνολικά, η ασφάλεια και η αξιοπιστία των δικτύων διανομής ενέργειας εξαρτώνται από μια ολιστική προσέγγιση που συνδυάζει τεχνολογικές επενδύσεις, στρατηγικές πρόληψης και αντίδρασης, καθώς και τη συνεργασία μεταξύ των διαχειριστών, των κυβερνήσεων και των

καταναλωτών. Οι φυσικές καταστροφές, οι τεχνολογικές βλάβες και οι κυβερνοεπιθέσεις αποτελούν συνεχείς απειλές, αλλά με την κατάλληλη προετοιμασία και επενδύσεις, τα δίκτυα διανομής μπορούν να διασφαλίσουν την αξιόπιστη παροχή ενέργειας στις σύγχρονες κοινωνίες.

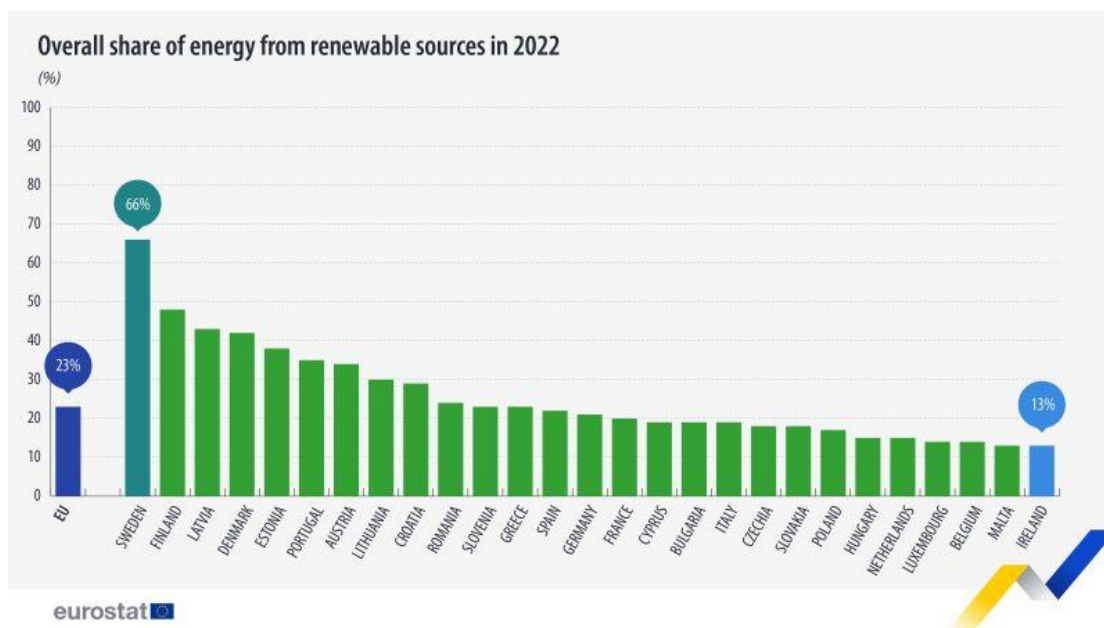
1.5 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Δίκτυα Διανομής

1.5.1 ΑΠΕ

Η αυξανόμενη χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) έχει επιφέρει σημαντικές αλλαγές στη λειτουργία των δικτύων διανομής ενέργειας. Οι ΑΠΕ, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, προσφέρουν σημαντικά οφέλη όσον αφορά τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και την ενεργειακή βιωσιμότητα (Konstantinou 2021). Ωστόσο, η ενσωμάτωσή τους στα δίκτυα διανομής δημιουργεί νέες προκλήσεις λόγω της μεταβλητής φύσης της παραγωγής ενέργειας που προέρχεται από αυτές τις πηγές. Τα παραδοσιακά δίκτυα διανομής σχεδιάστηκαν για να λειτουργούν με σταθερές, προβλέψιμες πηγές ενέργειας, όπως οι θερμοηλεκτρικοί ή πυρηνικοί σταθμοί, όπου η παραγωγή μπορεί να ελεγχθεί εύκολα για να ικανοποιήσει τη ζήτηση. Οι ΑΠΕ, αντιθέτως, χαρακτηρίζονται από σημαντική μεταβλητότητα, καθώς εξαρτώνται από φυσικούς παράγοντες, όπως η ηλιοφάνεια και ο άνεμος, που δεν μπορούν να προβλεφθούν με ακρίβεια ή να ελεγχθούν άμεσα (McKinsey, 2024).

Αυτή η ασυνέπεια στην παραγωγή ενέργειας έχει αναγκάσει τα δίκτυα διανομής να προσαρμοστούν σε νέες συνθήκες, ενώ οι διαχειριστές καλούνται να αντιμετωπίσουν προκλήσεις που σχετίζονται με τη σταθερότητα και την ισορροπία τους. Η ένταξη μεγάλων ποσοτήτων ΑΠΕ στα δίκτυα μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα υπερφόρτωσης ή υποκάλυψης, καθώς η παραγωγή μπορεί να αυξηθεί απότομα κατά τη διάρκεια μιας περιόδου έντονου ανέμου ή ηλιοφάνειας ή να μειωθεί εξίσου απότομα όταν οι καιρικές συνθήκες αλλάξουν. Αυτές οι διακυμάνσεις δημιουργούν κινδύνους για τη σταθερότητα του δικτύου, καθώς η παροχή ενέργειας πρέπει να παραμένει ισορροπημένη με τη ζήτηση σε πραγματικό χρόνο. Εάν δεν υπάρχει η κατάλληλη διαχείριση, οι διακυμάνσεις αυτές μπορούν να οδηγήσουν σε διακοπές ρεύματος ή ακόμη και σε ζημιές στο σύστημα (Beyza et al., 2021).

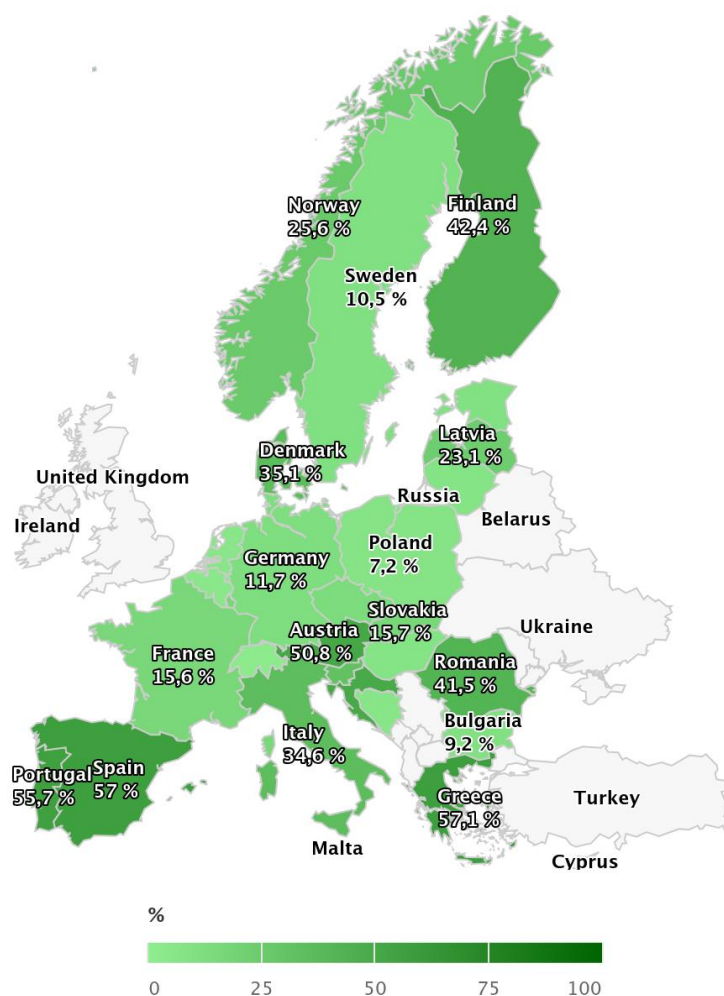
Στο **Σχήμα 1.6** αλλά και στην **Εικόνα 1.4** που συνοδεύεται από τον **Πίνακα 1.2** παρουσιάζεται το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ (όπως ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική ενέργεια) στη συνολική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χώρας. Ο χάρτης δείχνει μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ των χωρών, γεγονός που αντικατοπτρίζει τις διαφορές στις επενδύσεις σε ΑΠΕ, στις γεωγραφικές δυνατότητες (π.χ., ηλιοφάνεια, άνεμοι), και στις ενεργειακές πολιτικές.



Σχήμα 1.6 Συνολικό ποσοστό ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές το 2022 για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) (Eurostat, 2022)

Οι τιμές του χάρτη και του **Πίνακα 1.2** αφορούν την χρήση των ΑΠΕ στις 10/11/2024 και τοποθετούν την Ελλάδα στην πρώτη θέση χρήσης ΑΠΕ με ποσοστό 57,1%.

RES-to-Load Penetration - 10-11-2024



Εικόνα 1.4 Συνολικό ποσοστό ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (RES) για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) κατά την ημερομηνία 10/11/2024 (ΡΑΕ, 2024)

Πίνακας 1.2 Συνολικό ποσοστό ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) κατά την ημερομηνία 10/11/2024 (ΡΑΕ, 2024)

Χώρα	Ποσοστό ΑΠΕ	Ποσοστό Μήνα	-Ποσοστό Χρόνου
Αυστρία (AT)	50,8%	60,8%	91,5%
Βέλγιο (BE)	4,1%	5,2%	27,8%
Βοσνία Ερζεγοβίνη	5,5%	5,6%	7,9%
Βουλγαρία (BG)	9,2%	16,5%	23,4%
Κροατία (HR)	49,3%	32,7%	31,3%
Τσεχία (CZ)	12,9%	13,9%	18,2%

Χώρα	Ποσοστό ΑΠΕ	Ποσοστό Μήνα	-Ποσοστό Χρόνου
Δανία (DK)	35,1%	56,3%	75,6%
Εστονία (EE)	9,7%	30,5%	34,3%
Φινλανδία (FI)	42,4%	55,3%	48,8%
Γαλλία (FR)	15,6%	17,5%	28,8%
Γεωργία (GE)	19,8%	25,5%	32,7%
Γερμανία (DE)	11,7%	11,3%	55,3%
Ελλάδα (GR)	57,1%	64,4%	45,8%
Ουγγαρία (HU)	7,6%	15,2%	19,4%
Ιταλία (IT)	34,6%	32,6%	38,1%
Λετονία (LV)	23,1%	23,2%	65,8%
Λιθουανία (LT)	7,3%	38,1%	44,8%
Λουξεμβούργο (LU)	16,0%	15,3%	23,2%
Ολλανδία (NL)	5,0%	4,9%	19,6%
Νορβηγία (NO)	25,6%	32,8%	35,1%
Πολωνία (PL)	7,2%	20,9%	28,8%
Πορτογαλία (PT)	55,7%	56,8%	60,5%
Ρουμανία (RO)	41,5%	29,0%	34,9%
Σλοβακία (SK)	15,7%	17,0%	26,1%
Σλοβενία (SI)	31,5%	39,8%	52,5%
Ισπανία (ES)	57,0%	38,4%	52,8%
Σουηδία (SE)	10,5%	37,9%	30,6%
Ελβετία (CH)	1,9%	4,6%	13,1%
Μάλτα (MT)	-	-	-
Σερβία (RS)	-	-	-
Ουκρανία (UA)	-	-	-
Ηνωμένο Βασίλειο (GB)	-	-	-

Χώρα	Ποσοστό ΑΠΕ	Ποσοστό Μήνα	-Ποσοστό Χρόνου
Τουρκία (TR)	-	-	-

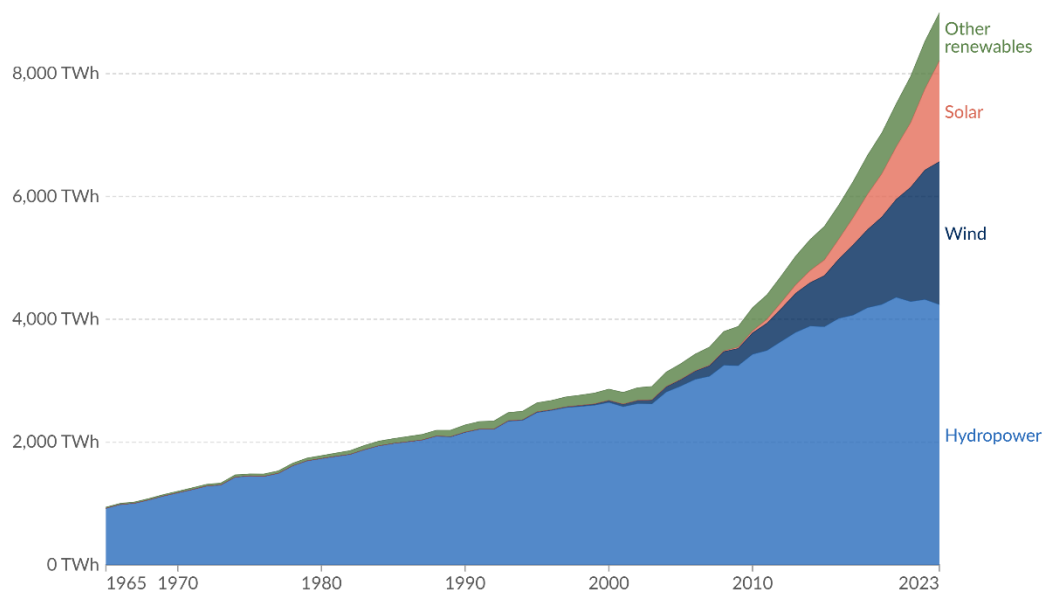
Η μεταβλητή φύση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες, καθιστά τη διαχείριση των πηγών αυτών πιο απαιτητική. Χωρίς τη σωστή διαχείριση, τα δίκτυα μπορούν να αντιμετωπίσουν διακυμάνσεις στην παραγωγή που θα οδηγήσουν σε διαταραχές ή ακόμη και διακοπές ρεύματος. Η προσθήκη των έξυπνων δικτύων και των τεχνολογιών αποθήκευσης, όμως, μετατρέπει αυτήν την πρόκληση σε ευκαιρία. (Beyza et al., 2021). Οι αισθητήρες που ενσωματώνονται στα έξυπνα δίκτυα παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τη λειτουργία των δικτύων σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας άμεσες επεμβάσεις για την εξισορρόπηση του δικτύου.

Για πρώτη φορά στην ιστορία της ΕΕ, η παραγωγή των ΑΠΕ όχι μόνο ήταν αυξημένη, αλλά ξεπέρασε αυτή των ορυκτών καυσίμων κατά το πρώτο εξάμηνο του 2024. Τα μισά κράτη-μέλη της κατάφεραν να πετύχουν τον στόχο που είχε θέσει η Ένωση και να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση εκπομπών ρύπων, η οποία έφτασε το 31%, σε σχέση με το αντίστοιχο εξάμηνο του 2022. Το ιστορικό χαμηλό στην παραγωγή ορυκτών καυσίμων συνδυάστηκε και με αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 0,7% σύμφωνα με ανάλυση της Ember (2024). Άξιο αναφοράς μάλιστα είναι ότι η Ελλάδα κατέγραψε την δεύτερη μεγαλύτερη αύξηση ζήτησης, κατά 7,8%, πίσω μόνο από την Δανία με ποσοστό αύξησης 10,4%.

Το **Σχήμα 1.7** αποτυπώνει την εξέλιξη της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές από το 1965 έως το 2023, καταγράφοντας τη συμβολή διαφορετικών τεχνολογιών ΑΠΕ. Το μεγαλύτερο μερίδιο της παραγωγής προέρχεται παραδοσιακά από την υδροηλεκτρική ενέργεια, η οποία κυριαρχεί κυρίως κατά τις πρώτες δεκαετίες. Ωστόσο, η εικόνα αλλάζει ραγδαία μετά τη δεκαετία του 2000.

Η αιολική ενέργεια γνωρίζει μια αξιοσημείωτη ανάπτυξη, συμβάλλοντας σημαντικά στην αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές. Παράλληλα, η ηλιακή ενέργεια παρουσιάζει εκρηκτική άνοδο ιδιαίτερα μετά το 2010, καθώς η βελτίωση της τεχνολογίας και η μείωση του κόστους την καθιστούν πιο προσιτή και δημοφιλή. Οι άλλες ανανεώσιμες πηγές, όπως η γεωθερμία, η βιομάζα και η ενέργεια από κυματική και παλιπροϊκή κίνηση, αν και με μικρότερη συνεισφορά, αυξάνονται σταθερά, ενισχύοντας τη συνολική παραγωγή (Ember 2024).

Συνολικά, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ σημειώνει εκθετική αύξηση τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Η στροφή αυτή υποδεικνύει τις παγκόσμιες προσπάθειες για μείωση των εκπομπών άνθρακα και την επίτευξη ενός βιώσιμου ενεργειακού μέλλοντος. Η κυριαρχία της υδροηλεκτρικής ενέργειας παραμένει, ωστόσο οι αιολικές και ηλιακές τεχνολογίες αποτελούν πλέον τους βασικούς μοχλούς ανάπτυξης, προωθώντας την ενεργειακή μετάβαση σε παγκόσμια κλίμακα.

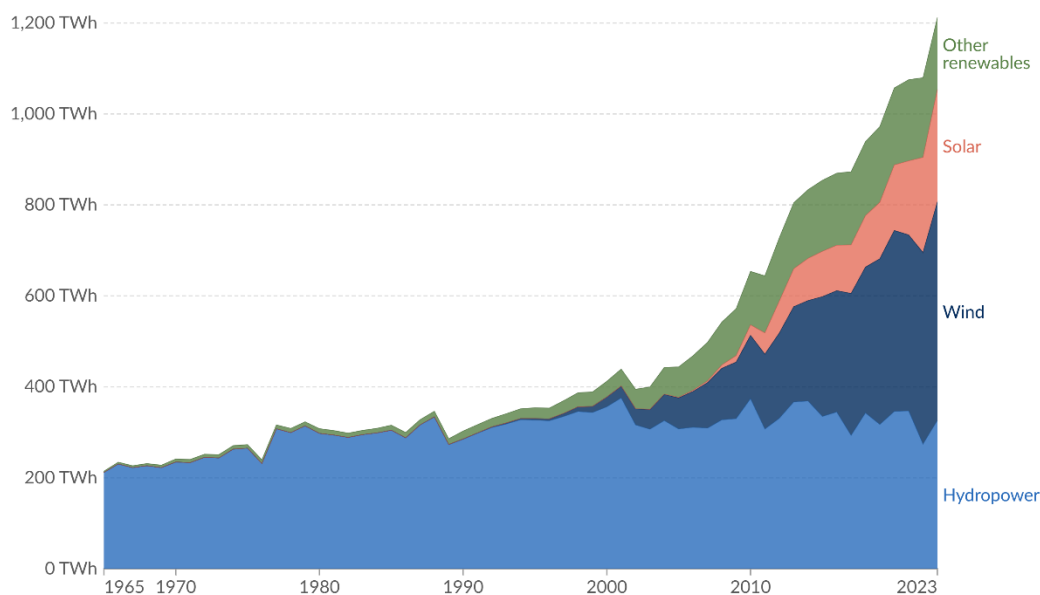


Σχήμα 1.7 Παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές από το 1965 έως το 2023, διαχωρίζοντας τις συνεισφορές διαφορετικών πηγών ανανεώσιμης ενέργειας (Energy Institute - Our World in Data, 2024)

Το **Σχήμα 1.8** αποτυπώνει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην Ευρωπαϊκή Ένωση (27 κράτη μέλη) από το 1965 έως το 2023. Σε σύγκριση με το παγκόσμιο γράφημα, η παραγωγή της ΕΕ εμφανίζει ορισμένες διαφοροποιήσεις που αντικατοπτρίζουν τις ιδιαίτερες προτεραιότητες και στρατηγικές της περιοχής.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια συνεχίζει να έχει σημαντικό ρόλο, ωστόσο, το μερίδιό της δεν αυξάνεται με την ίδια ένταση όπως σε παγκόσμιο επίπεδο. Αντιθέτως, οι αιολικές και ηλιακές πηγές ενέργειας έχουν σημειώσει μια ιδιαίτερα έντονη ανάπτυξη, ειδικά μετά το 2010, καθιστώντας την ΕΕ ηγέτη στην ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών. Η συνεισφορά των "άλλων ανανεώσιμων πηγών" (γεωθερμία, βιομάζα, ενέργεια κυμάτων) παραμένει μικρότερη, αλλά σταθερή.

Σε σχέση με το παγκόσμιο γράφημα, η ΕΕ εμφανίζει πιο ισορροπημένη κατανομή ανάμεσα στις διάφορες κατηγορίες ΑΠΕ, υποδηλώνοντας μεγαλύτερη διαφοροποίηση στην ενεργειακή της στρατηγική. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από τις φιλόδοξες πολιτικές της ΕΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, όπως η Πράσινη Συμφωνία (Green Deal), καθώς και από τη στόχευση για ενεργειακή ανεξαρτησία.



Σχήμα 1.8 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές από το 1965 έως το 2023 στην ΕΕ, διαχωρίζοντας τις συνεισφορές διαφορετικών πηγών ανανεώσιμης ενέργειας (Our World in Data, 2024)

Πιο συγκεκριμένα, δεκατρία από τα εικοσιεφτά κράτη μέλη της ΕΕ παράγουν πλέον περισσότερη ενέργεια από ΑΠΕ (ηλιακή, αιολική κυρίως), απ'ό,τι από ορυκτά καύσιμα. Η Ουγγαρία, η Γερμανία, το Βέλγιο και η Ολλανδία είναι χώρες που πετυχαίνουν αυτόν το στόχο για πρώτη φορά (IRENA, 2024).

Οι τιμές των ορυκτών καυσίμων μειώθηκαν κατά 17% σε ετήσια βάση, του άνθρακα κατά 24% και του φυσικού αερίου κατά 14%. Ταυτόχρονα, η ηλιακή και η αιολική ενέργεια γνώρισαν πρωτοφανή ανάπτυξη: το μερίδιό τους στο ενεργειακό μείγμα της ΕΕ αυξήθηκε στο 30% από 27% πέρυσι. Σε σύγκριση με πέρυσι, η ηλιακή ενέργεια αυξήθηκε κατά 20% και η αιολική ενέργεια κατά 9,5%. Αν βάλουμε στην εξίσωση και τα υδροηλεκτρικά, η παραγωγή των οποίων αυξήθηκε κατά 21%, προκύπτει το νέο ρεκόρ των ΑΠΕ.

Η Ελλάδα κατείχε την 6^η μεγαλύτερη αύξηση στην παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά και την 7^η μεγαλύτερη αύξηση στην παραγωγή από αιολικά. Την πρωτιά έχει η Γερμανία και στις δύο τεχνολογίες, πετυχαίνοντας και την μεγαλύτερη άνοδο. Πλέον, τα ορυκτά καύσιμα αντιπροσωπεύουν το 27% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ, σε μια περίοδο που τα αντίστοιχα ποσοστά για το 2023 ήταν στο 33%. Τόσο οι ευνοϊκές καιρικές συνθήκες όσο και αυξημένη εγκατάσταση ΑΠΕ έπαιξαν μεγάλο ρόλο στην δημιουργία των παραπάνω ποσοστών. Άξιο αναφοράς αποτελεί και η αύξηση στην παραγωγή πυρηνικής ενέργειας κατά 3,1% σε ολόκληρη την ΕΕ, σε σχέση με πέρυσι την ίδια περίοδο (IRENA, 2024).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι αυτή η ευρωπαϊκή τάση παρατηρήθηκε και στην Ελλάδα, όπου οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κυριάρχησαν τον Ιούνιο. Το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έφτασε το 54,9%, ενώ σύμφωνα με το μηνιαίο ενεργειακό δελτίο του ΑΔΜΗΕ (2024), η συνολική παραγωγή ενέργειας αυξήθηκε κατά 33,23% σε σύγκριση με τον περυσινό Ιούνιο, φθάνοντας τις 4.745GWh.

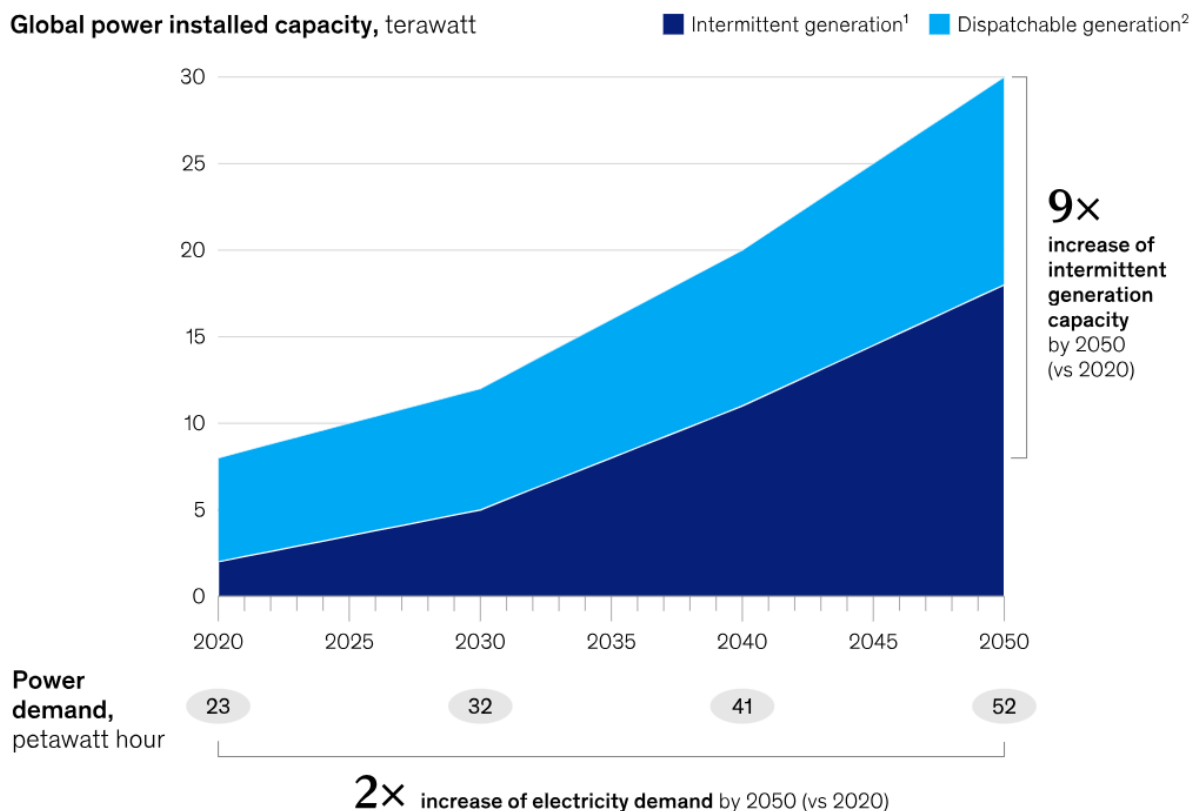
1.5.2. Εξέλιξη των δικτύων και ΑΠΕ

Η ενεργειακή μετάβαση μεταμορφώνει ριζικά το τοπίο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η απανθρακοποίηση αυξάνει τη ζήτηση για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), οι οποίες προβλέπεται να καλύπτουν το 45-50% της παγκόσμιας ενεργειακής παροχής έως το 2030 και το 60-70% έως το 2040. Η αυξανόμενη ζήτηση οδηγεί σε εντυπωσιακή ανάπτυξη της εγκατεστημένης δυναμικότητας ΑΠΕ, η οποία εκτιμάται ότι θα αυξηθεί κατά εννέα φορές από το 2020 έως το 2050. Παράλληλα, η μετάβαση σε ΑΠΕ, σε συνδυασμό με την οικονομική ανάπτυξη, αναμένεται να προκαλέσει ταχεία αύξηση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα ενεργειακά δίκτυα θα πρέπει να επεκταθούν σημαντικά για να ανταποκριθούν στη ραγδαία αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών. Για την επίτευξη μηδενικών εκπομπών έως το 2050, οι χώρες θα χρειαστεί να διπλασιάσουν τις ετήσιες επενδύσεις τους σε υποδομές, όπως γραμμές μεταφοράς και σχετικό εξοπλισμό, φτάνοντας τα 550 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως έως το 2030 (McKinsey, 2024).

Το **Σχήμα 1.9** υπογραμμίζει την προβλεπόμενη αύξηση της παγκόσμιας εγκατεστημένης δυναμικότητας παραγωγής ενέργειας έως το 2050, καθώς και την παράλληλη αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή από διαλείπουσες πηγές, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, εκτιμάται ότι θα αυξηθεί εννέα φορές την περίοδο 2020-2050. Αυτή η εξέλιξη απαιτεί ουσιαστικές επεκτάσεις και προσαρμογές στα ενεργειακά δίκτυα, ώστε να υποστηρίξουν τη μεταβλητή φύση αυτών των πηγών.

Ταυτόχρονα, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας προβλέπεται να διπλασιαστεί, από 23 PWh το 2020 σε 52 PWh το 2050, κυρίως λόγω της αυξανόμενης υιοθέτησης καθαρής ενέργειας και της γενικής οικονομικής ανάπτυξης. Η συνολική εγκατεστημένη δυναμικότητα παραγωγής, που περιλαμβάνει τόσο διαλείπουσες όσο και προβλέψιμες πηγές, αναμένεται να ξεπεράσει τα 30 TW έως το 2050. Το διάγραμμα αναδεικνύει τη ζωτική ανάγκη για μεγαλύτερη ευελιξία στα ενεργειακά δίκτυα, αυξημένες επενδύσεις σε υποδομές και υιοθέτηση τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, ώστε να διαχειριστεί η αυξανόμενη διείσδυση των ΑΠΕ και να ικανοποιηθεί η αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση (GEP, 2023).



Σχήμα 1.9 Η ανάγκη των ενεργειακών δικτύων να προσαρμοστούν στην αυξημένη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στη ραγδαία αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (Global Energy Perspective, McKinsey, 2023)

Η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στα ενεργειακά δίκτυα είναι μια περίπλοκη διαδικασία, που αντιμετωπίζει δύο κύριες προκλήσεις:

1. **Ανεπάρκεια Δικτύου:** Τα υπάρχοντα δίκτυα δεν έχουν την απαραίτητη φυσική χωρητικότητα για να καλύψουν τη ζήτηση και την προσφορά. Αυτό οφείλεται στον σχεδιασμό τους, που βασίζεται σε κεντροποιημένη παραγωγή από ορυκτά καύσιμα, και στην αναποτελεσματική σχεδίαση, η οποία περιορίζει την ανάπτυξη νέας δυναμικότητας ΑΠΕ.
2. **Αστάθεια Δικτύου:** Η αυξημένη διείσδυση διαλείπουσας ενέργειας (όπως ηλιακής και αιολικής) προκαλεί διακυμάνσεις στη συχνότητα και την τάση του δικτύου. Η σταδιακή κατάργηση παραδοσιακών στοιχείων εξισορρόπησης, όπως οι θερμικοί σταθμοί, μειώνει την ικανότητα σταθεροποίησης του συστήματος, δημιουργώντας ανάγκη για πιο πολύπλοκες υπηρεσίες εξισορρόπησης και αναδιάρθρωση των διαδικασιών συντονισμού (Gao et al., 2020).

Οι διαχειριστές δικτύου αντιμετωπίζουν μεγάλες δυσκολίες στην ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), καθώς τα τρέχοντα εργαλεία και οι διαδικασίες δεν επαρκούν για να αξιοποιηθεί η υπάρχουσα χωρητικότητα ή να σχεδιαστούν νέες αποδοτικές υποδομές. Οι αβεβαιότητες που σχετίζονται με τη ζήτηση, όπως η αύξηση των ηλεκτρικών οχημάτων και των ηλιακών συστημάτων, και με την προσφορά, όπως η τοποθεσία και η μεταβλητότητα των ΑΠΕ, δυσκολεύουν τον σχεδιασμό και τη διαχείριση του δικτύου. Επιπλέον, παράγοντες όπως οι επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στις διαλείπουσες πηγές

ενέργειας και η γήρανση του εξοπλισμού αυξάνουν την πολυπλοκότητα και μειώνουν την αξιοπιστία, απαιτώντας καλύτερο σχεδιασμό και στρατηγική.

Η χρήση αρθρωτής αρχιτεκτονικής δεδομένων (modular data architecture) είναι κρίσιμη, καθώς διευκολύνει την αποσύνθεση πολύπλοκων συστημάτων σε πιο μικρά και διαχειρίσιμα κομμάτια. Η αρθρωτή αρχιτεκτονική δεδομένων είναι μια μέθοδος σχεδιασμού και διαχείρισης δεδομένων που οργανώνει τα συστήματα σε μικρότερα, αυτόνομα τμήματα, γνωστά ως "αρθρώματα" (modules). Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την ευκολότερη ανάπτυξη, συντήρηση και επέκταση των συστημάτων, καθώς τα αρθρώματα μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα και να τροποποιούνται χωρίς να επηρεάζουν άλλα μέρη του συστήματος. Ο διαχωρισμός αυτός παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία, καλύτερη προσαρμοστικότητα και αυξημένη αποδοτικότητα στη διαχείριση δεδομένων (Krämer & Senner, 2015) .

Με την αρθρωτή αρχιτεκτονική, κάθε άρθρωμα εκτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες και μπορεί να τροποποιηθεί, να βελτιωθεί ή να αντικατασταθεί με ελάχιστη επίδραση στο σύνολο του συστήματος. Αυτό προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η ευκολότερη πρόσβαση στα δεδομένα, η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των αρθρωμάτων και η ταχύτερη ανάπτυξη νέων λειτουργιών. Επιπλέον, η ανεξαρτησία μεταξύ των αρθρωμάτων επιτρέπει την ταυτόχρονη εργασία σε διαφορετικά μέρη του συστήματος, μειώνοντας τον χρόνο ανάπτυξης και την πιθανότητα λαθών. Η αρχιτεκτονική αυτή διευκολύνει επίσης την αντιμετώπιση αβεβαιοτήτων, καθώς οι αλλαγές περιορίζονται μόνο στα απαραίτητα αρθρώματα, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο σφαλμάτων (Mittal et al., 2022).

Στα ενεργειακά δίκτυα, η αρθρωτή αρχιτεκτονική δεδομένων επιτρέπει τη διαχείριση διαφορετικών τύπων πληροφοριών, όπως προβλέψεις κατανάλωσης ενέργειας, δεδομένα εξοπλισμού και μετεωρολογικές προβλέψεις. Αυτό διευκολύνει την ενημέρωση αυτών των δεδομένων και την αξιοποίησή τους σε πραγματικό χρόνο. Σε άλλες επιχειρηματικές εφαρμογές, η ίδια αρχιτεκτονική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαχείριση πληροφοριών σχετικά με πελάτες, προμηθευτές και εφοδιαστικές αλυσίδες, επιτρέποντας ευκολότερη αναπροσαρμογή των συστημάτων σύμφωνα με τις ανάγκες (McKinsey&Company, 2024).

Η αρθρωτή αρχιτεκτονική δεδομένων είναι ιδανική για δυναμικά συστήματα όπου απαιτούνται γρήγορες προσαρμογές και βελτιώσεις. Παρέχει μια ευέλικτη και αποτελεσματική λύση για τη διαχείριση δεδομένων και την ανάπτυξη συστημάτων, καθιστώντας την απαραίτητη σε σύγχρονες, απαιτητικές εφαρμογές. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία, καλύτερη κλιμάκωση και προσαρμοστικότητα, ενώ διευκολύνει την αποτελεσματική διαχείριση των δεδομένων. Μέσω αυτής της προσέγγισης, τα δεδομένα λειτουργούν σαν «δομικά στοιχεία» (McKinsey, 2024), ενημερώνονται μεμονωμένα όταν χρειάζεται και επιτρέπουν πιο αξιόπιστες προβλέψεις, χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους.

Παράλληλα, τα μοντέλα προσομοίωσης συνδυάζουν γενικές τάσεις του δικτύου και τοπικές δυναμικές, βοηθώντας τους διαχειριστές να εξετάσουν πολλές επιλογές και να προγραμματίσουν καλύτερα, ακόμα και σε αβέβαιες συνθήκες. Αυτά τα μοντέλα επιτρέπουν την εκτίμηση παραγόντων όπως αποτυχίες εξοπλισμού ή διακυμάνσεις τάσης σε βάθος χρόνου. Χρησιμοποιώντας τεχνολογίες όπως το deep learning (Kotsiopoulos, 2021), ο χρόνος προσομοίωσης μπορεί να μειωθεί από μέρες σε δευτερόλεπτα, διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων.

Η διαδικασία σύνδεσης των ΑΠΕ στο δίκτυο παρουσιάζει επίσης προκλήσεις, όπως η έλλειψη σύγχρονων προτεραιοτήτων, η περιορισμένη ψηφιοποίηση και η απουσία τυποποίησης στον εξοπλισμό και τις άδειες. Για την αντιμετώπιση αυτών των θεμάτων, οι διαχειριστές μπορούν να αξιοποιήσουν προηγμένα εργαλεία σχεδιασμού, να αυτοματοποιήσουν διαδικασίες, να χρησιμοποιήσουν τεχνητή νοημοσύνη για καλύτερη επικοινωνία με τους πελάτες και να προσαρμόσουν τις απαιτήσεις σύνδεσης. Σημαντική είναι η τυποποίηση του εξοπλισμού και η αποτελεσματική διαχείριση των πόρων, ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία αδειοδότησης και σύνδεσης (McKinsey, 2024).

Η έλλειψη πληροφόρησης σε πραγματικό χρόνο για τις ροές ενέργειας στο χαμηλής τάσης δίκτυο επηρεάζει την ικανότητα των διαχειριστών να διατηρούν τη σταθερότητα μέσω της διαχείρισης των συνδεδεμένων πόρων.

Για να ξεπεράσουν αυτά τα προβλήματα, οι διαχειριστές μπορούν να αξιοποιήσουν τεχνολογίες που ενισχύουν τη σταθερότητα του συστήματος και την επάρκεια του δικτύου, όπως εξελιγμένοι μετατροπείς ισχύος και συστήματα διαχείρισης αδράνειας και συμφόρησης. Παράλληλα, καινοτόμες υπηρεσίες ευελιξίας μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση των φυσικών περιορισμών, στη βελτίωση της σταθερότητας και στην απλοποίηση της καθημερινής λειτουργίας του δικτύου.

Οι προηγμένες τεχνολογίες δικτύου παίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση και βελτιστοποίηση του συστήματος. Αυτές περιλαμβάνουν τέσσερις κύριες κατηγορίες: προηγμένα εξαρτήματα, συστήματα παρακολούθησης και βελτιστοποίησης, λογισμικά ενσωμάτωσης καταναμημένων ενεργειακών πόρων και τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Οι τεχνολογίες όπως οι προηγμένοι μετασχηματιστές, τα συστήματα διαχείρισης δικτύου και οι λύσεις αποθήκευσης ενέργειας θεωρούνται ώριμες και υψηλής αξίας, καθώς μπορούν να βοηθήσουν στη διεύθυνση των ΑΠΕ στο δίκτυο, παρέχοντας καλύτερη ορατότητα στην κατάσταση του δικτύου και βελτιώνοντας τις λειτουργίες του.

Σε ορισμένες περιοχές, όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, έχουν ήδη ξεκινήσει πρωτοβουλίες για την ενίσχυση της παρακολούθησης των χαμηλής τάσης δικτύων, με στόχο την υποστήριξη της ενσωμάτωσης ηλεκτρικών οχημάτων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτή η παρακολούθηση επιτυγχάνεται μέσω της εγκατάστασης έξυπνων συσκευών με δυνατότητες άμεσης επεξεργασίας δεδομένων, οι οποίες συνδυάζονται με κατάλληλα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, ενισχύοντας την ορατότητα και τη λειτουργικότητα του δικτύου χαμηλής τάσης (McKinsey, 2024)..

Το **Σχήμα 1.10** καταδεικνύει ότι οι πιο ώριμες τεχνολογίες, όπως η διαχείριση δικτύου, η παρακολούθηση δικτύου και η αποθήκευση ενέργειας, έχουν τη μεγαλύτερη αξία για την υποστήριξη της ενσωμάτωσης ΑΠΕ. Παράλληλα, τεχνολογίες σε πρώιμα στάδια, όπως τα υλικά γραμμών και οι διακόπτες, αποτελούν πολλά υποσχόμενες λύσεις για μελλοντική ανάπτυξη. Συνολικά, η έμφαση δίνεται στη συνδυασμένη χρήση ώριμων και αναπτυσσόμενων τεχνολογιών για την καλύτερη διαχείριση και ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα δίκτυα.

Grid management and advanced transformers technologies can aid the integration of renewable energy sources.

Advanced grid technologies heatmap (illustrative)

	Value pool Addressable market size, \$ bn	Efficiency/cost benefit Improvement multiplier, %	Maturity
Advanced components	1–10	0–20	Research phase
System monitoring and optimization	11–50	21–50	First commercial applications
DER ¹ integration	>50	51–100	Operational deployment
Energy storage			
1. Line materials ²			
2. Advanced switches ³			
3. Advanced transformers ⁴			
4. Towers enhancements ⁵			
5. Voltage uprating ⁶			
6. Grid management ⁷			
7. Grid monitoring ⁸			
8. Electric vehicle charging software ⁹			
9. DER integration software ¹⁰			
10. Energy storage ¹¹			

Σχήμα 1.10 Προηγμένες τεχνολογίες δικτύου για τη διευκόλυνση της ενσωμάτωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Αξία, αποδοτικότητα και βαθμός ωριμότητας (McKinsey, 2023)

Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) απαιτεί υπηρεσίες ευελιξίας για τη διαχείριση της ισορροπίας προσφοράς και ζήτησης σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας την εξάρτηση από ακριβές και ρυπογόνες μονάδες αιχμής. Για την επιτυχία αυτών των υπηρεσιών, απαιτείται συνεργασία μεταξύ διαχειριστών δικτύων, ρυθμιστικών αρχών και παρόχων ευελιξίας, καθώς και ένα αποτελεσματικό ρυθμιστικό πλαίσιο (Rossel et al., 2018).

Αυτές οι υπηρεσίες περιλαμβάνουν προσωρινές αλλαγές στην κατανάλωση, την παραγωγή ή την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας από παρόχους ευελιξίας, όταν αυτό ζητηθεί. Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις συμφόρησης στο δίκτυο, οι πάροχοι ευελιξίας μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ή να αυξήσουν την παραγωγή τους για να διατηρηθεί η ισορροπία. Άλλες υπηρεσίες περιλαμβάνουν την προμήθεια αδράνειας (inertia), (Tielens & Van Hertem, 2016), δηλαδή της ικανότητας του συστήματος να απορροφά και να αντιδρά σε διαταραχές συχνότητας, και υπηρεσίες συμφόρησης (congestion services), που διαχειρίζονται την ροή ενέργειας σε περιοχές με περιορισμένη χωρητικότητα (Paschalidis & Tsitsiklis, 2000).

Οι υπηρεσίες ευελιξίας απαιτούν στενό συντονισμό μεταξύ διαχειριστών δικτύου, ρυθμιστικών αρχών και παρόχων ευελιξίας. Χρειάζονται επίσης ένα ξεκάθαρο ρυθμιστικό πλαίσιο που να ορίζει τις διαδικασίες ανταλλαγής δεδομένων, τους όρους αμοιβής για τις υπηρεσίες που παρέχονται και τις ποινές για μη τήρηση των συμφωνημένων. Αυτή η συνεργασία είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική λειτουργία του δικτύου και τη βέλτιστη χρήση των ενεργειακών πόρων (Villar et al., 2018).

Οι διαχειριστές πρέπει να επικεντρωθούν στη βελτίωση των μοντέλων λειτουργίας τους, ενισχύοντας τις δεξιότητες του προσωπικού, τη διακυβέρνηση και τις διαδικασίες τους, ενώ συνεργάζονται στενά με πέντε βασικούς φορείς: διαχειριστές μεταφοράς, ρυθμιστικές αρχές, προγραμματιστές ΑΠΕ, βιομηχανίες ευελιξίας και καταναλωτές. Στόχος είναι η ενίσχυση της ορατότητας και της αποδοτικότητας του δικτύου, η συνεργασία για αδειοδοτήσεις και η παροχή κινήτρων για ευέλικτη κατανάλωση ενέργειας (McKinsey, 2024).

Η απανθρακοποίηση απαιτεί δίκτυα που μπορούν να υποστηρίξουν τη μεταβλητότητα των ΑΠΕ. Αν και οι υποδομές αυξάνονται, απαιτείται καλύτερος σχεδιασμός, συντονισμός και λειτουργία για τη δημιουργία ενός παγκόσμιου δικτύου μηδενικών εκπομπών.

1.5.3. Αποθήκευση Ενέργειας

Η αποθήκευση ενέργειας προσφέρει το πρόσθετο πλεονέκτημα της διαχείρισης αυτών των διακυμάνσεων, αποθηκεύοντας ενέργεια κατά τις περιόδους αιχμής παραγωγής και απελευθερώνοντάς την όταν η παραγωγή πέφτει. Αυτή η δυνατότητα μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της ανάγκης για εφεδρικές συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως τα εργοστάσια φυσικού αερίου, τα οποία συχνά ενεργοποιούνται όταν η παραγωγή από ΑΠΕ δεν επαρκεί για να καλύψει τη ζήτηση. Η μείωση της εξάρτησης από τις συμβατικές πηγές ενέργειας σημαίνει και μείωση των εκπομπών ρύπων, κάτι που ευθυγραμμίζεται με τους παγκόσμιους στόχους για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής (IRENA, 2024).

Παρά τις σημαντικές δυνατότητες των έξυπνων δικτύων και της αποθήκευσης ενέργειας, παραμένουν προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την πλήρη ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα συστήματα διανομής. Οι επενδύσεις σε υποδομές και η ανάπτυξη κατάλληλων ρυθμιστικών πλαισίων είναι απαραίτητες για να διασφαλιστεί ότι τα δίκτυα θα μπορέσουν να αντέξουν την αυξημένη μεταβλητότητα της παραγωγής ενέργειας. Επιπλέον, απαιτούνται τεχνολογικές βελτιώσεις στην αποδοτικότητα των συστημάτων αποθήκευσης, προκειμένου να μειωθεί το κόστος τους και να καταστούν πιο προσβάσιμα και βιώσιμα οικονομικά.

Συνοψίζοντας, η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα δίκτυα διανομής έχει μεταβάλει ριζικά τον τρόπο λειτουργίας τους. Η αυξημένη χρήση των ΑΠΕ φέρνει προκλήσεις για τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του δικτύου, αλλά τα έξυπνα δίκτυα και η αποθήκευση ενέργειας προσφέρουν λύσεις που μπορούν να μετατρέψουν αυτές τις προκλήσεις σε ευκαιρίες. Η αποθήκευση ενέργειας, ειδικότερα, προσφέρει τη δυνατότητα για καλύτερη διαχείριση των μεταβλητών πηγών παραγωγής και βελτίωση της αποδοτικότητας του συστήματος συνολικά. Με την κατάλληλη επένδυση σε υποδομές και τεχνολογίες, τα έξυπνα δίκτυα και η αποθήκευση ενέργειας μπορούν να διασφαλίσουν τη βιωσιμότητα του ενεργειακού συστήματος, προσφέροντας πιο καθαρή και αποδοτική ενέργεια για το μέλλον.

1.6 Κανονισμοί και Πολιτική

Οι κανονισμοί που αφορούν τη λειτουργία των δικτύων διανομής ενέργειας αποτελούν ένα από τα πιο σύνθετα και κρίσιμα θέματα στον ενεργειακό τομέα, καθώς διαμορφώνουν το

πλαίσιο μέσα στο οποίο λειτουργούν οι επιχειρήσεις ενέργειας, προωθούν την ασφάλεια και την αξιοπιστία των δικτύων και διασφαλίζουν την προστασία του περιβάλλοντος. Οι κανονισμοί διαμορφώνονται τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο, με στόχο να ρυθμίζουν την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή της ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τις τεχνολογικές εξελίξεις, τις κοινωνικές ανάγκες και τους στόχους για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα. Σε διεθνές επίπεδο, οργανισμοί όπως η Διεθνής Οργάνωση Ενέργειας (IEA) και η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των κανονιστικών πλαισίων. Η ΕΕ, έχει προωθήσει σημαντικές νομοθεσίες, όπως η Οδηγία για την Εσωτερική Αγορά Ενέργειας, που αποσκοπούν στην απελευθέρωση των ενεργειακών αγορών και τη δημιουργία ενός ενιαίου ευρωπαϊκού δικτύου. Αυτή η απελευθέρωση έχει στόχο τη δημιουργία ενός ανταγωνιστικού περιβάλλοντος που θα ενισχύει την αποδοτικότητα και τη διαφάνεια, διασφαλίζοντας παράλληλα την προστασία των καταναλωτών και την πρόσβαση σε καθαρή ενέργεια.

Σε εθνικό επίπεδο, κάθε χώρα έχει τη δική της ρυθμιστική αρχή ενέργειας, η οποία επιβλέπει τη λειτουργία των δικτύων και την εφαρμογή των κανονισμών. Οι κανονισμοί αυτοί καλύπτουν ευρεία θέματα, όπως η τιμολόγηση της ενέργειας, οι επενδύσεις σε νέες υποδομές, οι πολιτικές για την ενεργειακή απόδοση και η προστασία του περιβάλλοντος. Ένα σημαντικό μέρος των εθνικών κανονισμών αφορά την ασφάλεια των δικτύων διανομής και μεταφοράς, καθώς και την ανθεκτικότητά τους σε φυσικές καταστροφές ή κυβερνοεπιθέσεις. Παράλληλα, οι κανονισμοί αυτοί ενσωματώνουν υποχρεώσεις για τη σταδιακή απανθρακοποίηση των ενεργειακών συστημάτων, με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Οι κανονισμοί αυτοί περιλαμβάνουν τη σταδιακή αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, την προώθηση των ηλεκτρικών οχημάτων και την ενίσχυση της ενεργειακής αποδοτικότητας στις βιομηχανίες και τα κτίρια.

Η στρατηγική για την ενεργειακή μετάβαση σε παγκόσμιο επίπεδο εστιάζει κυρίως στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και την προώθηση μιας βιώσιμης οικονομίας χαμηλών εκπομπών. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, για παράδειγμα, έχει θέσει φιλόδοξους στόχους στο πλαίσιο της Πράσινης Συμφωνίας (Green Deal) (2020), η οποία στοχεύει στη μείωση των εκπομπών κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030 και την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050. Η στρατηγική αυτή περιλαμβάνει μέτρα όπως η αύξηση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων και η προώθηση της κυκλικής οικονομίας. Επιπλέον, η ενεργειακή μετάβαση απαιτεί τη μετάβαση σε έξυπνα δίκτυα διανομής και τη χρήση τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, που επιτρέπουν την καλύτερη διαχείριση των διακυμάνσεων στην παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές.

Οι στρατηγικές αυτές ενσωματώνονται και σε εθνικές πολιτικές, όπου πολλές χώρες επενδύουν σε υποδομές και προγράμματα στήριξης για την προώθηση της καθαρής ενέργειας. Η Στρατηγική για τη Βιώσιμη Ενέργεια του ΟΗΕ (2015) αποτελεί επίσης έναν παγκόσμιο οδηγό για την ενεργειακή μετάβαση, προωθώντας τη συνεργασία μεταξύ κρατών, την καινοτομία και την ανάπτυξη καθαρών τεχνολογιών. Η επιτυχία αυτών των στρατηγικών εξαρτάται από τη συνεχή προσαρμογή των κανονισμών στις νέες τεχνολογικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις, καθώς και από την ικανότητα των κυβερνήσεων να προσελκύσουν επενδύσεις και να στηρίξουν την καινοτομία στον ενεργειακό τομέα.

Κεφάλαιο 2: Η Εξέλιξη του Δικτύου Διανομής της Ελλάδας

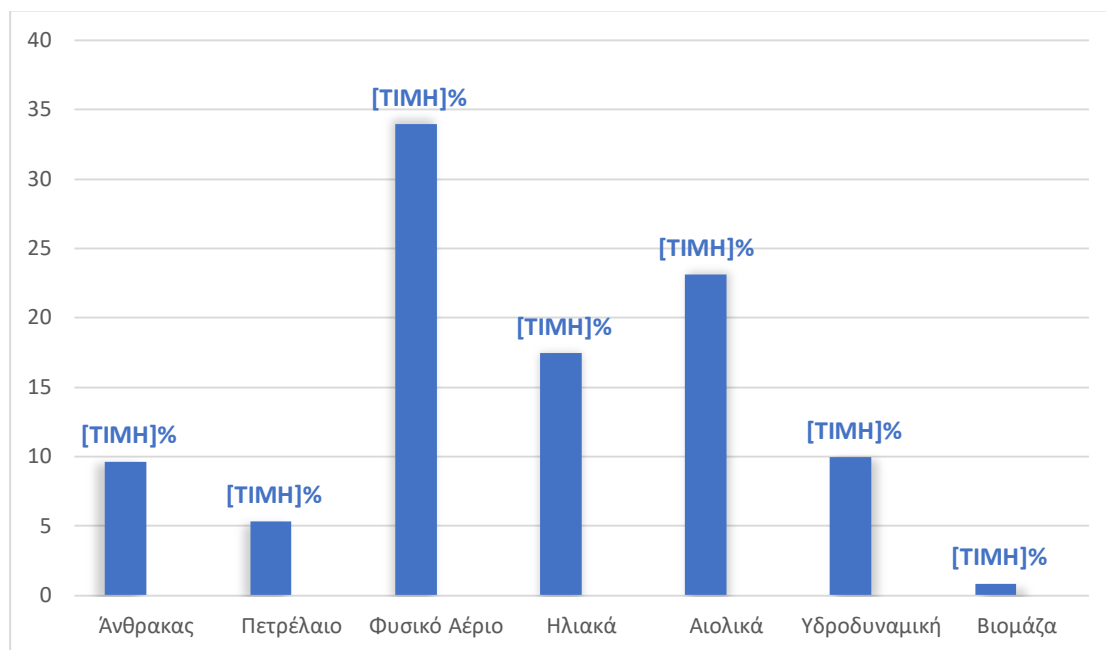
2.1 Το Δίκτυο σήμερα

Το δίκτυο διανομής ενέργειας στην Ελλάδα αποτελεί ένα σύνθετο και στρατηγικής σημασίας σύστημα για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της χώρας, καθώς και για τη στήριξη της οικονομικής ανάπτυξης και της κοινωνικής ευημερίας. Οι ενεργειακές ανάγκες της Ελλάδας παρουσιάζουν μοναδικά χαρακτηριστικά λόγω του γεωγραφικού της ανάγλυφου. Περιλαμβάνει έναν συνδυασμό αστικών και αγροτικών περιοχών, μεγάλα ορεινά τμήματα, καθώς και μεγάλο αριθμό νησιών, που απαιτούν εξειδικευμένες λύσεις για την παροχή ενέργειας. Το δίκτυο διανομής ενέργειας, που διαχειρίζεται ο Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ), καλύπτει ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων, όπως η μεταφορά και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας από τους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής προς τους τελικούς καταναλωτές σε κάθε γωνιά της χώρας. Το δίκτυο αυτό, αντιμετωπίζει μεγάλες προκλήσεις, όπως η αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας, η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι φυσικές καταστροφές, αλλά και η ανάγκη για αναβάθμιση και εκσυγχρονισμό των υποδομών, ιδίως σε απομακρυσμένες περιοχές και στα νησιά, όπου η πρόσβαση είναι δυσκολότερη.

Κοιτώντας μια πιο αριθμητική αποτύπωση των δικτύων μεταφοράς και διανομής ενέργειας στην Ελλάδα, σύμφωνα με τον ΔΕΔΔΗΕ (2023), βλέπουμε πως τέλος του έτους, το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας περιλάμβανε συνολικά 245.300 χλμ. δικτύου, εκ των οποίων 115.400 χλμ. αφορούσαν το Δίκτυο Μέσης Τάσης (Μ.Τ.) και 129.000 χλμ. το Δίκτυο Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.). Το δίκτυο περιλάμβανε 993 χλμ. Δίκτυο Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.), εκ των οποίων 218 χλμ. βρίσκονται στην Αττική και 775 χλμ. στα μη διασυνδεδεμένα νησιά. Υπήρχαν συνολικά 165.290 υποσταθμοί Μέσης προς Χαμηλή Τάση (Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ) και 241 υποσταθμοί Υψηλής προς Μέση Τάση (Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ). Ο συνολικός αριθμός πελατών ανήλθε σε 7.700.000, εκ των οποίων 12.668 συνδέονται με το δίκτυο Μ.Τ. και 7.580.744 με το δίκτυο Χ.Τ. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας έφτασε τις 41.983 GWh, με 10.950 GWh στη Μ.Τ. και 31.033 GWh στη Χ.Τ.

Οι ενεργειακές ανάγκες της Ελλάδας, όπως σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες, παρουσιάζουν αυξητική τάση λόγω της οικονομικής ανάπτυξης, της αστικοποίησης, αλλά και της αύξησης της χρήσης ηλεκτρικών συσκευών και τεχνολογιών που απαιτούν υψηλά επίπεδα ενέργειας. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (IEA) (2023), η κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα επικεντρώνεται κυρίως στον οικιακό τομέα και τη βιομηχανία, με τις απαιτήσεις να αυξάνονται συνεχώς. Ειδικά οι ανάγκες για θέρμανση και ψύξη αποτελούν σημαντικούς παράγοντες κατανάλωσης, με την αιχμή της ζήτησης να παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια του χειμώνα και των θερμών καλοκαιρινών μηνών. Παράλληλα, η αύξηση του τουρισμού, που αποτελεί κομβικό τομέα της ελληνικής οικονομίας, ασκεί αυξημένη πίεση στα ενεργειακά δίκτυα, ιδίως στις τουριστικές περιοχές και τα νησιά, όπου η ζήτηση ενέργειας αυξάνεται εκθετικά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Σε αυτό το πλαίσιο, η αξιοπιστία και η ανθεκτικότητα του δικτύου διανομής είναι κρίσιμη, καθώς η Ελλάδα πρέπει να διασφαλίσει την αδιάλειπτη παροχή ενέργειας στους καταναλωτές, παρά τις όποιες εποχικές διακυμάνσεις.

Κύρια πηγή ηλεκτρισμού στην χώρα για το 2023 ήταν το φυσικό αέριο με ποσοστό 33.9% με το αιολικά να ακολουθούν με 23.1% και τα ηλιακά πάνελ να βρίσκονται στο 17,4% (**Σχήμα 2.1**).



Σχήμα 2.1 Πηγές Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας Ελλάδα 2023 (IEA, 2023)

Το ελληνικό δίκτυο διανομής ενέργειας αντιμετωπίζει μια σειρά από σημαντικές προκλήσεις, που συνδέονται με την ανάγκη για εκσυγχρονισμό και βελτίωση της αποδοτικότητας του δικτύου. Οι υποδομές που χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό είναι πεπαλαιωμένες, με αποτέλεσμα η ανάγκη για επενδύσεις και αναβαθμίσεις να είναι μεγαλύτερη από ποτέ. Ειδικά στις νησιωτικές περιοχές, η γεωγραφική απομόνωση και οι υψηλές απαιτήσεις ενέργειας κατά τη θερινή περίοδο δημιουργούν επιπρόσθετες προκλήσεις. Τα νησιά του Αιγαίου, για παράδειγμα, δεν είναι συνδεδεμένα με το ηπειρωτικό σύστημα μεταφοράς ενέργειας και στηρίζονται σε αυτόνομα συστήματα παραγωγής, συνήθως με τη χρήση ορυκτών καυσίμων, τα οποία αυξάνουν το κόστος και τις εκπομπές ρύπων. Η διασύνδεση των νησιών με το ηπειρωτικό δίκτυο είναι σε εξέλιξη μέσω μεγάλων έργων υποβρύχιων καλωδίων, που θα ενισχύσουν τη σταθερότητα και την αποδοτικότητα του συστήματος, μειώνοντας τις απώλειες και τις ανάγκες για τοπική παραγωγή ενέργειας με χρήση ρυπογόνων πηγών (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2024).

Στην Ελλάδα, η ανάπτυξη έξυπνων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας βρίσκεται σε εξέλιξη, με κύριο άξονα την εγκατάσταση «έξυπνων» μετρητών. Μέχρι το 2021, είχαν τοποθετηθεί περίπου 83.000 έξυπνοι μετρητές, εκ των οποίων 13.000 σε καταναλωτές μέσης τάσης και 70.000 σε χαμηλής τάσης, κυρίως σε καταναλωτές με υψηλή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Το 2022, προστέθηκαν 100.000 νέοι μετρητές, ενώ για το 2023 εκτιμάται ότι ο αριθμός τους θα αυξηθεί κατά 500.000. Από το 2024 έως το 2030, προβλέπεται η ετήσια εγκατάσταση 800.000 έως 1 εκατομμυρίου έξυπνων μετρητών, με στόχο την πλήρη κάλυψη των 7,3 εκατομμυρίων παροχών χαμηλής τάσης (ΔΕΔΔΗΕ, 2024).

Παράλληλα, ο ΔΕΔΔΗΕ έχει προγραμματίσει επενδύσεις ύψους 734,12 εκατ. ευρώ για την προμήθεια και εγκατάσταση των έξυπνων μετρητών κατά την περίοδο 2024-2028. Αυτές οι

δράσεις εντάσσονται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο εκσυγχρονισμού του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, με στόχο τη βελτίωση της αποδοτικότητας, την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την παροχή καλύτερων υπηρεσιών στους καταναλωτές. Ωστόσο, μέχρι την ολοκλήρωση αυτών των έργων, το ποσοστό του δικτύου που λειτουργεί ως «έξυπνο» παραμένει περιορισμένο.

Η μετάβαση σε πιο καθαρές πηγές ενέργειας και η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) είναι ένα από τα πιο φιλόδοξα και κρίσιμα σχέδια της ελληνικής ενεργειακής πολιτικής. Σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ, 2024), η Ελλάδα έχει δεσμευτεί να αυξήσει το ποσοστό των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή σε τουλάχιστον 35% έως το 2030. Αυτό απαιτεί την ενσωμάτωση ενός σημαντικού όγκου παραγόμενης ενέργειας από πηγές όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, καθώς και η βιομάζα, στα υπάρχοντα δίκτυα διανομής. Οι ΑΠΕ, ωστόσο, δημιουργούν προκλήσεις λόγω της μεταβλητότητας της παραγωγής τους, κάτι που απαιτεί ευέλικτα και έξυπνα δίκτυα (smart grids) που μπορούν να προσαρμόζουν την προσφορά ενέργειας στη ζήτηση σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες, αναμένεται να διαδραματίσει κεντρικό ρόλο σε αυτή τη μετάβαση, καθώς επιτρέπει τη διατήρηση της πλεονάζουσας ενέργειας για μελλοντική χρήση, ενισχύοντας τη σταθερότητα του συστήματος.

Η πολιτική για την ενεργειακή μετάβαση της Ελλάδας, σε ευθυγράμμιση με τις ευρωπαϊκές δεσμεύσεις για το κλίμα, επικεντρώνεται επίσης στη σταδιακή μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων, όπως ο λιγνίτης, ο οποίος έχει αποτελέσει βασική πηγή ενέργειας για δεκαετίες. Η απολιγνιτοποίηση, που βρίσκεται σε εξέλιξη, απαιτεί την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και υποδομών, καθώς και τη διαφοροποίηση του ενεργειακού μείγματος με περισσότερες ΑΠΕ και φυσικό αέριο ως μεταβατικό καύσιμο. Η μετάβαση αυτή δεν είναι εύκολη, καθώς πολλές περιοχές, όπως η Δυτική Μακεδονία, εξαρτώνται οικονομικά από την παραγωγή λιγνίτη, και οι τοπικές κοινωνίες θα πρέπει να βρουν νέες πηγές οικονομικής ανάπτυξης. Για την υποστήριξη αυτής της μετάβασης, η ελληνική κυβέρνηση και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν δημιουργήσει ταμεία και προγράμματα, όπως το Ταμείο Δίκαιης Μετάβασης, για να βοηθήσουν τις πληγείσες περιοχές (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2024).

2.2 Επενδύσεις στο Δίκτυο

Ο ρόλος του ΔΕΔΔΗΕ ως προς την απανθρακοποίηση είναι ιδιαίτερα σημαντικός, καθώς από την μία ως κύριος Διαχειριστής Συστήματος Διανομής (ΔΣΔ) της χώρας, συμβάλλει στη λειτουργία ενός κλιματικά ανθεκτικού Δικτύου Διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της ενσωμάτωσης των ΑΠΕ, ενώ παράλληλα έχει δεσμευτεί να επιτύχει ανθρακική ουδετερότητα έως το 2050 σε όλο το εύρος των δραστηριοτήτων του οργανισμού. Ο ΔΕΔΔΗΕ έχει δρομολογήσει επενδύσεις ενεργειακής μετάβασης έως το 2030 που σχετίζονται με υποσταθμούς, έξυπνα δίκτυα και υποθαλάσσια καλώδια, συνδέσεις χρηστών και πρωτοβουλίες μηδενικών εκπομπών. Βάση των εκθέσεων της ΡΑΕ για τις διασυνδέσεις των νησιών του Αιγαίου, ο ΔΕΔΔΗΕ έχει προγραμματίσει πλήθος διασυνδέσεων ΜΤ, μεγάλο μέρος των οποίων θα καλυφτεί από Ταμείο Απανθρακοποίησης. Όσον αφορά άλλες παράλληλες δράσεις, έχουν δρομολογηθεί δράσεις για τα Έξυπνα Νησιά, έχει ξεκινήσει ο ανασχεδιασμός του Πόρου για την μετατροπή του σε ένα αμιγώς Πράσινο Νησί ενώ

ταυτόχρονα ξεκινάνε έργα μέσα στο 2025 που στοχεύουν σε δράσεις για Έξυπνα Νησιά. Τέλος, ο ΔΕΔΔΗΕ συνεργάζεται με το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ) πάνω στο σχεδιασμό του Δικτύου για την εξασφάλιση των απαιτήσεων για τον εξηλεκτρισμό των λιμένων (cold ironing).

Η πορεία της Ελλάδας με στόχο την κλιματική ουδετερότητα της έως το 2050 χωρίζεται σε τρεις κύριες περιόδους ενεργειακής μετάβασης, καθεμία εκ των οποίων εστιάζει σε μια διαφορετική κύρια παράμετρο ενεργειακής μετάβασης. Σε πρώτο βαθμό το σχέδιο κινείται γύρω από την αποανθρακοποίηση της ηλεκτροπαραγωγής, ενώ στην συνέχεια παίρνει σειρά ο εξηλεκτρισμός όσο δυνατόν μεγαλύτερου μέρους της τελικής χρήσης ενέργειας, ολοκληρώνοντας τέλος με ευρεία απανθρακοποίηση των hard to abate sectors, μέσω εναλλακτικών καυσίμων.

Οι περίοδοι αυτές σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (2024) είναι οι παρακάτω:

Α΄ Περίοδος (2025-2030): Ταχεία διείσδυση ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και κατασκευή υποδομών εξηλεκτρισμού της τελικής κατανάλωσης ενέργειας.

Η Ελλάδα βρίσκεται σε φάση ταχείας ενεργειακής μετάβασης, με την έντονη προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) ως κεντρικό άξονα της στρατηγικής της. Η ηλεκτροπαραγωγή από ηλιακή και αιολική ενέργεια, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες, αντλησιοταμιευτικά), εξασφαλίζει ένα διαφοροποιημένο μείγμα παραγωγής, ενώ παράλληλα μειώνεται η εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα, όπως ο λιγνίτης, ο οποίος προβλέπεται να καταργηθεί έως το 2028. Επενδύσεις γίνονται για την ανάπτυξη υπεράκτιων αιολικών πάρκων, τη βελτίωση της ενεργειακής αυτονομίας στα μη διασυνδεδεμένα νησιά και την ολοκλήρωση των διασυνδέσεων των νησιών με το ηπειρωτικό δίκτυο. Παράλληλα, προωθούνται νέες τεχνολογίες, όπως η παραγωγή βιομεθανίου και πράσινου υδρογόνου, που ενισχύουν την ενεργειακή αυτόρκεια και μειώνουν τις εκπομπές ρύπων. Στο **Σχήμα 2.2** αποτυπώνονται λεπτομερώς και αριθμητικά οι παρεμβάσεις που σκοπεύει να κάνει ο ΔΕΔΔΗΕ στα δίκτυα την 5ετία 2024 – 2028.

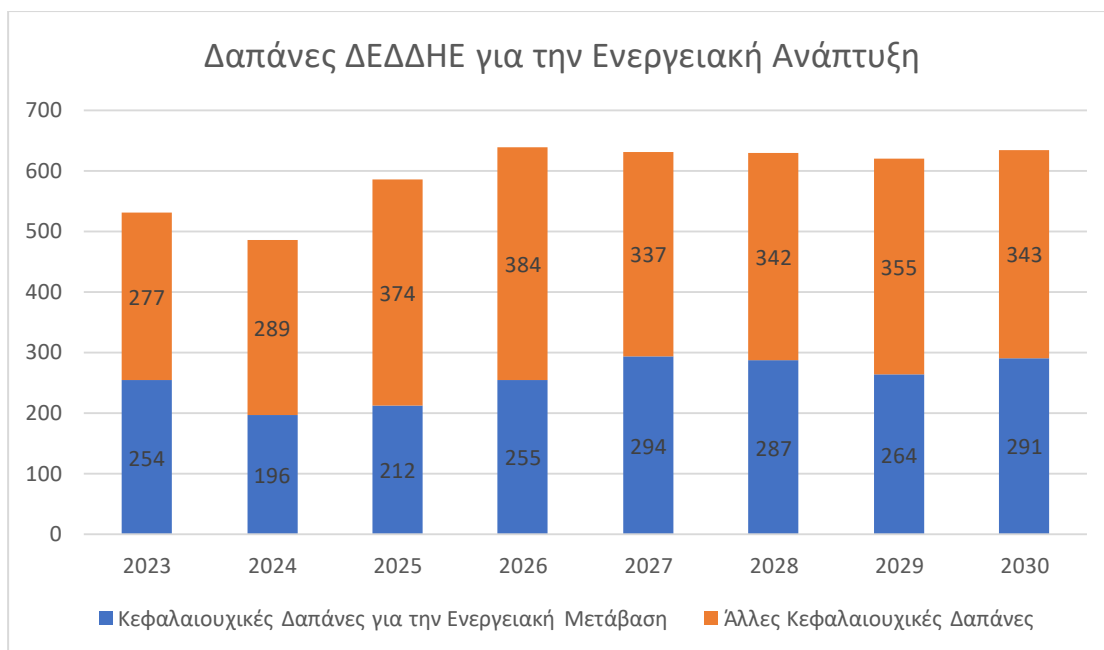


Σχήμα 2.2 Πλήθος έργων για το Διάστημα 2024-2028 ανά Κατηγορία (ΔΕΔΔΗΕ 2023)

Η αναβάθμιση των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί σημαντική πρόκληση, με την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών και την ενίσχυση των υποδομών να επιταχύνουν τη σύνδεση νέων ΑΠΕ και να μειώνουν το συνολικό κόστος του συστήματος. Τα έργα ανάπτυξης των δικτύων υποστηρίζουν την αυξημένη χρήση ΑΠΕ και τον εξηλεκτρισμό διαφόρων τομέων, όπως οι μεταφορές και η ναυτιλία, μέσω της επέκτασης υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και του cold ironing για πλοία. Επιπλέον, στόχος είναι και η ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων, με έμφαση στη μείωση των εκπομπών και τη βελτίωση της αποδοτικότητας, συμβάλλοντας στην επίτευξη του στόχου για μείωση των εκπομπών κατά 55% έως το 2030.

Στα ακόλουθα σχήματα – πίνακες παρουσιάζονται αριθμητικά οι δράσεις του ΔΕΔΔΗΕ και τα κεφάλαια που θα επενδυθούν την περίοδο 2024 – 2028 για την ενεργειακή μετάβαση της Ελλάδας.

Οι συνολικές δαπάνες του ΔΕΔΔΗΕ όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 2.3** θα φτάσουν το 1,8 εκατομμύρια ευρώ έως το 2030, με καθαρό στόχο τον εξυγγχρονισμό των δικτύων ώστε να επιτευχθεί η ενεργειακή μετάβαση.



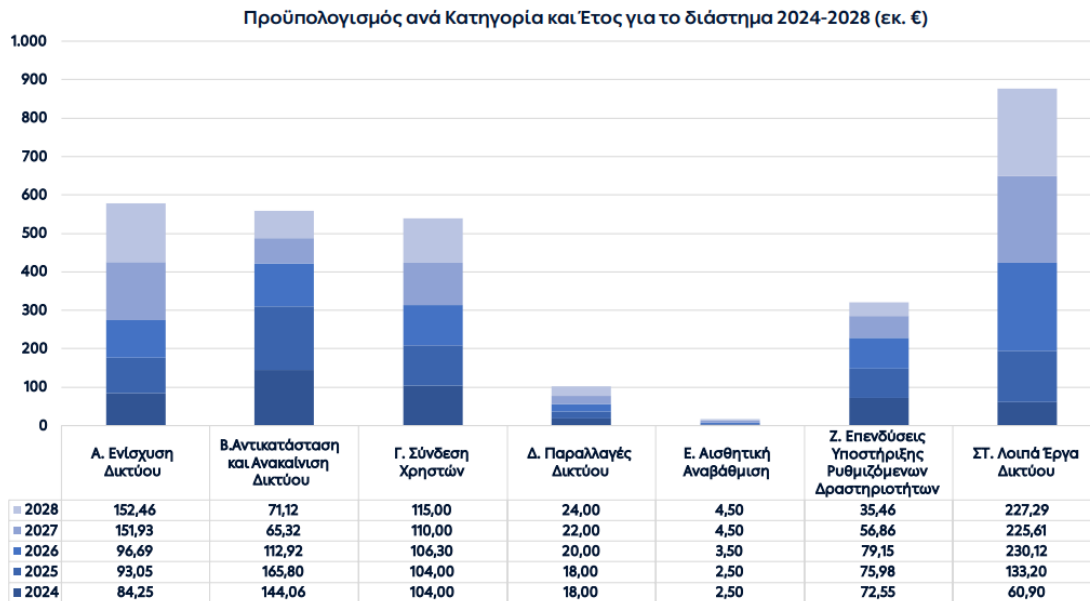
Σχήμα 2.3 Δαπάνες ΔΕΔΔΗΕ για την Ενεργειακή Ανάπτυξη (2023 – 2030) (ΔΕΔΔΗΕ, 2023)

Στο **Σχήμα 2.4** παρουσιάζεται το πως θα κατανομηθεί ο προϋπολογισμός των έργων των δικτύων ανά κατηγορία για το διάστημα 2024 – 2028 με τις κύριες κατηγορίες να έχουν να κάνουν τόσο με την ενίσχυση του Δικτύου όσο και με την Αντικατάσταση και Ανακαίνιση του είδη υπάρχοντος.



Σχήμα 2.4 Κατανομή Προϋπολογισμού ανά Κατηγορία Έργων για το διάστημα 2024 - 2028 (%) (ΔΕΔΔΗΕ 2023)

Στα ακόλουθα σχήμα και πίνακες υπάρχουν ακόμα πιο αναλυτικά πληροφορίες για το κόστος και τις κατηγορίες των έργων που πρόκειται να υλοποιηθούν έως το 2028 για την ανάπτυξη του Δικτύου.



Σχήμα 2.5 Προϋπολογισμός ανά Κατηγορία και Έτος για το διάστημα 2024 - 2028 (εκ. €) (ΔΕΔΔΗΕ, 2023)



Σχήμα 2.6 Επενδύσεις για την ενίσχυση του δικτύου 2024 – 2028 (ΔΕΔΔΗΕ, 2023)



Σχήμα 2.7 Επενδύσεις για αντικατάσταση και ανακαίνιση του δικτύου 2024 – 2028 (ΔΕΔΔΗΕ, 2023)

Πίνακας 2.1 Αναβάθμιση δικτύου διανομής σε δασικές περιοχές (ΔΕΔΔΗΕ, 2023)

ΔΡΑΣΗ 16900 ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΣΕ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
	km δικτύου	εκ. €
ΔΠΑ	336	34,7
ΔΠΜ-Θ	466	26,4
ΔΠΠ-Η	211	14,4
ΔΠΚΕ	561	46,3
ΔΠΝ	512	28,1
ΣΥΝΟΛΟ	2086	149,8

Πίνακας 2.2 Υπογειοποίηση και αναβάθμιση δικτύου σε αστικές περιοχές (ΔΕΔΔΗΕ, 2023)

ΔΡΑΣΗ 16901 ΥΠΟΓΕΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

	km δικτύου	εκ. €
ΔΠΑ	584	63,3
ΔΠΜ-Θ	248	28,8
ΔΠΠ-Η	206	21,9
ΔΠΚΕ	331	35
ΔΠΝ	476	50,2
ΣΥΝΟΛΟ	1845	199,3

Β΄ Περίοδος (2030-2040): Ταχύς εξηλεκτρισμός της τελικής κατανάλωσης ενέργειας

Κατά την επόμενη δεκαετία, οι αλλαγές στα δίκτυα διανομής ενέργειας και η αυξανόμενη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) θα είναι καθοριστικές για την ενεργειακή μετάβαση. Η ενίσχυση και η επέκταση των δικτύων διανομής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι ζωτικής σημασίας για την απορρόφηση της αυξημένης παραγωγής από ΑΠΕ, η οποία εκτιμάται ότι θα ξεπεράσει το 75% της ηλεκτροπαραγωγής έως το 2030. Επιπλέον, η ανάπτυξη υπεράκτιων αιολικών πάρκων και συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, σε συνδυασμό με την εξέλιξη των τεχνολογιών πράσινου υδρογόνου και βιοκαυσίμων, θα εξασφαλίσει μεγαλύτερη σταθερότητα και βιωσιμότητα στο ενεργειακό σύστημα. Παράλληλα, η ολοκλήρωση των υποδομών φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων και η προώθηση της ηλεκτροκίνησης θα συμβάλουν σημαντικά στη μείωση των εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου (ΑτΘ).

Η μετάβαση αυτή συνοδεύεται από αλλαγές στην αγορά ενέργειας, καθώς θα απαιτηθεί ανασχεδιασμός του μοντέλου για να διασφαλιστεί ότι το χαμηλό κόστος παραγωγής από ΑΠΕ θα μεταφέρεται στους καταναλωτές. Επίσης, οι μονάδες φυσικού αερίου και τα δίκτυά τους θα παραμείνουν ενεργά ως εφεδρεία για την αντιμετώπιση ακραίων καταστάσεων, ενώ οι πετρελαϊκές μονάδες θα διατηρηθούν για τις ανάγκες των νησιών σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Με αυτές τις δράσεις, η Ελλάδα στοχεύει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 80% έως το 2040, σύμφωνα με τον Εθνικό Κλιματικό Νόμο, προωθώντας παράλληλα μια ενεργειακή στρατηγική που συνδυάζει τη βιωσιμότητα με την οικονομική ανάπτυξη.

Ο ΔΕΔΔΗΕ, σύμφωνα με την πρωτοβουλία Science-Based Targets (SBTi), εφαρμόζει έναν οδικό χάρτη καθαρών μηδενικών εκπομπών, θέτοντας επικυρωμένους και επιστημονικά τεκμηριωμένους στόχους, με σκοπό την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που οφείλονται στις απώλειες του Δικτύου (**Σχήμα 2.8**) .

Οδικός Χάρτης Καθαρών Μηδενικών Εκπομπών του ΔΕΔΔΗΕ

Υπό υλοποίηση Ολοκλήρωση εντός του 2024

Πηγές	Πρωτοβουλίες	Βραχυπρόθεσμοι στόχοι (2023-2024)	Μεσοπρόθεσμοι στόχοι (2025-2027)	Μακροπρόθεσμοι στόχοι (2028-2040)
Κινητή καύση	1 Εξηλεκτρισμός στόλου οχημάτων	Πρώτο μέρος του προγράμματος ηλεκτροκίνησης στόλου οχημάτων (400 ηλεκτρικά βαν μέχρι το 2024)	Ολοκλήρωση ηλεκτροκίνησης των επιβατικών οχημάτων και των βαν. Έναρξη ηλεκτροκίνησης των μικρών φορτηγών	Ηλεκτροκίνηση βαρέων επαγγελματικών οχημάτων
Διαρροές SF ₆	2 Αντικατάσταση εξοπλισμού SF ₆	Πρώτο μέρος της προσπάθειας αντικατάστασης διακοπών Υψηλής και Μέσης Τάσης (περίπου 150 διακόπτες)	Αντικατάσταση περίπου 200 διακοπών Υψηλής και Μέσης Τάσης Τεχνική λύση για την αντικατάσταση GIS	Αντικατάσταση των υπόλοιπων διακοπών Υψηλής και Μέσης Τάσης Αντικατάσταση GIS στην περιοχή της Αττικής
Εγκαταστάσεις καύσης	3 Αντλίες θερμότητας και Ενεργειακή Εξοικονόμηση	Έργο σχεδιασμού ενεργειακής εξοικονόμησης για ιδιόκτητα κτίρια με προτεραιότητα (έναρξη έργου αξιολόγησης σκοπιμότητας)	Μετάβαση σε αντλίες θερμότητας και πρωτοβουλίες ενεργειακής εξοικονόμησης σε όλα τα κτίρια του ΔΕΔΔΗΕ. Μετεγκατάσταση σε νέα κεντρική διεύθυνση	Συνέχιση πρωτοβουλιών ενεργειακής εξοικονόμησης. Διερεύνηση για χρήση μισθωμένων κτηρίων με χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα
Προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας	4 Προμήθεια πράσινης ενέργειας	Σχεδιασμός διαγωνισμού για τις Διμερείς Συμβάσεις Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΡΡΑ)	Εφαρμογή διαγωνισμού για τις Διμερείς Συμβάσεις Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΡΡΑ)	
Μη τεχνικές απώλειες	5 Εφαρμογή έξυπνων μετρητών	Έναρξη υλοποίησης του έργου έξυπνων μετρητών σύμφωνα με το σχέδιο κεφαλαικών δαπανών	Ολοκλήρωση του έργου των έξυπνων μετρητών και εύρεση επιπρόσθετων πρωτοβουλιών για τη μείωση των απωλειών μέσω αυτών	
	6 Έλεγχος για τον εντοπισμό ρευματοκλοπών	Αύξηση του αριθμού των ελέγχων για τον εντοπισμό των ρευματοκλοπών. Έναρξη πρωτοβουλίας για ηρωτεριοποίηση των ελέγχων (νέο μοντέλο σε εφαρμογή)	Συνέχιση πρωτοβουλίας αυξημένου αριθμού ελέγχων για τον εντοπισμό των ρευματοκλοπών	
Τεχνικές απώλειες	7 Αντικατάσταση μετασχηματιστών	Έναρξη πρωτοβουλίας αντικατάστασης μετασχηματιστών (4,2 χιλιάδες μετασχηματιστές αντικαταστάθηκαν το 2023)	Πρόγραμμα αντικατάστασης μετασχηματιστών σε μεγάλη κλίμακα	Συνέχεια αντικατάστασης μετασχηματιστών
	8 Ενίσχυση γραμμών	Έναρξη πρωτοβουλίας ενίσχυσης γραμμών (2,3 χιλιάδες γραμμές ενισχύθηκαν το 2023)	Πρόγραμμα ενίσχυσης γραμμών σε μεγάλη κλίμακα	Συνέχεια ενίσχυσης γραμμών
Υποστηρικτικοί παράγοντες		Υποβολή και επικύρωση στόχων μέσω της πρωτοβουλίας SBTi (του Ομίλου ΔΕΗ)	Σχεδιασμός πρωτοβουλιών μείωσης λοιπών έμμεσων εκπομπών Score 3 και έναρξη υλοποίησης πρωτοβουλιών σε προτεραιότητα (υπό υλοποίηση προκαταρκτική αξιολόγηση)	Εφαρμογή πρωτοβουλιών μείωσης εκπομπών Score 3
		Δημιουργία μηχανισμών παρακολούθησης έργων και διακυβέρνησης/αναφοράς	Επανακαθορισμός μεσοπρόθεσμων στόχων	Διερεύνηση και προμήθεια εργαλείων που απαιτούνται για τη μείωση εναπομεινουσών εκπομπών

Σχήμα 2.8 Οδικός χάρτης καθαρών μηδενικών εκπομπών του ΔΕΔΔΗΕ (ΔΕΔΔΗΕ, 2023)

Γ΄ Περίοδος (2040-2050): Ταχεία ανάπτυξη παραγωγής πράσινου υδρογόνου και συνθετικών καυσίμων.

Μέχρι το 2040, τα δίκτυα διανομής ενέργειας στην Ελλάδα αναμένεται να έχουν υποστεί σημαντικές αλλαγές για να υποστηρίξουν την αυξημένη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και την παραγωγή πράσινου υδρογόνου. Με τη διείσδυση των ΑΠΕ να ξεπερνά το 90% στην ηλεκτροπαραγωγή από το 2035, το πράσινο υδρογόνο θα παράγεται κυρίως από ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από ΑΠΕ, ενώ η χρήση του θα επικεντρωθεί σε τομείς που είναι δύσκολο να απανθρακοποιηθούν, όπως η ναυτιλία και η αεροπλοΐα. Η παραγωγή ανανεώσιμων συνθετικών καυσίμων, όπως η συνθετική κηροζίνη και μεθανόλη, θα ενισχυθεί μέσω βιομηχανικών εγκαταστάσεων που θα αξιοποιούν CO₂ από βιομηχανικές εκπομπές ή ακόμα και από τον αέρα.

Τα δίκτυα διανομής και μεταφοράς ενέργειας θα διαδραματίσουν κρίσιμο ρόλο στην απορρόφηση της ενέργειας από ΑΠΕ. Παράλληλα, αναμένεται εξέλιξη στις τεχνολογίες υδρογόνου και συνθετικών καυσίμων, αν και παραμένουν προκλήσεις, κυρίως ως προς το κόστος. Αυτές οι αλλαγές θα υποστηρίξουν τη μετάβαση σε ένα πιο καθαρό ενεργειακό μέλλον, μειώνοντας σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

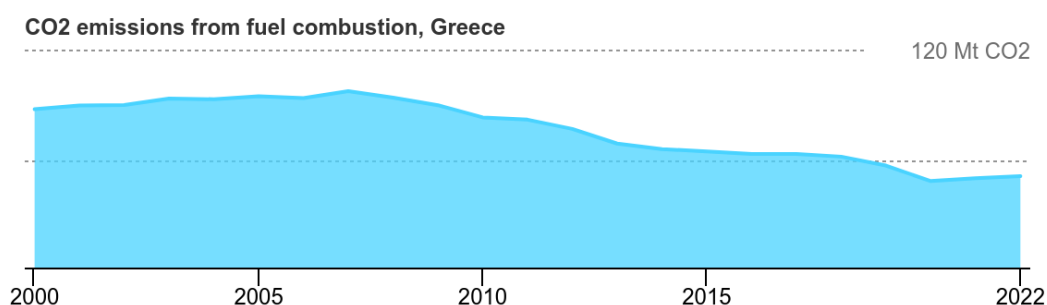
2.3 Οι ενεργειακοί ρύποι της Ελλάδας

Η εξέλιξη των εκπομπών δείχνει μια γενική μείωση κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, αντανακλώντας τις προσπάθειες για μείωση των εκπομπών και την αλλαγή στο ενεργειακό μίγμα της χώρας.

Από το 2000 έως περίπου το 2008, οι εκπομπές παραμένουν σχετικά σταθερές, υποδεικνύοντας μια συνεχή εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Μετά το 2008, ξεκινά μια πτωτική τάση στις εκπομπές, η οποία συμπίπτει με την οικονομική κρίση στην Ελλάδα,

καθώς και με τις πρώτες πιο οργανωμένες προσπάθειες για ενεργειακή μετάβαση. Η τάση αυτή συνεχίζεται, φτάνοντας σε ιστορικά χαμηλά επίπεδα το 2022 (**Σχήμα 2.9**).

Η μείωση αυτή μπορεί να αποδοθεί στη σταδιακή αντικατάσταση του άνθρακα με το φυσικό αέριο, στην αυξανόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς και σε μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας. Παρά τη θετική αυτή εξέλιξη, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα παραμένουν ένα σημαντικό ζήτημα για την Ελλάδα, ειδικά σε σχέση με τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την επίτευξη μηδενικών εκπομπών έως το 2050. Η διατήρηση αυτής της πτωτικής πορείας απαιτεί περαιτέρω επενδύσεις σε καθαρές τεχνολογίες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.



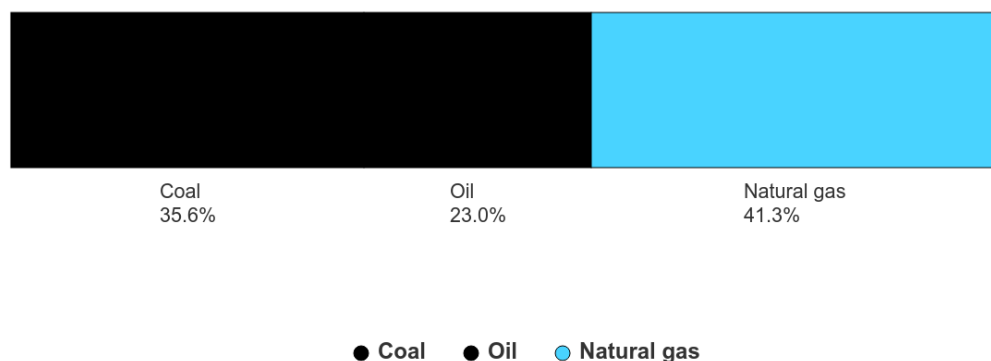
Σχήμα 2.9 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην Ελλάδα από την καύση καυσίμων (IEA, 2023)

Το **Σχήμα 2.10** παρουσιάζει την κατανομή των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που προέρχονται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα κατά το 2022, με βάση την πηγή ενέργειας. Η μεγαλύτερη πηγή εκπομπών προέρχεται από τη χρήση φυσικού αερίου, η οποία ευθύνεται για το 41,3% των συνολικών εκπομπών. Παρά το γεγονός ότι το φυσικό αέριο θεωρείται ένα από τα καθαρότερα ορυκτά καύσιμα, η καύση του εξακολουθεί να έχει σημαντική συμβολή στις συνολικές εκπομπές της χώρας.

Ο άνθρακας, ο οποίος ευθύνεται για το 35,6% των εκπομπών, αποτελεί τη δεύτερη μεγαλύτερη πηγή. Παρά τη μείωση της χρήσης του, χάρη στη σταδιακή μετάβαση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, παραμένει βασικό στοιχείο του ενεργειακού μείγματος. Το πετρέλαιο, με ποσοστό 23%, συμβάλλει σε μικρότερο βαθμό στις εκπομπές σε σχέση με τις άλλες πηγές, κυρίως λόγω της χρήσης του σε απομακρυσμένες περιοχές και νησιά, όπου η πρόσβαση σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας είναι περιορισμένη.

Η εικόνα που προκύπτει από τα δεδομένα υπογραμμίζει την ανάγκη της Ελλάδας να μειώσει την εξάρτησή της από τα ορυκτά καύσιμα και να ενισχύσει τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Μια τέτοια στροφή δεν είναι μόνο επιθυμητή για την προστασία του περιβάλλοντος, αλλά και αναγκαία για την ευθυγράμμιση με τους κλιματικούς στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Emissions from power generation by source, Greece, 2022



Source: International Energy Agency. Licence: CC BY 4.0

Σχήμα 2.10 Κατανομή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (IEA, 2023)

Συνοπτικά, το ελληνικό δίκτυο διανομής ενέργειας αντιμετωπίζει μια σειρά από σύνθετες προκλήσεις, αλλά ταυτόχρονα προσφέρει μια σημαντική ευκαιρία για ανάπτυξη και εκσυγχρονισμό. Η ενεργειακή ζήτηση της χώρας αυξάνεται συνεχώς, αλλά η εξάρτηση από τις ΑΠΕ απαιτεί ένα πιο ευέλικτο και ευφύες δίκτυο. Οι επενδύσεις σε νέες υποδομές, η ένταξη των νησιών στο εθνικό δίκτυο και η ανάπτυξη τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας αποτελούν τους βασικούς πυλώνες της μελλοντικής Ενεργειακής Στρατηγικής της χώρας. Η μετάβαση της ενέργειας σε μια πιο βιώσιμη πηγή ενέργειας θα επιτρέψει στην Ελλάδα να εκπληρώσει τις διεθνείς περιβαλλοντικές δεσμεύσεις της και να παράσχει ένα σταθερό και αποδοτικό ενεργειακό σύστημα για το μέλλον.

Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (2024) θέτει σαφείς στόχους για τη μείωση των εκπομπών CO₂ και τη σταδιακή απαλλαγή της ελληνικής οικονομίας από τον άνθρακα. Το σχέδιο περιλαμβάνει την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και τη δημιουργία ενός ενεργειακού δικτύου που μπορεί να υποστηρίξει τις αυξανόμενες ανάγκες του πληθυσμού και της βιομηχανίας. Παράλληλα, η Στρατηγική Βιώσιμης Ανάπτυξης περιλαμβάνει πολιτικές που προστατεύουν το περιβάλλον, μειώνουν την ενεργειακή φτώχεια και προωθούν την καινοτομία στον ενεργειακό τομέα και συμβάλλουν στην ευρύτερη στρατηγική ενεργειακής μετάβασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Κεφάλαιο 3: Δίκτυα Διανομής Ενέργειας στην ΕΕ

3.1 Ενεργειακές πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για την ενεργειακή μετάβαση, με το δίκτυο διανομής ενέργειας να βρίσκεται στο επίκεντρο των στρατηγικών της, οι οποίες αποσκοπούν στην προώθηση της βιωσιμότητας και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal) (2020) αποτελεί το θεμέλιο αυτών των πολιτικών και δεσμεύεται για την επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050, καθιστώντας την Ευρώπη την πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρο. Αυτή η συμφωνία στοχεύει στη μείωση των εκπομπών, την αναβάθμιση των ενεργειακών υποδομών και την ενίσχυση της διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στα δίκτυα διανομής, με αποτέλεσμα τη μετάβαση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας σε πιο καθαρές και βιώσιμες πηγές. Η Πράσινη Συμφωνία αναγνωρίζει ότι η ηλεκτρική ενέργεια θα αποτελέσει το θεμέλιο για το ενεργειακό σύστημα του μέλλοντος, με την ανάπτυξη έξυπνων δικτύων να θεωρείται απαραίτητη για την υποστήριξη αυτής της μετάβασης και την ευθυγράμμιση των ενεργειακών πολιτικών σε εθνικό και διεθνές επίπεδο (European Commission, 2020).

Το Clean Energy for All Europeans Package είναι ένα επιπλέον σημαντικό νομοθετικό πλαίσιο που εστιάζει στη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και την προώθηση της αποκέντρωσης της παραγωγής ενέργειας. Το πακέτο αυτό στοχεύει στην αύξηση της συμμετοχής των πολιτών στην παραγωγή ενέργειας, ενισχύοντας παράλληλα τις επενδύσεις σε έξυπνα δίκτυα και αποθήκευση ενέργειας, ώστε να προάγεται η βιώσιμη και συμμετοχική παραγωγή ενέργειας. Σύμφωνα με αυτό το πακέτο, οι καταναλωτές δεν είναι απλώς τελικοί χρήστες αλλά έχουν τη δυνατότητα να συμμετέχουν ενεργά στην παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας, και ενθαρρύνονται να χρησιμοποιούν συστήματα που αποθηκεύουν και επιστρέφουν ενέργεια στο δίκτυο. Αυτή η αποκεντρωμένη προσέγγιση βελτιώνει την ανθεκτικότητα του δικτύου, μειώνει τις ενεργειακές απώλειες και ενισχύει την ευελιξία του συστήματος, ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλή συγκέντρωση ΑΠΕ. Ο στόχος είναι να δημιουργηθεί ένα πιο διαφανές και ανταγωνιστικό ενεργειακό περιβάλλον που θα ενθαρρύνει την καινοτομία και τη μείωση του κόστους της ενέργειας για τους καταναλωτές (European Commission, 2019).

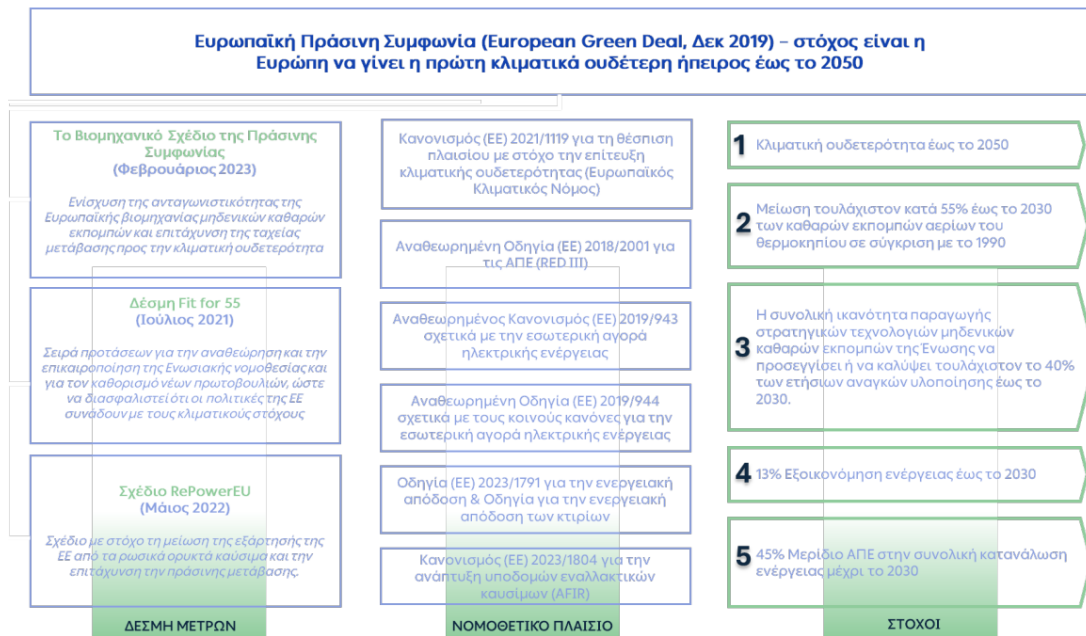
Το TEN-E (Trans-European Networks for Energy), επίσης, είναι μία από τις πιο καίριες στρατηγικές για τη βελτίωση των διασυνοριακών ενεργειακών υποδομών και τη λειτουργικότητα των δικτύων ενέργειας στην Ευρώπη. Η πολιτική αυτή στοχεύει στην ανάπτυξη ενός πλήρως διασυνδεδεμένου δικτύου, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα των υποδομών και διευκολύνοντας την ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο ενεργειακό σύστημα. Η ανάπτυξη διασυνδεδεμένων ενεργειακών δικτύων παρέχει τη δυνατότητα για ευρύτερη μεταφορά ενέργειας σε διασυνοριακό επίπεδο, διασφαλίζοντας την αξιόπιστη και συνεχή τροφοδοσία ενέργειας σε περίπτωση φυσικών καταστροφών ή αυξημένης ζήτησης. Η διασύνδεση αυτή θεωρείται κρίσιμη για την αποτελεσματική λειτουργία της ενιαίας αγοράς ενέργειας στην Ευρώπη και την επίτευξη των στόχων της Πράσινης Συμφωνίας, καθώς παρέχει την υποδομή που είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική διαχείριση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε ευρωπαϊκό επίπεδο (European Commission, 2020).

Τον Ιούλιο του 2021 ανακοινώθηκε η δέσμη μέτρων «Fit for 55» για τη μείωση των εκπομπών της ΕΕ κατά τουλάχιστον 55 % έως το 2030. Η εν λόγω δέσμη αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς τη μείωση των εκπομπών κατά 55% έως το 2030, σύμφωνα με τους στόχους της Πράσινης Συμφωνίας. Δημιουργήθηκε έπειτα από την αναθεώρηση των στόχων

της Δέσμης «Καθαρή Ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους», θέτοντας νέους και πιο φιλόδοξους επιμέρους στόχους όπως την αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα της ΕΕ μέχρι το 2030 από 32% σε 40% με την τροποποίηση της Οδηγίας για προώθηση της ενέργειας από ΑΠΕ. Την αύξηση επίσης του στόχου ενεργειακής απόδοσης από 32,5% σε 36% για την τελική και 39% για την πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας με την τροποποίηση της Οδηγίας Ενεργειακής Απόδοσης (EED), καθώς επίσης και την επιτάχυνση της εγκατάστασης υποδομών επαναφόρτισης ή επανεφοδιασμού, την παροχή εναλλακτικής ισχύος για πλοία (σε λιμάνια) και αεροσκάφη με την τροποποίηση του Κανονισμού Υποδομών Εναλλακτικών Καυσίμων (AFIR). Αυτή η σειρά νομοθετικών προτάσεων αποσκοπεί στην προσαρμογή των ενεργειακών πολιτικών της ΕΕ στις αυξημένες απαιτήσεις για καθαρή ενέργεια, με την ενίσχυση των δικτύων διανομής να είναι απαραίτητη ώστε να μπορούν να διαχειριστούν την αυξημένη εισροή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και να στηρίξουν τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της ενεργειακής αποδοτικότητας (European Commission, 2021). Η Δέσμη Μέτρων περιλαμβάνει διατάξεις που προωθούν την αναβάθμιση των δικτύων διανομής ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερότητα της ενέργειας, καθώς η ανανεώσιμη ενέργεια, λόγω της διαλείπουσας φύσης της, δημιουργεί προκλήσεις στην εξισορρόπηση προσφοράς και ζήτησης. Οι πολιτικές αυτές στηρίζονται επίσης στην ενίσχυση της αποθήκευσης ενέργειας, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για τη σταθερότητα του δικτύου. Η αποθήκευση ενέργειας σε συνδυασμό με τις έξυπνες τεχνολογίες επιτρέπει τη μείωση των απωλειών και την προσαρμογή της διανομής ενέργειας στις τρέχουσες ανάγκες του δικτύου, ενώ παράλληλα περιορίζει την εξάρτηση από συμβατικές πηγές κατά τις περιόδους υψηλής ζήτησης.

Τέλος, τον Μάιο του 2022 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανακοίνωσε το «RePowerEU» με στόχο την ταχεία απεξάρτηση από το ρωσικό φυσικό αέριο και την επιτάχυνση της πράσινης ενεργειακής μετάβασης. Το σχέδιο «RePowerEU» βασίζεται στην πλήρη εφαρμογή της δέσμης προτάσεων «Fit for 55» και καθόρισε υψηλότερους στόχους για τις ΑΠΕ από 40% σε 45% και την ενεργειακή απόδοση από 9% σε 13% (European Commission, 2022).

Σχήμα 1-5 Κύριες Ευρωπαϊκές πολιτικές και νομοθετικό πλαίσιο για την ενεργειακή μετάβαση



Σχήμα 3.1 Κύριες Ευρωπαϊκές πολιτικές και νομοθετικό πλαίσιο για την ενεργειακή μετάβαση. (ΔΕΔΔΗΕ, 2023)

Συνολικά, οι υπάρχουσες ενεργειακές στρατηγικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης αποσκοπούν στη μετάβαση σε ένα καθαρότερο, βιώσιμο και πιο ανθεκτικό ενεργειακό σύστημα. Η Πράσινη Συμφωνία, το Fit for 55, το Clean Energy for All Europeans Package και το TEN-E συνεργάζονται για να διαμορφώσουν ένα πλαίσιο που προωθεί την αναβάθμιση των υποδομών, την ενεργειακή αποδοτικότητα και τη μετάβαση σε ένα ενεργειακό σύστημα βασισμένο στις ΑΠΕ. Αυτές οι στρατηγικές αναγνωρίζουν την ανάγκη για έξυπνα δίκτυα, αποθήκευση ενέργειας και διασυνοριακή συνεργασία, ώστε να καταστεί δυνατή η κλιματική ουδετερότητα έως το 2050.

3.1.1 The Grid Action Plan

Ένα ακόμα πρόγραμμα της ΕΕ όσον αφορά την ενεργειακή της μετάβαση είναι το Grid Action Plan, το οποίο αφορά κατά κύριο λόγο τον εξυγχρονισμό των δικτύων και την ανάπτυξη των smart grids. Ο Σχεδιασμός Δράσης για τα Δίκτυα (Grid Action Plan) αποτελεί βασικό στοιχείο της ευρωπαϊκής στρατηγικής για την ενεργειακή μετάβαση και την αναβάθμιση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας (European Commission, 2023). Καθώς η Ευρωπαϊκή Ένωση στοχεύει να είναι κλιματικά ουδέτερη έως το 2050, η υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας χρειάζεται σημαντική προσαρμογή για να μπορέσει να φιλοξενήσει την αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και να καλύψει την αυξανόμενη ζήτηση. Το Grid Action Plan είναι ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο που αποσκοπεί στην οικοδόμηση ενός ανθεκτικού, ευέλικτου και ασφαλούς δικτύου που θα υποστηρίξει την απανθρακοποίηση της Ευρώπης και την ενεργειακή της ασφάλεια.

Στο πλαίσιο αυτό, το σχέδιο αποσκοπεί στην ενίσχυση της διασύνδεσης των δικτύων μεταξύ των κρατών μελών και στη διασφάλιση της αποτελεσματικής και ανθεκτικής ροής της ενέργειας σε ολόκληρη την ΕΕ. Η αύξηση των διασυνοριακών υποδομών όχι μόνο θα ενισχύσει τη συνεργασία μεταξύ των χωρών, αλλά και θα αυξήσει την ανθεκτικότητα του

συστήματος σε ακραίες κλιματικές αλλαγές και απρόβλεπτες διακοπές ρεύματος. Η στήριξη της αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας, η οποία ενισχύεται με την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και έξυπνων δικτύων, αποτελεί επίσης βασικό στόχο του σχεδίου. Αυτό θα επιτρέψει στους καταναλωτές και τις επιχειρήσεις να συμμετέχουν πιο ενεργά στη διαχείριση της ενέργειας και θα οδηγήσει σε ένα πιο βιώσιμο αποκεντρωμένο σύστημα.

Για την υλοποίηση του Grid Action Plan, η ΕΕ βασίζεται σε ένα ευρύ φάσμα μέσων, συμπεριλαμβανομένων τόσο της χρηματοδότησης έργων όσο και της νομοθεσίας. Τα προγράμματα Connecting Europe Facility (CEF) και InvestEU (European Commission, 2023), παρέχουν σημαντικούς χρηματοδοτικούς πόρους για την ανάπτυξη των διασυνδέσεων και την προώθηση των ΑΠΕ. Η έρευνα και η καινοτομία που υποστηρίζεται από το πρόγραμμα «Horizon Europe» θα διευκολύνει την ανάπτυξη τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας και ψηφιοποίησης του δικτύου, επιτρέποντας την καλύτερη διαχείριση των ενεργειακών ροών και τη μείωση των απωλειών (European Commission, 2023).

Ωστόσο, η εφαρμογή Grid Action Plan δεν μπορεί να χαρακτηριστεί εύκολη. Το επενδυτικό κόστος είναι υψηλό και η ολοκλήρωση των έργων απαιτεί τη συνεργασία των κρατών μελών και την ενεργό συμμετοχή του ιδιωτικού τομέα. Οι τεχνικές προκλήσεις που σχετίζονται με την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η ανάγκη για ευέλικτες τεχνολογίες αποθήκευσης και έξυπνα δίκτυα, απαιτούν σημαντικές αλλαγές στο σχεδιασμό και τη λειτουργία του δικτύου. Επιπλέον, η δημόσια αποδοχή είναι ζωτικής σημασίας, ιδίως για έργα όπως οι γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης, καθώς οι μεγάλες ενεργειακές υποδομές μπορεί να αντιμετωπίσουν την αντίδραση του κοινού (ENSTO-E, 2024).

Το σχέδιο δράσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα δίκτυα ενέργειας στοχεύει στην υλοποίηση επενδύσεων ύψους 600 δισεκατομμυρίων ευρώ για τη δεκαετία 2020-2030. Οι επενδύσεις αυτές αφορούν τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και αποσκοπούν στη μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο και αποδοτικό ενεργειακό σύστημα.

Σύμφωνα με το σχέδιο, η ζήτηση ηλεκτρισμού αναμένεται να αυξηθεί κατά περίπου 60% έως το 2030 σε σύγκριση με το σημερινό επίπεδο (2022 = 100%). Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας προβλέπεται να φτάσει στο επίπεδο του 160% έως το τέλος της δεκαετίας, αντιστακώνοντας τις αυξημένες ανάγκες για ηλεκτροδότηση σε όλους τους τομείς της οικονομίας (**Σχήμα 3.2**).

Παράλληλα, η εγκατεστημένη ισχύς αιολικών και φωτοβολταϊκών αναμένεται να αυξηθεί δραματικά. Από τα 400 GW που ήταν το 2022, ο στόχος είναι να φτάσει τα 1.000 GW έως το 2030, κάτι που μεταφράζεται σε αύξηση 150%. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη μεγάλων συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, καθώς και τη βελτίωση των δικτύων μεταφοράς για την υποστήριξη της αυξημένης παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

ΣΧΕΔΙΟ ΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΕΕ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή στοχεύει να υλοποιήσει επενδύσεις ύψους 600 δισ. EUR για τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εντός της δεκαετίας 2020-2030



Σχήμα 3.2 Προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα Δίκτυα (ΔΕΔΔΗΕ, 2023)

Η πετυχημένη εφαρμογή του Grid Action Plan θα αποφέρει σημαντικά οφέλη για την Ευρώπη. Αρχικά, θα συμβάλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και θα επιταχύνει την πορεία της Ευρώπης προς την κλιματική ουδετερότητα. Επιπλέον, η διασύνδεση των δικτύων θα μειώσει την εξάρτηση της ΕΕ από τις εισαγωγές ενέργειας και θα ενισχύσει την ενεργειακή ασφάλεια. Μακροπρόθεσμα, οι επενδύσεις σε δίκτυα και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα μειώσουν το ενεργειακό κόστος, θα δημιουργήσουν νέες θέσεις εργασίας και θα τονώσουν την οικονομική ανάπτυξη και την καινοτομία (ENSTO-E, 2024).

Συνολικά, το Grid Action Plan αποτελεί σημαντικό βήμα προς την οικοδόμηση ενός βιώσιμου και ανθεκτικού ενεργειακού συστήματος. Η εφαρμογή του απαιτεί εντατική συνεργασία μεταξύ των κρατών μελών και την ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογιών. Παρά τις προκλήσεις, η επιτυχία ή η αποτυχία του σχεδίου θα καθορίσει αν η Ευρώπη θα μπορέσει να ανταποκριθεί στις σημερινές ενεργειακές προκλήσεις και να διατηρήσει την ενεργειακή της αυτονομία και ασφάλεια.

3.1.2 Λοιπές πολιτικές και μέτρα

Μέσω του κανονισμού της ΕΕ στις ενεργειακές υποδομές διευρωπαϊκού ενδιαφέροντος (TEN-E), η ΕΕ έχει επιλέξει περισσότερα από 100 έργα κοινού ενδιαφέροντος (PCIs) στον τομέα της ενέργειας, ιδίως μέσω του Ταμείου Connecting Europe Facility (CEF), διευκολύνοντας έτσι την έγκριση και την κατασκευή τους, συμπεριλαμβανομένης της χρηματοδότησης (European Commission, 2022). Αυτό συνέβαλε στην ανάπτυξη μιας φυσικής ενεργειακής υποδομής αντάξιας μιας πραγματικής ενιαίας αγοράς και στην πρόοδο προς τον στόχο της διασύνδεσης της ηλεκτρικής ενέργειας κατά 15% έως το 2030.

Κατά τη διάρκεια της ενεργειακής κρίσης, μια καλά διασυνδεδεμένη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας επέφερε σημαντικά οφέλη, όπως την αυξημένη ασφάλεια εφοδιασμού, την πρόσβαση σε ανταγωνιστικές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας από γειτονικές χώρες και την ταχεία ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Πλέον η ολοκλήρωση του δικτύου υποδομών αποτελεί το επόμενο βήμα για τη μεγιστοποίηση των οφελών από οικονομικά προσιτή και καθαρή ενέργεια προς τους καταναλωτές (Bikram et al., 2024).

Παρά την πρόοδο αυτή, τα ενεργειακά δίκτυα της Ευρώπης αντιμετωπίζουν νέες μεγάλες προκλήσεις. Θα πρέπει να ανταπεξέλθουν στις αυξανόμενες απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη, βιομηχανικό εξηλεκτρισμό και την έναρξη της παραγωγής υδρογόνου με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί κατά περίπου 60 % έως το 2030. Το δίκτυο θα πρέπει επίσης να συμβαδίσει με την μεταβλητή ανανεώσιμη ενέργεια. Η αιολική και ηλιακή ενέργεια αναμένεται να αυξηθούν από 400 GW το 2022 σε τουλάχιστον 1.000 GW το 2030, συμπεριλαμβανομένης της μεγάλης κλίμακας ανάπτυξης των υπεράκτιων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των χερσαίων συνδέσεων, που θα φτάνουν τα 317 GW (ENSTO – E, 2022).

Επομένως, τα δίκτυα οφείλουν να προσαρμοστούν σε ένα πιο αποκεντρωμένο, ψηφιοποιημένο και ευέλικτο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο να μπορεί να περιλαμβάνει εκατομμύρια ηλιακά πάνελ σε στέγες και γενικότερα σε τοπικές ενεργειακές κοινότητες οι οποίες μοιράζονται πόρους. Η συσχέτιση επίσης του σχεδιασμού και της λειτουργίας των δικτύων μετάδοσης και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας της Ευρώπης πρέπει να ταιριάζει με τον σχεδιασμό και τη λειτουργία των νέων υποδομών υδρογόνου, της αποθήκευσης ενέργειας, της υποδομής φόρτισης για την ηλεκτροκίνηση και των υποδομών CO₂.

Το αποτέλεσμα αυτών των τάσεων δείχνουν ότι το ευρωπαϊκό δίκτυο οφείλει να αναβαθμιστεί και να επεκταθεί άμεσα. Το Δεκαετές Σχέδιο Ανάπτυξης Δικτύου (TYNDP) της ENSTO-E παρουσιάζει ως αναγκαίο τον διπλασιασμό της διασυνοριακής υποδομής μετάδοσης μέσα στα επόμενα επτά χρόνια, φτάνοντας έτσι σε επιπλέον χωρητικότητα 23GW έως το 2025 και ακόμη 64GW να ενσωματώνονται μέχρι το 2030 (ENSTO – E, 2022).

Εκτός από τις διασυνοριακές ανάγκες, οι περισσότερες επενδύσεις πραγματοποιούνται εντός των συνόρων, τόσο σε επίπεδο μεταφοράς όσο και σε επίπεδο διανομής. Ειδικότερα, το δίκτυο διανομής πρέπει να επεκταθεί και να τροποποιηθεί για να συνδεθούν μεγάλες ποσότητες καταναεμημένης παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και νέες ευέλικτες απαιτήσεις (π.χ. αντλίες θερμότητας και σταθμοί φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα).

Το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας αναλαμβάνει νέο ρόλο ως διευκολυντής μιας σειράς νέων λύσεων που απαιτούνται από το σύστημα. Πρέπει να γίνει ένα ψηφιοποιημένο έξυπνο δίκτυο με συνεχή παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, τηλεχειρισμό και ασφάλεια στον κυβερνοχώρο, στο οποίο η έρευνα και η καινοτομία διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο. Επιπλέον, περίπου το 40% του ευρωπαϊκού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ηλικίας άνω των 40 ετών και πρέπει να εκσυγχρονιστεί. Ο κλάδος εκτιμά ότι μέχρι το 2030 θα πρέπει να επενδυθούν μεταξύ 375 και 425 δισεκατομμυρίων ευρώ στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Συνολικά, η Επιτροπή εκτιμά ότι 584 δισ. ευρώ θα πρέπει να επενδυθούν στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη δεκαετία αυτή, αντιπροσωπεύοντας μεγάλο μέρος των συνολικών επενδύσεων στον ενεργειακό τομέα για τη μετάβαση στην καθαρή ενέργεια (European Commission, 2023).

Η ανάγκη αντιμετώπισης αυτών των προκλήσεων είναι ήδη εμφανής. Σε πολλές χώρες, τα έργα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές αντιμετωπίζουν μεγάλες καθυστερήσεις στην απόκτηση δικαιωμάτων σύνδεσης. Οι χρόνοι αναμονής για τη χορήγηση άδειας κατασκευής δικτύων μεταφοράς κυμαίνονται από τέσσερα έως δέκα χρόνια και μπορεί να φθάσουν τα οκτώ έως δέκα χρόνια για τα δίκτυα υψηλής τάσης. Ο αριθμός των έργων που περιμένουν να συνδεθούν με το δίκτυο διανομής αυξάνεται ραγδαία, με έναν μεσαίου

μεγέθους διαχειριστή συστήματος διανομής (DSO) να λαμβάνει αρκετές χιλιάδες νέες αιτήσεις κάθε μήνα. Ελλείψει σαφήνειας και βεβαιότητας σχετικά με το χρόνο και το κόστος σύνδεσης, τα προγραμματισμένα έργα νέας παραγωγής αναβάλλονται ή εγκαταλείπονται (Sareen, 2020). Η νομοθεσία της ΕΕ καλύπτει ήδη το ρυθμιστικό πλαίσιο για τους διαχειριστές συστημάτων διανομής (DSO), αλλά με το παρόν σχέδιο δράσης η Επιτροπή προωθεί για πρώτη φορά μέτρα ειδικά για το δίκτυο διανομής (European Commission, 2023). Οι λύσεις περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση ευέλικτων πηγών ενέργειας, όπως τα οχήματα μηδενικών εκπομπών, την απόκριση στη ζήτηση και τις επενδύσεις σε υποσταθμούς. Σε ολόκληρη την Ευρώπη, τα έργα διασύνδεσης αντιμετωπίζουν επίσης υπερβάσεις του κόστους λόγω του πληθωρισμού και της αύξησης των επιτοκίων, γεγονός που καθιστά δύσκολη την έγκαιρη προμήθεια εξοπλισμού όπως καλώδια και υποσταθμούς. Η έλλειψη εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού επιδεινώνει τα προβλήματα αυτά και οι χρόνοι αναμονής για νέα προϊόντα παρατείνονται μέχρι το 2032.

Το πρόβλημα αυτό δεν αφορά μόνο την Ευρώπη. Η ανάγκη επέκτασης του δικτύου αναγνωρίζεται παγκοσμίως. Οι ΗΠΑ εκτιμούν ότι το σύστημα μεταφοράς τους θα πρέπει να επεκταθεί κατά 60% έως το 2030. Η State Grid Corporation της Κίνας ανακοίνωσε ότι θα επενδύσει 1,02 τρισεκατομμύρια CNY (132 δισεκατομμύρια ευρώ) στο δίκτυο μεταφοράς το 2022-23. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας εκτιμά ότι μέχρι το 2040 θα χρειαστούν περισσότερα από 80 εκατομμύρια χιλιόμετρα δικτύου παγκοσμίως, που ισοδυναμεί με το σύνολο του σημερινού παγκόσμιου δικτύου (IEA, 2023).

Η αναθεωρημένη οδηγία για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας απλοποιεί την αδειοδότηση των δικτύων που είναι απαραίτητα για την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών. Ο Κανονισμός και η Οδηγία σχετικά με την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας περιέχουν κανόνες που αφορούν την ανάπτυξη των δικτύων για τον προγραμματισμό, τις χρεώσεις δικτύου και τους ρόλους του ENTSO-E και του φορέα EU DSO Entity. Ωστόσο, η κλίμακα της πρόκλησης απαιτεί από τους πολίτες της ΕΕ να εκσυγχρονίσουν περαιτέρω το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και να βελτιώσουν τις διασυνδέσεις, με ιδιαίτερη πολιτική προσοχή για να διασφαλιστεί ότι το δίκτυο αποτελεί καταλύτη, όχι εμπόδιο, στην ταχεία μετάβαση της ΕΕ στην καθαρή ενέργεια.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή μέσα από παρεμβάσεις τις σε διάφορα φόρουμ και διαδικασίες διαβούλευσης με ενδιαφερόμενους φορείς, όπως το Φόρουμ Ενεργειακών Υποδομών στην Κοπεγχάγη και των PCI Days (Project of Common Interest Days) στις Βρυξέλλες, καθώς και πιο πρόσφατα στις Συνόδους Smart Grid PCI, φέρνει στο παρασκήνιο τα ζητήματα που αφορούν τα δίκτυα και την εξέλιξη τους (European Commission, 2024). Επιπλέον, στις 9 Σεπτεμβρίου 2023 διοργανώθηκε από την ENTSO-E και υπό την αιγίδα της Επιτροπής ένα Φόρουμ με θέμα «Το Μέλλον των Δικτύων μας» για τη συζήτηση με ενδιαφερόμενους φορείς που εκπροσωπούν ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, για τις προοπτικές και τις προκλήσεις στην ανάπτυξη των δικτύων.

Με βάση τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει εντοπίσει 7 οριζόντιες προκλήσεις για την επιτάχυνση της ανάπτυξης δικτύων στην Ευρώπη. Αυτά περιλαμβάνουν: 1) επιτάχυνση της εφαρμογής των υπαρχόντων PCI και ανάπτυξη νέων έργων, 2) ενίσχυση του μακροπρόθεσμου σχεδιασμού δικτύων, 3) εισαγωγή ενός υποστηρικτικού και ανθεκτικού κανονιστικού πλαισίου για το μέλλον, 4) καλύτερη αξιοποίηση των υπαρχόντων δικτύων και βελτίωσή τους 5) βελτίωση της πρόσβασης στη

χρηματοδότηση, 6) διασφάλιση ταχύτερων και απλούστερων διαδικασιών αδειοδότησης, και 7) ενίσχυση των αλυσίδων εφοδιασμού (**Πίνακας 3.1**).

Πίνακας 3.1 Προκλήσεις για την επιτάχυνση της ανάπτυξης δικτύων στην Ευρώπη (European Commition, 2023)

CATEGORY	ACTIONS	TIMELINE
Accelerating the implementation of PCIs and developing new projects	1. Commission, Member States and TSOs to strengthen support to PCI and PMI preparation, faster implementation and funding	From 2024
Improving long-term grid planning for a higher share of renewables and increased electrification	2. ENTSO-E to enhance top-down planning towards 2050 by integrating the identification of offshore and onshore system needs and further considering hydrogen	From Q1 2024
	3. EU DSO Entity to support DSO grid planning by mapping the existence and characteristics of distribution development plans	Mid-2024
Introducing regulatory incentives for forward-looking grid build-out	4. Commission to propose guiding principles identifying conditions under which anticipatory investments in grid projects should be granted	Q1 2025
	5. Commission to issue guidance on cross-border cost sharing for offshore projects	Mid-2024
Incentivising a better usage of the grids	6. ENTSO-E and EU DSO Entity to agree on harmonised definitions for available grid hosting capacity for system operators and establish a pan-EU overview	From adoption
	7. ENTSO-E and EU DSO Entity to promote uptake of smart grid, network efficiency and innovative technologies	Q4 2024
	8. ACER, in its next tariff report, to recommend best practices in relation to the promotion of smart grids and network efficiency technologies through tariff design, focusing on consideration of OPEX in addition to CAPEX and benefit sharing	Q1 2025
Improving access to finance	9. Commission to identify tailored financing models and strengthen dialogue to address financing obstacles	From adoption
	10. Commission to increase visibility on opportunities for EU funding programmes for smart grids and modernisation of distribution grids	From Q1 2024
Accelerating deployment through faster permitting and public engagement	11. Commission to support permitting acceleration providing guidance and technical support on how to implement existing legislative tools and Member States to implement acceleration measures	2024-25
	12. Commission to launch a Pact for Engagement for early, regular and meaningful stakeholder engagement and regulatory support	From adoption
Strengthening grid supply chains	13. ENTSO-E and EU DSO Entity to collaborate with technology providers to develop common technology specifications and improve visibility of grid project pipelines, to facilitate investments in manufacturing capacity and secure supply chains	Q4 2024
	14. Commission to promote common technical requirements for generation and demand connection	By 2025

3.2 Ανάλυση επιτευξιμότητας του European Green Deal

Η ανάλυση της επιτευξιμότητας του στόχου της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας (European Green Deal) είναι ένα σύνθετο και πολυδιάστατο ζήτημα, καθώς προϋποθέτει την υλοποίηση πολυάριθμων και φιλόδοξων μεταρρυθμίσεων σε επίπεδο ενεργειακής μετάβασης, βιομηχανικής αναδιοργάνωσης και κοινωνικής προσαρμογής. Η Πράσινη Συμφωνία, που αποτελεί τη ναυαρχίδα της στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, στοχεύει στην επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050. Η επίτευξη αυτού του στόχου απαιτεί τη σταδιακή εξάλειψη των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε όλους τους τομείς της οικονομίας και τη μετατροπή της Ευρώπης σε μια περιβαλλοντικά βιώσιμη και οικονομικά ανθεκτική κοινωνία. Παρά τη σαφή δέσμευση της ΕΕ, πολλοί ειδικοί και μελετητές (Vezzani 2023, Atsalakis & Zorounidis 2024, Holechek 2022 et al. 2022) έχουν αναδείξει τις προκλήσεις και τα εμπόδια που ενδέχεται να αντιμετωπιστούν κατά την πορεία αυτής της φιλόδοξης πρωτοβουλίας.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν την επίτευξη της Πράσινης Συμφωνίας είναι η απαραίτητη τεχνολογική πρόοδος και η ανάπτυξη των υποδομών. Σύμφωνα με μελέτες, η Ευρώπη θα πρέπει να επενδύσει σε τεχνολογίες αιχμής, όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι τεχνολογίες αποθήκευσης και τα έξυπνα δίκτυα, για να επιτευχθεί η απαραίτητη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Golombek et al. 2022). Η διεύθυνση των ανανεώσιμων πηγών, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, είναι μεν αναγκαία, αλλά συνοδεύεται από προκλήσεις που σχετίζονται με την αστάθεια της παραγωγής, τη γεωγραφική κατανομή των ενεργειακών πόρων και τις τεράστιες απαιτήσεις σε υποδομές. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτιμά ότι οι συνολικές επενδύσεις σε υποδομές θα πρέπει να αυξηθούν κατά 60% έως το 2030, με σημαντικό μέρος αυτών των κεφαλαίων να προορίζεται για τη βελτίωση των δικτύων διανομής και μεταφοράς ενέργειας, ώστε να μπορέσουν να ανταπεξέλθουν στη διασύνδεση αποκεντρωμένων και διαλειπουσών πηγών ενέργειας (European Commission, 2020).

Ένα άλλο στοιχείο που επηρεάζει την επιτευξιμότητα της Πράσινης Συμφωνίας είναι η κοινωνική αποδοχή και η πολιτική βούληση (Brugger 2021). Η μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αναμένεται να έχει σημαντικές επιπτώσεις σε βιομηχανίες και περιοχές που εξαρτώνται από ορυκτά καύσιμα, όπως ο άνθρακας και το φυσικό αέριο. Η βιομηχανική απανθρακοποίηση, αν και απαραίτητη, είναι πιθανό να οδηγήσει σε απώλεια θέσεων εργασίας σε τομείς που εξαρτώνται από συμβατικές πηγές ενέργειας, επιφέροντας οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ανακοινώσει μέτρα στήριξης, όπως το Ταμείο Δίκαιης Μετάβασης, που στοχεύει στη στήριξη των εργαζομένων και των κοινοτήτων που επηρεάζονται αρνητικά από τη μετάβαση (European Parliament, 2021). Παρ' όλα αυτά, η επιτυχία αυτών των μέτρων θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα των κρατών μελών να διαχειριστούν τις κοινωνικές αντιδράσεις και να προωθήσουν πολιτικές που θα εξασφαλίζουν τη δίκαιη και ισόρροπη διανομή των ωφελειών και των βαρών της ενεργειακής μετάβασης.

Επιπλέον, ο ρόλος της χρηματοδότησης και των επενδύσεων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επίτευξη των στόχων της Πράσινης Συμφωνίας. Σύμφωνα με εκτιμήσεις της

Ευρωπαϊκής Τράπεζας Επενδύσεων (EIB), απαιτούνται περίπου 1 τρισεκατομμύριο ευρώ σε επενδύσεις έως το 2030 για τη στήριξη της πράσινης μετάβασης σε επίπεδο ΕΕ (EIB, 2020). Αυτή η τεράστια επενδυτική ανάγκη απαιτεί τη στήριξη από δημόσιους και ιδιωτικούς πόρους, καθώς και τη συνεργασία τραπεζών, κυβερνήσεων και ιδιωτικών επενδυτών για την κινητοποίηση κεφαλαίων που θα στηρίζουν βιώσιμες πρακτικές. Το InvestEU, το επενδυτικό πρόγραμμα της ΕΕ, προωθεί τη συνεργασία αυτή, ωστόσο, οι ειδικοί επισημαίνουν ότι ο κίνδυνος να υπάρξει χρηματοδοτικό κενό είναι υψηλός, εάν οι αγορές δεν ανταποκριθούν επαρκώς στις απαιτήσεις της πράσινης ανάπτυξης. Το κενό αυτό καθιστά αναγκαία τη θέσπιση ισχυρότερων πολιτικών κινήτρων και κινήσεων για τη διευκόλυνση των πράσινων επενδύσεων και την εξασφάλιση βιώσιμης χρηματοδότησης (Wolowiec, 2022).

Η τεχνολογική καινοτομία και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών αποτελούν επίσης καίριους παράγοντες για την υλοποίηση της Πράσινης Συμφωνίας. Η μετάβαση προς τις ΑΠΕ, οι βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση και η μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου απαιτούν την ανάπτυξη τεχνολογιών που μπορούν να βελτιώσουν την αποδοτικότητα των ενεργειακών συστημάτων και να μειώσουν το κόστος της παραγωγής και της διανομής ενέργειας. Η χρήση καινοτόμων λύσεων, όπως η υδρογονοκίνηση και η αποθήκευση άνθρακα, βρίσκονται στο επίκεντρο της συζήτησης για τη μείωση των εκπομπών στον τομέα της βιομηχανίας και των μεταφορών, ωστόσο παραμένουν σημαντικά ζητήματα σε ό,τι αφορά την εμπορική βιωσιμότητα και την ανταγωνιστικότητα αυτών των τεχνολογιών (Kabeyi, 2022).

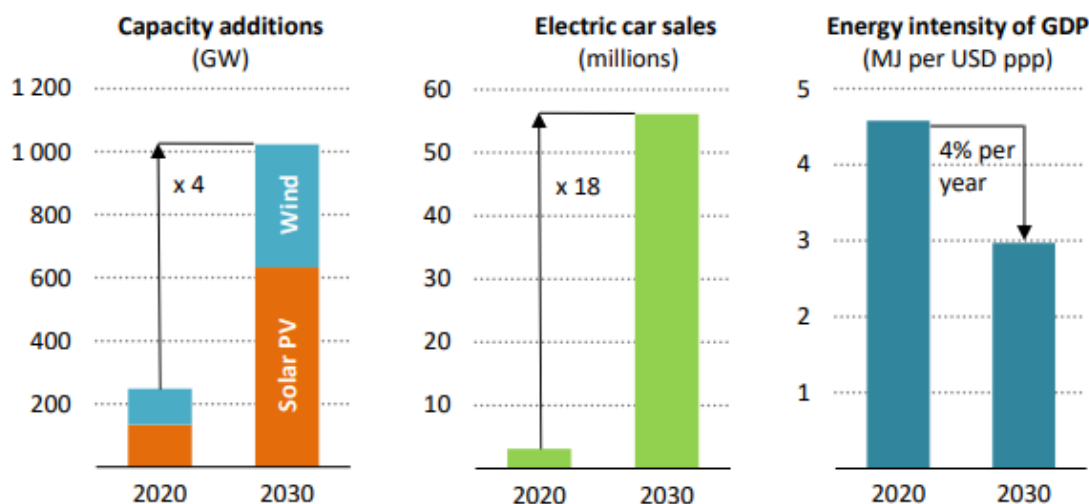
Το **Σχήμα 3.3** παρουσιάζει τη απαραίτητη ραγδαία ανάπτυξη βασικών τεχνολογιών που θα πρέπει να υπάρξει έως το 2030, σύμφωνα με το μονοπάτι προς την επίτευξη μηδενικών εκπομπών. Εξετάζει τρεις βασικούς δείκτες: την εγκατάσταση νέων υποδομών (Capacity Additions), τις πωλήσεις ηλεκτρικών αυτοκινήτων (Electric Car Sales) και την ενεργειακή ένταση του ΑΕΠ (Energy Intensity of GDP).

Εγκατάσταση Νέων Υποδομών (Capacity Additions): Η αιολική και η ηλιακή ενέργεια αποτελούν τους βασικούς πυλώνες της ενεργειακής μετάβασης. Οι προσθήκες ισχύος από αιολικές και φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις θα πρέπει να τετραπλασιαστούν, φτάνοντας από τα 250 GW το 2020 στα 1.000 GW το 2030. Αυτή η εντυπωσιακή αύξηση καταδεικνύει τη δυναμική στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως βασική στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών και τη μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο ενεργειακό σύστημα.

Πωλήσεις Ηλεκτρικών Αυτοκινήτων (Electric Car Sales): Ο αριθμός των ηλεκτρικών αυτοκινήτων που πωλούνται παγκοσμίως οφείλει να εκτοξευθεί από περίπου 3 εκατομμύρια το 2020 στα 50 εκατομμύρια το 2030, σημειώνοντας μια αύξηση 18 φορές. Αυτή η τάση αντικατοπτρίζει τη ραγδαία υιοθέτηση της ηλεκτροκίνησης, υποκινούμενη από τεχνολογικές βελτιώσεις, μείωση κόστους μπαταριών, κυβερνητικά κίνητρα και αυξανόμενη περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση.

Ενεργειακή Ένταση του ΑΕΠ (Energy Intensity of GDP): Η ενεργειακή ένταση του ΑΕΠ, μετρούμενη σε MJ ανά δολάριο ΗΠΑ σε ισοτιμία αγοραστικής δύναμης, θα χρειαστεί να μειωθεί κατά 4% ετησίως. Αυτό σηματοδοτεί τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας της παγκόσμιας οικονομίας, καθώς η παραγωγή περισσότερης οικονομικής αξίας θα απαιτεί λιγότερη ενέργεια. Η μείωση από περίπου 4 MJ/USD το 2020 σε περίπου 2 MJ/USD το 2030 υπογραμμίζει τη στροφή προς τεχνολογίες και πολιτικές που προάγουν την αποδοτικότητα και τη μείωση των εκπομπών.

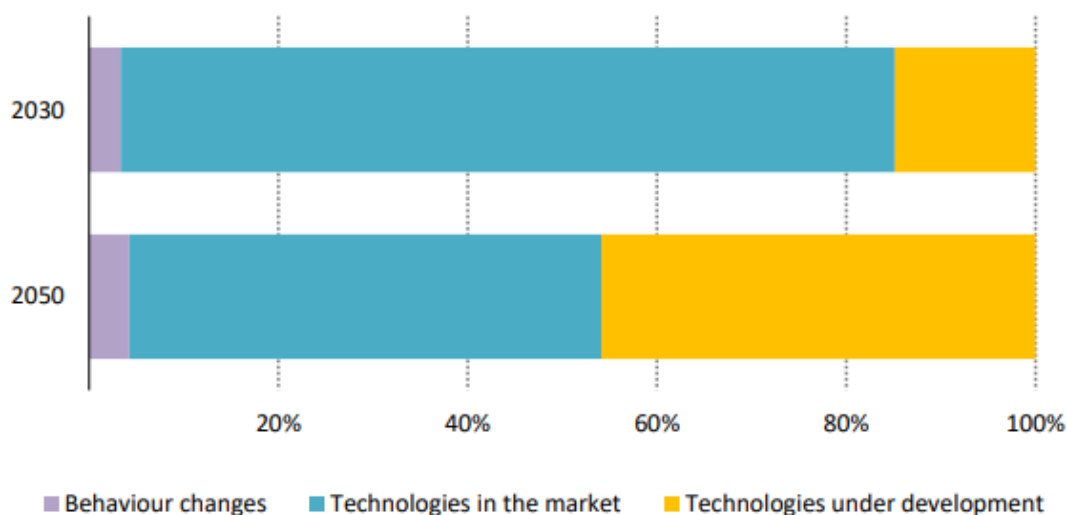
$$\text{Energy Intensity of GDP} = \frac{\text{Κατανάλωση Ενέργειας (MJ)}}{\text{Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (USD)}}$$



Σχήμα 3.3 Ανάπτυξη καθαρών τεχνολογιών έως το 2030, βάση του πλάνου για μηδενικούς ρύπους έως το 2050 (IEA, 2021)

Οι περισσότερες από τις παγκόσμιες μειώσεις στις εκπομπές CO₂ μεταξύ του σήμερα και του 2030, στο πλαίσιο του μονοπατιού προς μηδενικές εκπομπές, προέρχονται από τεχνολογίες που είναι ήδη διαθέσιμες σήμερα (IEA, 2021). Ωστόσο, μέχρι το 2050, σχεδόν οι μισές μειώσεις θα προέρχονται από τεχνολογίες που βρίσκονται επί του παρόντος σε πολύ πρωταρχικό στάδιο ανάπτυξης τους. (Σχήμα 3.4) Αυτό απαιτεί από τις κυβερνήσεις να αυξήσουν γρήγορα και να ανακατευθύνουν τις δαπάνες τους για έρευνα και ανάπτυξη θέτοντάς τις στον πυρήνα της ενεργειακής και κλιματικής πολιτικής. Η πρόοδος σε τομείς όπως οι προηγμένες μπαταρίες, οι ηλεκτρολύτες για υδρογόνο και η άμεση δέσμευση και αποθήκευση αέρα μπορεί να έχει ιδιαίτερα σημαντικό αντίκτυπο.

Annual CO₂ emissions savings in the net zero pathway, relative to 2020



Σχήμα 3.4 Μειώσεις CO₂ βάση τεχνολογιών και ανθρωπίνων παραγόντων σε σύγκριση του 2020 με το 2030 και το 2050 (IEA, 2021)

Επιπρόσθετα, η στρατηγική της ΕΕ βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη διεθνή συνεργασία, καθώς οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής δεν περιορίζονται σε εθνικά σύνορα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει προωθήσει την ανάπτυξη συνεργασιών με άλλες χώρες και περιφερειακούς οργανισμούς για τη στήριξη της βιώσιμης ανάπτυξης και τη μείωση των παγκόσμιων εκπομπών. Η επιτυχία της Πράσινης Συμφωνίας θα εξαρτηθεί και από την ικανότητα της Ευρώπης να εξασφαλίσει παγκόσμιες δεσμεύσεις και συμφωνίες για τη μείωση των εκπομπών, ιδίως από χώρες με υψηλές εκπομπές, όπως οι ΗΠΑ και η Κίνα (UNFCCC, 2021). Χωρίς την παγκόσμια συνεργασία και τις κοινές δεσμεύσεις για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, οι προσπάθειες της ΕΕ θα είναι περιορισμένες ως προς τον πραγματικό τους αντίκτυπο στην κλιματική σταθερότητα.

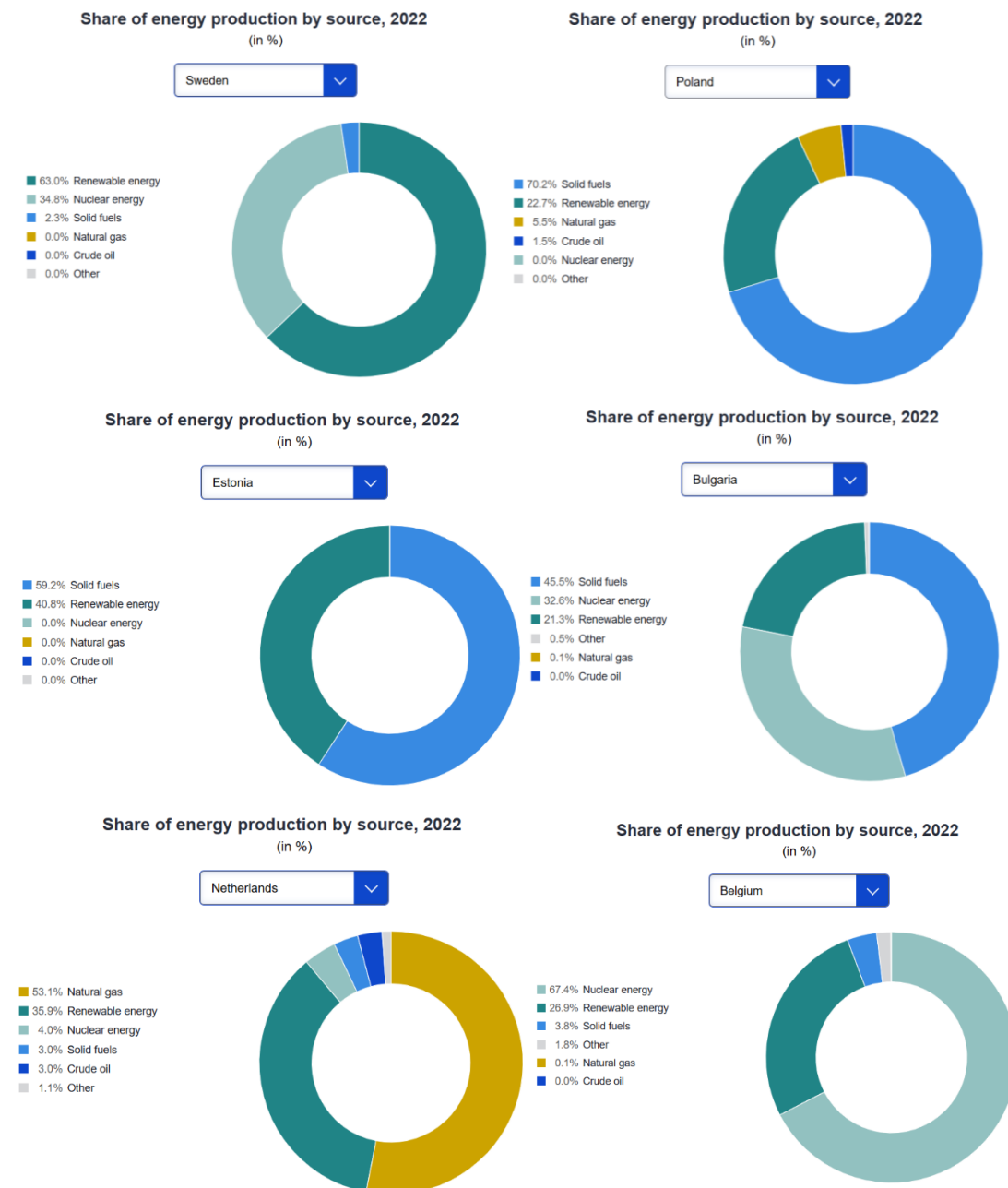
Τέλος, η ανασφάλεια σχετικά με το οικονομικό κόστος και τις ευρύτερες επιπτώσεις της ενεργειακής μετάβασης είναι ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την επιτευξιμότητα της Πράσινης Συμφωνίας. Η μετάβαση σε ένα οικονομικό μοντέλο χαμηλών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προϋποθέτει την αναδιάρθρωση πολλών βιομηχανικών κλάδων και την υιοθέτηση πιο βιώσιμων πρακτικών σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας. Οι κλάδοι που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τα ορυκτά καύσιμα, όπως η βαριά βιομηχανία, οι μεταφορές και η παραγωγή ενέργειας, αντιμετωπίζουν υψηλά κόστη προσαρμογής και απαξίωσης των υποδομών. Οι αναλυτές επισημαίνουν ότι οι εταιρείες θα χρειαστούν ισχυρά κίνητρα και υποστήριξη για να επενδύσουν στην αναβάθμιση των τεχνολογιών τους και στη μετάβαση προς τη βιωσιμότητα (McKinsey & Company, 2022).

Επιπλέον, η ενεργειακή μετάβαση φέρνει ανασφάλειες και στον τομέα της ασφάλειας της παροχής ενέργειας, ειδικά με την αυξανόμενη εξάρτηση από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που είναι διαλείπουσες και εξαρτώνται από εξωτερικούς παράγοντες, όπως οι καιρικές συνθήκες. Η Ευρωπαϊκή Ένωση επιδιώκει να διασφαλίσει την ενεργειακή της ανεξαρτησία, ενισχύοντας τις υποδομές αποθήκευσης ενέργειας και προωθώντας τις διασυνδέσεις μεταξύ των κρατών μελών, αλλά οι τεχνολογίες αποθήκευσης, όπως οι μπαταρίες μεγάλης κλίμακας, απαιτούν σημαντική χρηματοδότηση και τεχνολογική πρόοδο. Η εξασφάλιση της ενεργειακής σταθερότητας καθίσταται ακόμη πιο σημαντική υπό το φως των γεωπολιτικών εντάσεων και των εξωτερικών πιέσεων που επηρεάζουν την προμήθεια ενέργειας, γεγονός που καθιστά την επίτευξη των στόχων της Πράσινης Συμφωνίας μια δύσκολη εξίσωση που συνδυάζει ενεργειακή αυτονομία, περιβαλλοντική βιωσιμότητα και οικονομική ευημερία (European Council on Foreign Relations, 2021).

Η επιτευξιμότητα του στόχου της Πράσινης Συμφωνίας εξαρτάται τελικά από την ικανότητα των κρατών μελών να προσαρμόσουν τις εθνικές τους πολιτικές στις ευρωπαϊκές κατευθυντήριες γραμμές και να υλοποιήσουν τις αναγκαίες μεταρρυθμίσεις. Κάθε χώρα της ΕΕ έχει διαφορετικό ενεργειακό μείγμα (**Σχήμα 3.4**), βιομηχανικό προφίλ και κοινωνικές προκλήσεις, κάτι που μπορεί να καθυστερήσει την εφαρμογή των κεντρικών στρατηγικών σε εθνικό επίπεδο. Παράλληλα, οι ανάγκες για υποστήριξη των κοινωνικά ευάλωτων ομάδων κατά τη μετάβαση καθιστούν απαραίτητη τη διαμόρφωση εθνικών πολιτικών που θα διασφαλίζουν ότι η ενεργειακή μετάβαση θα είναι δίκαιη και προσβάσιμη σε όλους.

Παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον η ανάλυση του **Σχήματος 3.4**, καθώς βοηθάει να γίνει αντιληπτό πόσο διαφέρει ενεργειακά μια χώρα με μια άλλη στην Ευρώπη. Όλες οι παρακάτω

χώρες αποτελούν κράτη – μέλη της ΕΕ. Η Σουηδία για παράδειγμα είναι η μόνη από όσες παρουσιάζονται στην οποία υπερисχύουν οι ΑΠΕ με την πυρηνική ενέργεια να ακολουθεί. Η Ολλανδία από την άλλη ξεχωρίζει και αυτή ως η μόνη χώρα στην οποία κυριαρχεί τόσο έντονα το φυσικό αέριο, παρουσιάζοντας παράλληλα μια μεγάλη ποικιλία από άλλες πηγές ενέργειας σε χαμηλότερα ποσοστά. Το Βέλγιο αλλά και άλλες χώρες όπως η Γαλλία στηρίζονται κατά κύριο λόγο στην πυρηνική ενέργεια ενώ Πολωνία, Εστονία και Βουλγαρία φαίνεται να έχουν μείνει πίσω στην ενεργειακή τους μετάβαση με τα ορυκτά καύσιμα να έχουν τον πρώτο λόγο στην παραγωγή ενέργειας.



Σχήμα 3.4 Ενεργειακά μείγματα διαφόρων χωρών τις Ευρώπης (Eurostat, 2023)

Παρά τις πολλές προκλήσεις, η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία διαθέτει τη δυναμική να οδηγήσει την Ευρώπη σε ένα βιώσιμο ενεργειακό μέλλον. Ωστόσο, απαιτείται στενή

παρακολούθηση της εφαρμογής, ισχυρή συνεργασία μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα, καθώς και προσαρμοστικότητα στις αλλαγές και τις προκλήσεις που ενδέχεται να εμφανιστούν στο δρόμο προς την κλιματική ουδετερότητα.

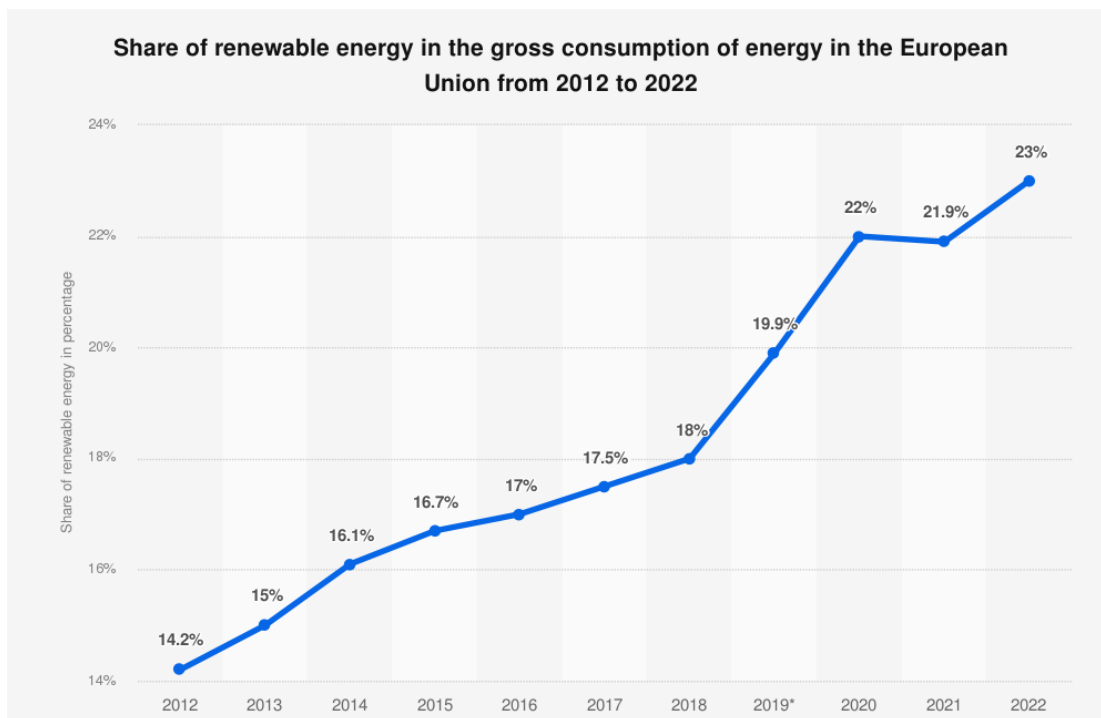
Το 2022, οι καθαρές εγχώριες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG), εξαιρουμένων των εκπομπών από τις διεθνείς μεταφορές, μειώθηκαν κατά 2,5% σε σύγκριση με το 2021. Αυτό αντιστοιχεί σε μείωση καθαρών εκπομπών GHG κατά 32,5% σε σχέση με το έτος βάσης 1990. Κατά την ίδια περίοδο, υπήρξε μικρή μείωση στις καθαρές αναφορές απορρόφησης GHG, κατά 4 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου CO₂ σε σύγκριση με το 2021 (European Commission, 2024).

Για τις εκπομπές που καλύπτονται από το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών (ETS), τα δεδομένα που αναφέρθηκαν από τα κράτη μέλη της ΕΕ έως τις 2 Απριλίου 2024 δείχνουν μείωση των εκπομπών κατά 15,5% το 2023, σε σχέση με τα επίπεδα του 2022. Με αυτή την εξέλιξη, οι εκπομπές του ETS είναι πλέον περίπου 47% κάτω από τα επίπεδα του 2005, και σε καλό δρόμο για την επίτευξη του στόχου του 2030 για μείωση κατά -62%.

Ωστόσο, οι προβλέψεις εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε όλη την οικονομία, που υποβλήθηκαν πρόσφατα από τα κράτη μέλη, αναμένεται να δείξουν μια απόκλιση από την κλιματική φιλοδοξία της ΕΕ. Για να διατηρηθεί η πορεία προς τον στόχο μείωσης του 2030 και την κλιματική ουδετερότητα έως το 2050, η ΕΕ πρέπει να επιταχύνει τον ρυθμό αλλαγών και να επικεντρωθεί σε τομείς όπου οι απαιτούμενες μειώσεις εκπομπών είναι σημαντικές (π.χ. κτίρια και μεταφορές) (European Commission, 2024).

Η αξιολόγηση των αναθεωρημένων Εθνικών Σχεδίων για την Ενέργεια και το Κλίμα (NECPs) τον Δεκέμβριο του 2023 δείχνει ότι τα κράτη μέλη έχουν κάνει ένα βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση, αλλά αυτό δεν είναι ακόμα επαρκές για τη μείωση των καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030. Τα σχέδια αναθεωρημένων NECPs οδηγούν σε μειώσεις εκπομπών GHG κατά -51%, μια απόκλιση 4 ποσοστιαίων μονάδων.

Το 2022, η ΕΕ έφτασε σε μερίδιο 23,0% της ανανεώσιμης ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας, μια αύξηση 1,1 ποσοστιαίων μονάδων σε σύγκριση με το 2021 (21,9%). Στο πλαίσιο της πορείας προς το 2030, το μερίδιο του 2022 είναι ελαφρώς πάνω από το δεσμευτικό ενδιάμεσο μερίδιο της τροχιάς για το 2022, το οποίο είναι 22,2% (**Σχήμα 3.5**).



Σχήμα 3.5 Ποσοστό ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ 2012 – 2022 (Statista – EurObserv ER, 2024)

Κατά μέσο όρο, το συνολικό μερίδιο της ανανεώσιμης ενέργειας αυξάνεται κατά 0,7 ποσοστιαίες μονάδες ετησίως τα τελευταία 10 χρόνια.

Θετικές Προβλέψεις

Μπορεί μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας να θεωρεί με βάση τα τωρινά δεδομένα και τις εκάστοτε προβλέψεις ότι τα σενάρια για μηδενικούς ρίπους έως το 2050 δεν είναι ρεαλιστικά, ωστόσο υπάρχουν και μελέτες που δείχνουν μια πιο αισιόδοξη εξέλιξη των πραγμάτων. Οι Sanja Potrc, Lidija Cucek, Mariano Martin και Zdravko Kravanja παρουσιάζουν μέσα από την έρευνα τους (2021) ένα πολυπερίοδο μοντέλο με στόχο τη μεγιστοποίηση της καθαρής παρούσας αξίας της βιωσιμότητας, λαμβάνοντας υπόψη την βιομάζα και τα απόβλητα για την παραγωγή βιοκαυσίμων, ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας, υδρογόνου, τροφίμων και βιοπροϊόντων, με την εφαρμογή διαφορετικών τύπων τεχνολογιών.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι, με περαιτέρω ανάπτυξη των υφιστάμενων τεχνολογιών, ο στόχος μιας κλιματικά ουδέτερης ΕΕ μπορεί να επιτευχθεί χωρίς να διακυβεύεται η παραγωγή τροφίμων. Τα αιολικά πάρκα αποδεικνύονται η πιο υποσχόμενη λύση για τη γρήγορη επέκταση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενώ η σημασία των φωτοβολταϊκών αυξάνεται σταδιακά, φτάνοντας στο 43% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ το 2050. Επιπλέον, η ενεργειακή μετάβαση στην ΕΕ θα μπορούσε να έχει σημαντικό θετικό αντίκτυπο στις οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές πτυχές της βιωσιμότητας, δημιουργώντας περισσότερες από 1,5 εκατομμύριο νέες θέσεις εργασίας στην ΕΕ τα επόμενα 30 χρόνια.

Μια ακόμα έρευνα που παρουσιάζεται αισιόδοξη για την επίτευξη των ενεργειακών στόχων της ΕΕ είναι αυτή των Tsiropoulos, Nijs, Tarvydas, και Ruiz (2020). Η έκθεση αυτή,

παρουσιάζει μια σύγκριση 8 σεναρίων για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στην

ΕΕ κατά πάνω από 50% έως το 2030 και 16 σεναρίων για επίτευξη κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050.

Στα σενάρια που επιτυγχάνουν τουλάχιστον 50% μείωση των εκπομπών έως το 2030, η ενεργειακή μετάβαση χαρακτηρίζεται από:

- Μείωση της συνολικής κατανάλωσης άνθρακα κατά τουλάχιστον 70% μέσα στα επόμενα 10 χρόνια.
- Αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος μεταβλητών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά 2 έως 3 φορές.
- Διαφορές στην ενεργειακή αποδοτικότητα (από 31% έως 44%) και στο ποσοστό ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (από 30% έως 40%). Οι παράγοντες που επηρεάζουν αυτό το εύρος περιλαμβάνουν:
 - ο την αύξηση των ανανεώσιμων πηγών στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας, που κυμαίνεται από 1,5 έως 1,75 φορές,
 - ο τη μείωση της ενεργειακής ζήτησης για θέρμανση κτιρίων και για μεταφορές,
 - ο τον εξηλεκτρισμό των μεταφορών που μειώνει το πετρέλαιο και απαιτεί σχετικά μικρότερη ποσότητα ανανεώσιμων για να καλύψει την ίδια ζήτηση,
 - ο το πλαίσιο του σεναρίου σχετικά με την πυρηνική ενέργεια και τη διαθεσιμότητα τεχνολογιών δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS).

Στα σενάρια που επιτυγχάνουν τουλάχιστον 90% μείωση των εκπομπών έως το 2050, η κλιματική και ενεργειακή μετάβαση χαρακτηρίζεται από:

- Σχεδόν πλήρη κατάργηση του άνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου σε όλους τους ενεργειακούς τομείς έως το 2050.
- Αδιαμφισβήτητη αύξηση της αιολικής και ηλιακής ενέργειας (με αύξηση έως 13 φορές), η οποία συνδέεται έντονα με το επίπεδο της άμεσης ηλεκτροδότησης και της παραγωγής υδρογόνου/ηλεκτροκαυσίμων. Η ζήτηση υδρογόνου και ηλεκτροκαυσίμων εξαρτάται από τη χρήση της ενεργειακής αποδοτικότητας, την εφαρμογή CCS εκτός του τομέα παραγωγής ενέργειας και τις τεχνολογίες απομάκρυνσης άνθρακα.
- Για τον τομέα των μεταφορών, σύμφωνα με την ανάλυση, αναμένεται ένα ποσοστό 65%-90% οχημάτων μηδενικών εκπομπών έως το 2050.

Αντίστοιχοι επιθυμητοί στόχοι παρουσιάζονται και στον **Πίνακα 3.2** από την IEA.

Πίνακας 3.2 Βασικά αναπτυξιακά ορόσημα για τις ΑΠΕ (IEA, 2021)

Sector	2020	2030	2050
Electricity sector			
Renewables share in generation	29%	61%	88%
Annual capacity additions (GW): Total solar PV	134	630	630
Total wind	114	390	350
– of which: Offshore wind	5	80	70
Dispatchable renewables	31	120	90
End-uses sectors			
Renewable share in TFC	5%	12%	19%
Households with rooftop solar PV (million)	25	100	240
Share of solar thermal and geothermal in buildings	2%	5%	12%
Share of solar thermal and geothermal in industry final consumption	0%	1%	2%

Note: TFC = total final consumption.

Η πρόοδος στους τομείς της θέρμανσης και ψύξης (από 18,6% σε 24,9%) και των μεταφορών (από 5,8% σε 9,6%) ήταν σχετικά περιορισμένη. Σύμφωνα με την αξιολόγηση της Επιτροπής για τα αναθεωρημένα Εθνικά Σχέδια Ενέργειας και Κλίματος (NECPs), υπάρχει ένα κενό φιλοδοξίας όσον αφορά τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέχρι το 2030, με τις προβλεπόμενες συνεισφορές να είναι κατά 3-4 ποσοστιαίες μονάδες χαμηλότερες από τον αναθεωρημένο στόχο της ΕΕ, που έχει οριστεί στο 42,5%.

Το 2022, τα ποσοστά ανανεώσιμης ενέργειας διέφεραν σημαντικά μεταξύ των κρατών-μελών, αντικατοπτρίζοντας τις διαφορετικές αφετηρίες και εθνικούς στόχους. Η Σουηδία κατείχε το υψηλότερο ποσοστό (66%), ακολουθούμενη από τη Φινλανδία (47,9%), τη Λετονία (43,3%) και τη Δανία (41,6%). Αντίθετα, χώρες όπως το Βέλγιο, η Ιρλανδία, το Λουξεμβούργο και η Μάλτα είχαν ποσοστά κάτω από 14%, καταγράφοντας τα χαμηλότερα μερίδια.

Το 2022, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την εγχώρια κατανάλωση όσο και τις δηλωμένες στατιστικές μεταβιβάσεις, τρία κράτη-μέλη δεν κατάφεραν να φτάσουν τον δεσμευτικό στόχο τους για το 2020 βάσει της αρχικής Οδηγίας για την Ανανεώσιμη Ενέργεια. Η Γαλλία βρέθηκε 2,7 ποσοστιαίες μονάδες κάτω από τον στόχο, η Ιρλανδία 2 ποσοστιαίες μονάδες και η Αυστρία 0,2 ποσοστιαίες μονάδες. Αυτές οι χώρες καλούνται να λάβουν πρόσθετα μέτρα μέσα σε ένα έτος για να καλύψουν το κενό. Επιπλέον, πολλά κράτη-μέλη δεν πέτυχαν τον στόχο τους για το 2022, γεγονός που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί στις επόμενες εκθέσεις προόδου, όπου θα εξηγούν τα σχέδιά τους για την κάλυψη αυτών των ελλείψεων (IEA, 2023).

Η επίτευξη μιας μετάβασης του μεγέθους και της ταχύτητας που απαιτείται για μηδενικές εκπομπές θα εξαρτηθεί από τη συνεχή υποστήριξη και συμμετοχή των πολιτών. Αυτή η μετάβαση θα επηρεάσει πολλές πτυχές της καθημερινής ζωής, όπως οι μεταφορές, η θέρμανση, το μαγείρεμα, ο αστικός σχεδιασμός και η εργασία. Υπολογίζεται ότι το 55% της συνολικής μείωσης εκπομπών σε ένα τέτοιο σενάριο θα προέλθει από επιλογές

καταναλωτών, όπως η αγορά ηλεκτρικών οχημάτων, η ενεργειακή αναβάθμιση των σπιτιών ή η εγκατάσταση αντλιών θερμότητας. Επιπλέον, αλλαγές στη συμπεριφορά – όπως η χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς ή η αντικατάσταση των ταξιδιών με αυτοκίνητο από περπάτημα ή ποδήλατο, καθώς και η αποφυγή μεγάλων πτήσεων – θα συμβάλουν κατά περίπου 4% στη συνολική μείωση των εκπομπών, ειδικά στις ανεπτυγμένες οικονομίες (Louis et al., 2020).

Στο σενάριο μηδενικών εκπομπών του IEA (**Σχήμα 3.6**), η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας το 2050 είναι περίπου 8% μικρότερη από τη σημερινή, εξυπηρετώντας ωστόσο μια οικονομία που είναι διπλάσια σε μέγεθος και έναν πληθυσμό αυξημένο κατά 2 δισεκατομμύρια ανθρώπους. Η αύξηση της αποδοτικότητας στην κατανάλωση ενέργειας, η εξοικονόμηση πόρων και οι αλλαγές στη συμπεριφορά συμβάλλουν στην εξισορρόπηση της αυξημένης ζήτησης ενέργειας που φέρνει η ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας και η πρόσβαση στην ενέργεια για όλους.

Μέχρι το 2025, τερματίζεται η πώληση νέων λεβήτων που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, συμβάλλοντας στη μείωση των εκπομπών στον τομέα της θέρμανσης. Το 2030 αποτελεί κρίσιμο σημείο, καθώς επιδιώκεται:

- Καθολική πρόσβαση στην ενέργεια σε παγκόσμιο επίπεδο.
- Όλα τα νέα κτίρια να είναι μηδενικών εκπομπών άνθρακα (zero-carbon-ready).
- Το 60% των πωλήσεων αυτοκινήτων να αφορά ηλεκτρικά οχήματα.
- Η εγκατάσταση 1.020 GW ηλιακής και αιολικής ενέργειας ετησίως.
- Η σταδιακή κατάργηση του άνθρακα χωρίς μέτρα μείωσης εκπομπών στις ανεπτυγμένες οικονομίες.

Το 2035, η μετάβαση γίνεται ακόμη πιο έντονη. Το 50% των βαρέων φορτηγών που πωλούνται πρέπει να είναι ηλεκτρικά, ενώ σταματούν οι πωλήσεις οχημάτων με κινητήρες εσωτερικής καύσης (ICE). Στη βιομηχανία, όλα τα ηλεκτρικά μοτέρ πρέπει να είναι κορυφαίας ενεργειακής απόδοσης ("best-in-class").

Μέχρι το 2040, το 50% των υπαρχόντων κτιρίων πρέπει να ανακαινιστούν ώστε να πληρούν πρότυπα μηδενικών εκπομπών, ενώ το 50% των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στην αεροπορία θα πρέπει να είναι χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Έως το 2045, το 50% της ζήτησης θέρμανσης θα καλύπτεται από αντλίες θερμότητας, ενισχύοντας περαιτέρω τη μετάβαση σε πιο καθαρές τεχνολογίες.

Αντί για ορυκτά καύσιμα, ο ενεργειακός τομέας βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε ανανεώσιμες πηγές. Τα δύο τρίτα της συνολικής ενέργειας το 2050 προέρχονται από τον άνεμο, την ηλιακή, τη βιοενέργεια, τη γεωθερμία και την υδροηλεκτρική ενέργεια, με την ηλιακή ενέργεια να αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή, καλύπτοντας το ένα πέμπτο των ενεργειακών αναγκών. Η ηλιακή ισχύς (φωτοβολταϊκά) αυξάνεται 20 φορές και η αιολική ενέργεια 11 φορές μέχρι το 2050.

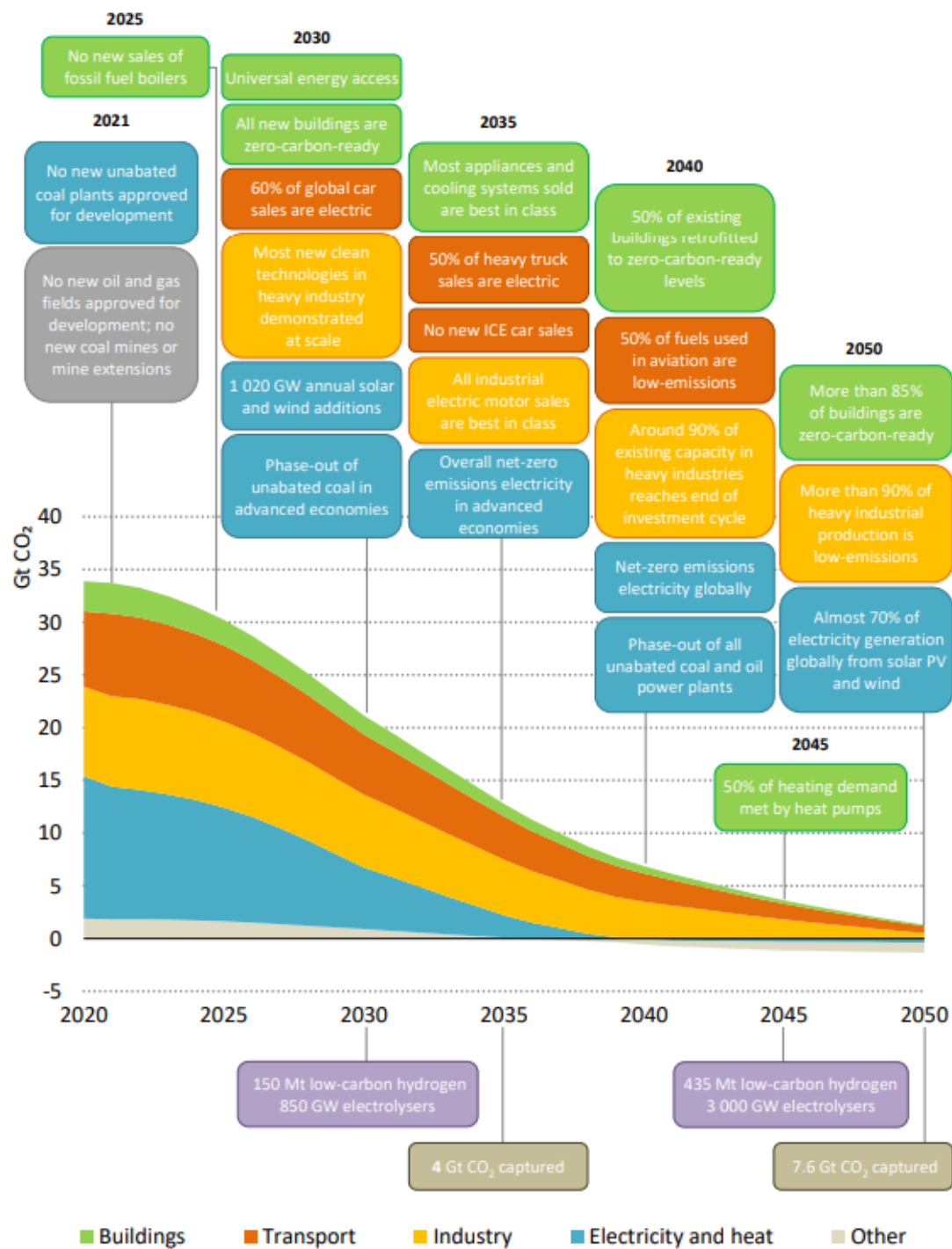
Το μηδενικό ισοζύγιο εκπομπών σημαίνει τεράστια μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων. Η χρήση τους πέφτει από σχεδόν το 80% της σημερινής ενεργειακής τροφοδοσίας σε λίγο πάνω από το 20% το 2050. Τα ορυκτά καύσιμα που παραμένουν χρησιμοποιούνται κυρίως σε προϊόντα όπου ο άνθρακας ενσωματώνεται στο προϊόν, όπως τα πλαστικά, σε εγκαταστάσεις

με τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCUS), και σε τομείς όπου οι διαθέσιμες τεχνολογίες χαμηλών εκπομπών είναι περιορισμένες.

Το τελικό ορόσημο τοποθετείται στο 2050. Στόχος είναι:

- Πάνω από το 85% των κτιρίων να είναι μηδενικών εκπομπών άνθρακα.
- Πάνω από το 90% της βιομηχανικής παραγωγής να είναι χαμηλών εκπομπών.
- Το 70% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να προέρχεται από ηλιακή και αιολική ενέργεια.

Key milestones in the pathway to net zero



Σχήμα 3.6 Χρονοδιάγραμμα με τα βασικά ορόσημα για την επίτευξη του στόχου του μηδενικού ισοζυγίου άνθρακα (net zero), του IEA, έως το 2050 (IEA, 2021)

Η γραφική απεικόνιση δείχνει ότι οι εκπομπές CO₂ μειώνονται δραστικά από τα σημερινά επίπεδα, τα οποία ξεπερνούν τα 35 gigatons (Gt). Ο τομέας του ηλεκτρισμού και της θέρμανσης, οι μεταφορές και η βιομηχανία αποτελούν τις μεγαλύτερες πηγές εκπομπών, αλλά οι εκπομπές τους μειώνονται δραματικά μέσω τεχνολογικών καινοτομιών, επενδύσεων

και πολιτικών που στηρίζουν τη μετάβαση σε καθαρές πηγές ενέργειας. Σταδιακά, οι εκπομπές από όλους τους τομείς πλησιάζουν το μηδέν.

Η επίτευξη του μηδενικού ισοζυγίου άνθρακα έως το 2050 απαιτεί ριζικές αλλαγές στην ενεργειακή παραγωγή, τη βιομηχανία, τις μεταφορές και τη θέρμανση. Τα ορόσημα που έχουν τεθεί υποδεικνύουν ένα φιλόδοξο σχέδιο δράσης που θα χρειαστεί συντονισμένη παγκόσμια προσπάθεια, επενδύσεις σε καθαρές τεχνολογίες και αποφασιστική πολιτική βούληση. Αν επιτευχθεί, αυτός ο στόχος θα αποτελέσει καθοριστική συμβολή στην αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης.

Η επίτευξη μηδενικών εκπομπών CO₂ έως το 2050 απαιτεί μια δραστική αναμόρφωση του παγκόσμιου ενεργειακού συστήματος, η οποία βασίζεται σε σημαντική αύξηση των επενδύσεων και σε ουσιαστική αλλαγή στη διάθεση του κεφαλαίου. Το σενάριο μηδενικών εκπομπών (NZE) προβλέπει την αύξηση των ετήσιων ενεργειακών επενδύσεων από λίγο πάνω από 2 τρισεκατομμύρια δολάρια κατά μέσο όρο την τελευταία πενταετία σε σχεδόν 5 τρισεκατομμύρια δολάρια έως το 2030 και περίπου 4,5 τρισεκατομμύρια δολάρια έως το 2050. Η συνολική ετήσια επένδυση στον ενεργειακό τομέα αναμένεται να αυξηθεί από το 2,5% του παγκόσμιου ΑΕΠ που καταγράφηκε τα τελευταία χρόνια σε περίπου 4,5% το 2030, προτού επιστρέψει στο επίπεδο του 2,5% έως το 2050.

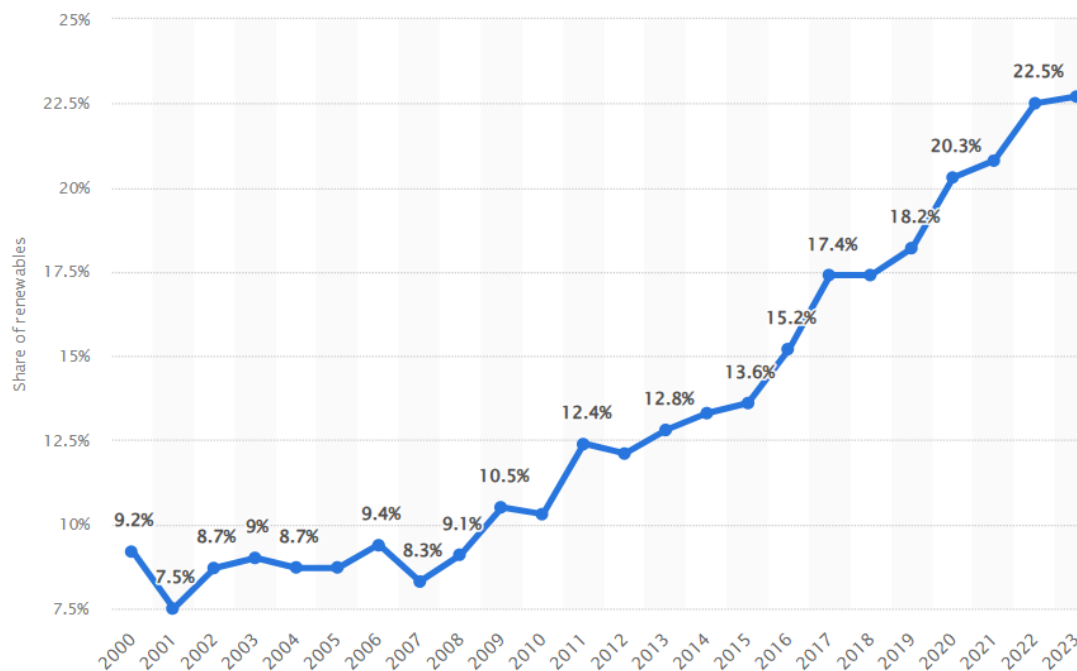
Κεφάλαιο 4: Οι ανταγωνιστές και οι πολιτικές τους

4.1. Ηνωμένες Πολιτείες και Inflation Reduction Act (IRA)

Μια ιδιαίτερα φιλόδοξη και πολυδιάστατη νομοθεσία των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής αποτελεί το Inflation Reduction Act (IRA). Ψηφίστηκε το 2022 με έναν από τους στόχους της να αποτελεί η καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, μέσα από την παροχή ισχυρών κινήτρων για την ανάπτυξη ΑΠΕ, την βελτίωση της τεχνολογίας στον τομέα της αποθήκευσης ενέργειας και γενικότερα τον εκσυγχρονισμό των ηλεκτρικών δικτύων. Ο προϋπολογισμός των προγραμμάτων του IRA αγγίζει τα 369 δισεκατομμύρια δολάρια, των οποίων η αξιοποίηση θα πρέπει να επιφέρει μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στις ΗΠΑ κατά 40% έως το 2030. Αυτό θα είναι το αποτέλεσμα μιας μεγάλης σειράς δράσεων και ενεργειακών εγκαταστάσεων που θα αφορούν την επέκταση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών και τη παροχής φορολογικών κινήτρων για την εγκατάσταση τεχνολογιών καθαρής ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι ανεμογεννήτριες και οι μπαταρίες αποθήκευσης. Η νομοθεσία επίσης προβλέπει την χρηματοδότηση για τον εκσυγχρονισμό των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε αυτά να μπορούν να διαχειριστούν τη διαρκώς αυξανόμενη προσφορά ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, προσφέροντας σταθερότητα και ανθεκτικότητα στο αμερικανικό ενεργειακό δίκτυο (IRS, 2022).

Το 2023, περίπου 4.178 δισεκατομμύρια κιλοβατώρες (kWh) (ή περίπου 4,18 τρισεκατομμύρια kWh) ηλεκτρικής ενέργειας παρήχθησαν σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας στις Ηνωμένες Πολιτείες. Περίπου το 58% αυτής της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προήλθε από ορυκτά καύσιμα — άνθρακα, φυσικό αέριο, πετρέλαιο και άλλα αέρια. Περίπου το 19% προήλθε από πυρηνική ενέργεια, ενώ περίπου το 23% προήλθε από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (**Σχήμα 4.1**).

Η Υπηρεσία Ενεργειακής Πληροφόρησης των ΗΠΑ (U.S. Energy Information Administration) εκτιμά ότι επιπλέον 73,62 δισεκατομμύρια kWh ηλεκτρικής ενέργειας παρήχθησαν από μικρής κλίμακας φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα το 2023.



Σχήμα 4.1 Ποσοστό ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας στις ΗΠΑ 2000 – 2023 (Statista, 2024)

Η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια στις ΗΠΑ. Κρίνεται έτσι ιδιαίτερα χρήσιμο να δημιουργηθεί ένα δίκτυο διανομής ικανό να απορροφήσει και να μεταφέρει την ενέργεια αυτή με αποτελεσματικότητα και αξιοπιστία, κάτι το οποίο αποτελεί και έναν από τους κύριους στόχους του IRA. Τα σημερινά αμερικανικά δίκτυα βασίζονται κυρίως σε παλαιότερες υποδομές και δεν είναι σχεδιασμένα να μπορούν να διαχειριστούν μεγάλο όγκο ενέργειας από διαλείπουσες πηγές όπως η αιολική ή η ηλιακή. Φαινόμενα όπως οι διακοπές ρεύματος, οι υπερφορτώσεις και η ανάγκη για αυξημένη ευελιξία καθιστούν την αναβάθμιση αυτή απαραίτητη για την αποδοτική λειτουργία του συστήματος (Bistiline et al, 2023).

Η ψήφιση του IRA έχει επίσης σημαντικό αντίκτυπο στις παγκόσμιες ενεργειακές στρατηγικές, ιδίως στους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την κλιματική ουδετερότητα. Με την ενίσχυση των ΑΠΕ και των δικτύων στις ΗΠΑ, ο IRA δημιουργεί προοπτικές για μείωση των παγκόσμιων εκπομπών και αυξάνει την πρόσβαση σε πιο αποδοτικές και ανταγωνιστικές τεχνολογίες καθαρής ενέργειας. Μέσα από αυτή την ενεργειακή δέσμευση της Αμερικής ενισχύονται οι διεθνείς προσπάθειες για την χρήση βιώσιμων ενεργειών και αποτυπώνεται έμπρακτα η στήριξη των ΗΠΑ προς τους στόχους της Συμφωνίας του Παρισιού. (World Resources Institute, 2022). Ανοίγει έτσι ξανά ένα διάυλος επικοινωνίας για στενότερη συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Ένωση, που υιοθετεί αντίστοιχες πολιτικές και θέτει φιλόδοξους στόχους για τη μείωση των εκπομπών, όπως η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία.

Η αυξημένη επένδυση των ΗΠΑ σε καθαρή ενέργεια θα ενισχύσει την καινοτομία σε τεχνολογίες που σχετίζονται με την ενεργειακή μετάβαση, όπως για παράδειγμα τα έξυπνα δίκτυα, η παραγωγή και αποθήκευση υδρογόνου και οι νέες τεχνολογίες ανακύκλωσης αποβλήτων ενέργειας. Τέτοιες εξελίξεις θα πρέπει να δημιουργήσουν ευκαιρίες συνεργασίας και όχι χάσμα, μεταξύ ΕΕ και ΗΠΑ για την πραγματοποίηση κοινών πρωτοβουλιών

διατλαντικής κλίμακας και την ανταλλαγή γνώσεων σε ενεργειακές λύσεις προηγμένης τεχνολογίας. Η συντονισμένη δράση μεταξύ ΕΕ και ΗΠΑ μπορεί να συνεισφέρει στη δημιουργία μιας κοινής, διασυνδεδεμένης αγοράς καθαρής ενέργειας, η οποία θα απλουστεύσει τη ροή τεχνολογίας και κεφαλαίων μεταξύ των δύο περιοχών, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα και την ανταγωνιστικότητα της παγκόσμιας ενεργειακής αγοράς (IEA, 2022).

Τέλος, ο IRA αποτελεί ένα μοντέλο πολιτικής που θα μπορούσε να ενθαρρύνει τις χώρες της ΕΕ να αναθεωρήσουν τις δικές τους στρατηγικές πράσινης μετάβασης και να προσαρμόσουν και αυτές κίνητρά για την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των δικτύων τους. Με την εφαρμογή ενός συνδυασμού φορολογικών κινήτρων και επενδύσεων στις υποδομές, η Ευρώπη μπορεί να επιτύχει την εναρμόνιση της αγοράς της με τις ΗΠΑ και ελπίζει πιο ρεαλιστικά στην επίτευξη των στόχων της κλιματικής ουδετερότητας μέσω της ανταλλαγής γνώσης και της συντονισμένης δράσης.

Συμπερασματικά, το πρόγραμμα IRA των ΗΠΑ επηρεάζει τις ενεργειακές πολιτικές της Ευρώπης με πολλούς τρόπους, δημιουργώντας ταυτόχρονα ευκαιρίες και προκλήσεις για την ΕΕ. Ακολουθούν οι κυριότεροι τομείς στους οποίους παρατηρείται αυτή η επίδραση σύμφωνα με τον ECFR (2022):

1. **Ανταγωνισμός και Εμπορικές Εντάσεις:** Το IRA εισάγει μεγάλες επιδοτήσεις και κίνητρα για την καθαρή ενέργεια και την κατασκευή πράσινων τεχνολογιών, τα οποία προορίζονται κυρίως για εταιρείες που εδρεύουν στις ΗΠΑ ή τη Βόρεια Αμερική. Αυτό εγείρει ανησυχίες στην Ευρώπη για τον ανταγωνισμό που δημιουργούν αυτές οι επιδοτήσεις, καθώς ενδέχεται να προσελκύσουν ευρωπαϊκές επιχειρήσεις να μεταφέρουν την παραγωγή τους στις ΗΠΑ για να επωφεληθούν από τα οικονομικά κίνητρα. Οι ευρωπαϊκές χώρες, ιδιαίτερα αυτές με φιλελεύθερες εμπορικές πολιτικές, φοβούνται πως ένας ανταγωνισμός επιδοτήσεων με τις ΗΠΑ μπορεί να αποβεί επιζήμιος, θέτοντας σε κίνδυνο την ενιαία αγορά της ΕΕ.
2. **Εξάρτηση από την Κίνα και Διατλαντική Συνεργασία:** Η ΕΕ και οι ΗΠΑ μοιράζονται κοινές ανησυχίες σχετικά με την υπερβολική εξάρτηση των αλυσίδων εφοδιασμού καθαρής ενέργειας από την Κίνα. Το IRA προσπαθεί να ενισχύσει την αμερικανική παραγωγή πράσινων τεχνολογιών και μπαταριών, επιδιώκοντας να μειώσει αυτή την εξάρτηση. Αυτό, όμως, έχει δώσει την ευκαιρία στην Κίνα να προσεγγίσει την Ευρώπη, καλώντας την να βασιστεί περισσότερο στις κινεζικές αλυσίδες εφοδιασμού καθαρής ενέργειας. Η ΕΕ βρίσκεται σε δίλημμα: να αυξήσει τη συνεργασία της με την Κίνα για να παραμείνει ανταγωνιστική ή να συνάψει στενότερη συνεργασία με τις ΗΠΑ για να μειώσει την εξάρτηση από την Κίνα, προωθώντας κοινές διατλαντικές πρωτοβουλίες στον τομέα της καθαρής ενέργειας.
3. **Ανάγκη για Ευρωπαϊκές Επενδύσεις και Κρατική Στήριξη:** Το IRA επιβάλλει στην ΕΕ την ανάγκη να αυξήσει τις επενδύσεις της στον τομέα της καθαρής ενέργειας και να ενισχύσει τη χρηματοδότηση για καινοτομία και πράσινες υποδομές. Πολλές χώρες της ΕΕ καλούν την Ευρωπαϊκή Επιτροπή να χαλαρώσει τους κανόνες κρατικών ενισχύσεων, έτσι ώστε τα κράτη-μέλη να μπορέσουν να προσφέρουν ανταγωνιστικές επιδοτήσεις στις εγχώριες επιχειρήσεις τους, παρόμοιες με αυτές των ΗΠΑ. Η πρόκληση για την Ευρώπη είναι να διατηρήσει την ενότητα της ενιαίας αγοράς και να μην επιτρέψει έναν "αγώνα" επιδοτήσεων μεταξύ των κρατών-μελών της.

4. **Αλλαγή Ενεργειακών Προτεραιοτήτων:** Ο IRA ωθεί την ΕΕ να επανεξετάσει τις ενεργειακές της πολιτικές και στρατηγικές. Η Ευρώπη αναγνωρίζει ότι, ενώ πρέπει να ενισχύσει τις αλυσίδες εφοδιασμού της σε πράσινη ενέργεια, οφείλει επίσης να μειώσει την εξάρτησή της από εισαγωγές, κυρίως από χώρες με πολιτική αστάθεια ή ανταγωνιστικά συμφέροντα. Αυτό έχει οδηγήσει σε επενδύσεις σε έργα αποθήκευσης ενέργειας, υποδομές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και επέκταση των ευρωπαϊκών ικανοτήτων παραγωγής τεχνολογίας καθαρής ενέργειας.
5. **Επιπτώσεις στη Σχέση ΗΠΑ-ΕΕ:** Οι εντάσεις που προκύπτουν από το IRA ενδέχεται να δοκιμάσουν τη διατλαντική σχέση, ιδίως όσον αφορά το εμπόριο και τις επενδύσεις. Η ΕΕ έχει απειλήσει με αντίμετρα, όπως η προσφυγή στον Παγκόσμιο Οργανισμό Εμπορίου (ΠΟΕ), όμως οι διαπραγματεύσεις παραμένουν ο κυρίαρχος τρόπος επίλυσης. Οι ενέργειες της ΕΕ για να εξασφαλίσει εξαιρέσεις από τις διακριτικές διατάξεις του IRA και να συνεργαστεί πιο στενά με τις ΗΠΑ σε κοινούς ενεργειακούς στόχους και συμφωνίες είναι στρατηγικής σημασίας για τη διατήρηση της συνεργασίας τους.

Συνοψίζοντας, το IRA έχει δημιουργήσει νέες προκλήσεις και ευκαιρίες για την ΕΕ στην προσπάθειά της να διατηρήσει την ανταγωνιστικότητά της, να επιταχύνει τη μετάβαση στην καθαρή ενέργεια και να διασφαλίσει την ενεργειακή της ασφάλεια. Η απάντηση της ΕΕ θα καθορίσει την πορεία της στις ενεργειακές πολιτικές τα επόμενα χρόνια, καθώς και τη διατλαντική συνεργασία στον τομέα της πράσινης ανάπτυξης.

4.2 Κίνα

4.2.1 Ενεργειακές πολιτικές

Η Κίνα, με τη δέσμευσή της για κλιματική ουδετερότητα έως το 2060, επιδιώκει τη σταδιακή μείωση των εκπομπών άνθρακα και την επίτευξη μηδενικών καθαρών εκπομπών σε όλους τους τομείς της οικονομίας της. Ο στόχος αυτός, που ανακοινώθηκε το 2020 από τον πρόεδρο Σι Τζινπίνγκ, αποτελεί μια κρίσιμη πρόκληση για την Κίνα, δεδομένου ότι η χώρα αποτελεί τον μεγαλύτερο εκπομπό CO₂ παγκοσμίως. Ωστόσο, η κυβέρνηση έχει δεσμευτεί να αναπτύξει πολιτικές που θα επιταχύνουν τη διείσδυση των ΑΠΕ, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, και θα προωθήσουν την έρευνα και ανάπτυξη σε νέες τεχνολογίες, όπως η αποθήκευση άνθρακα και η υδρογονοκίνηση (Zhao et al., 2022).

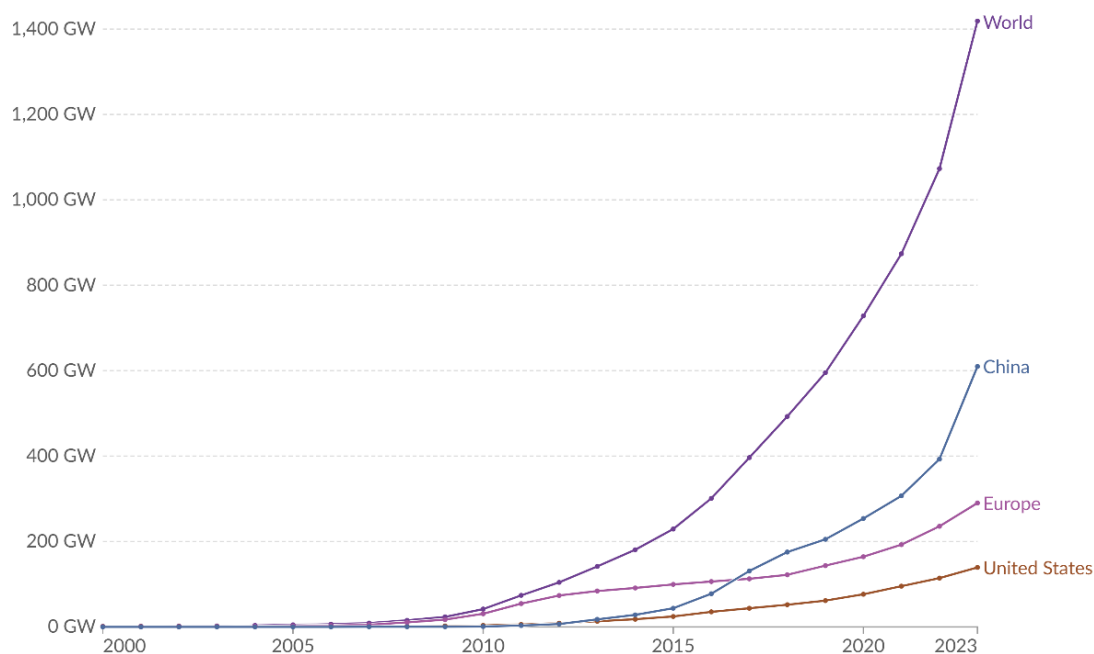
Το 14ο Πενταετές Σχέδιο της Κίνας, το οποίο καλύπτει την περίοδο από το 2021 έως το 2025, έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για τη μείωση της εξάρτησης της χώρας από τα ορυκτά καύσιμα και την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, υποστηρίζοντας τη μακροπρόθεσμη δέσμευση της Κίνας για κλιματική ουδετερότητα έως το 2060. Το σχέδιο αυτό αντικατοπτρίζει τη στρατηγική της Κίνας για την ενίσχυση της ενεργειακής της ασφάλειας και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών καθαρής ενέργειας, ενώ παράλληλα υπογραμμίζει την ανάγκη για οικονομική ανάπτυξη και βιώσιμη ενεργειακή υποδομή. Βασική προτεραιότητα είναι η μείωση της έντασης άνθρακα κατά 18% έως το 2025, σε συνδυασμό με τη μείωση της ενεργειακής έντασης κατά 13,5%, γεγονός που απαιτεί την αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ και τη στήριξη των καινοτόμων τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας (Herburn et al., 2021).

Η πρωτοβουλία της Κίνας για τη διασύνδεση της ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα, γνωστή ως Global Energy Interconnection Initiative (GEI), επιδιώκει την ανάπτυξη ενός δικτύου ενέργειας που θα ενσωματώνει ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο και θα υποστηρίζει τη μετάβαση προς μια πράσινη οικονομία. Στόχος αυτής της πρωτοβουλίας είναι να συνδέσει τις περιοχές παραγωγής ενέργειας, όπως η Κίνα και η Μέση Ανατολή, με μεγάλους καταναλωτές, μειώνοντας έτσι το κόστος και εξασφαλίζοντας σταθερότητα στην τροφοδοσία ενέργειας μέσω ενός παγκόσμιου συστήματος διανομής. Η πρωτοβουλία αυτή στηρίζεται στην εξαγωγή της κινεζικής τεχνογνωσίας και των τεχνολογικών της δυνατοτήτων, ενισχύοντας τη γεωπολιτική της επιρροή στον τομέα της ενέργειας και διαμορφώνοντας τις παγκόσμιες ενεργειακές αγορές με την ενίσχυση των διεθνών διασυνδέσεων. Η εφαρμογή του GEI αναμένεται να μειώσει την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, να ενισχύσει την ενεργειακή ασφάλεια και να συμβάλει στην παγκόσμια μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

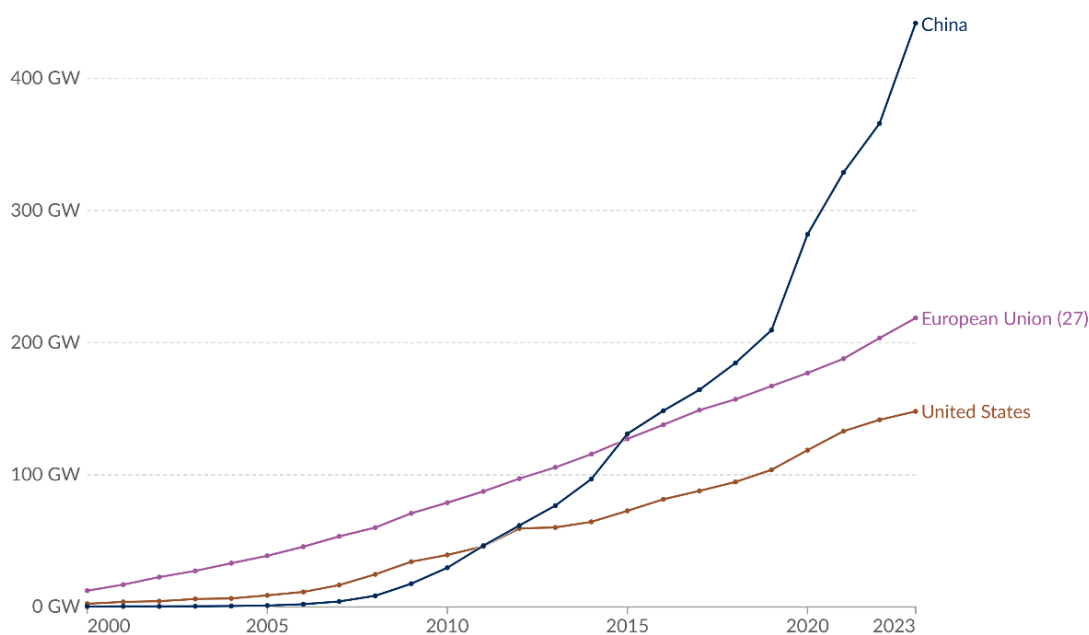
Οι στρατηγικές που έχει θέσει η Κίνα μέσα από το 14ο Πενταετές Σχέδιο, την πρωτοβουλία GEI και τη δέσμευσή της για κλιματική ουδετερότητα αναδεικνύουν την πρόθεση της χώρας να ενισχύσει τη διεθνή της θέση ως πρωτοπόρος στις τεχνολογίες καθαρής ενέργειας, ενώ παράλληλα επιδιώκει να διασφαλίσει την οικονομική της ανάπτυξη και την ενεργειακή της αυτονομία. Οι πρωτοβουλίες αυτές ενθαρρύνουν τις διεθνείς συνεργασίες και συμβάλλουν στην προώθηση μιας παγκόσμιας πράσινης ατζέντας, με στόχο τη δημιουργία ενός βιώσιμου ενεργειακού μέλλοντος για τις επόμενες δεκαετίες.

4.2.2 Η ενεργειακή εξάρτηση της Κίνας από τον Άνθρακα

Η ενεργειακή εξάρτηση της Κίνας από τον άνθρακα παραμένει βαθιά ριζωμένη στην οικονομική και βιομηχανική της υποδομή, παρά την αλματώδη ανάπτυξη που έχει σημειώσει η χώρα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τα τελευταία χρόνια. Αν και η Κίνα αποτελεί τον μεγαλύτερο παραγωγό ηλιακής και αιολικής ενέργειας παγκοσμίως (**Σχήμα 4.2, Σχήμα 4.3**) και επενδύει σημαντικά σε τεχνολογίες καθαρής ενέργειας, ο άνθρακας εξακολουθεί να καλύπτει περίπου το 60% της ενεργειακής της ζήτησης. Αυτή η εξάρτηση από τον άνθρακα αποτελεί μια πολύπλοκη πρόκληση, καθώς, αφενός, η Κίνα έχει δεσμευτεί να επιτύχει κλιματική ουδετερότητα έως το 2060, αφετέρου, η βιομηχανία άνθρακα θεωρείται θεμέλιο της ενεργειακής και οικονομικής σταθερότητας της χώρας, ειδικά στις βιομηχανικές περιοχές και σε απομακρυσμένες επαρχίες που βασίζονται σε αυτόν για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών (International Energy Agency, 2022).



Σχήμα 4.2 Συνολική εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (GW) (OurWorldinData – IRENA, 2024)



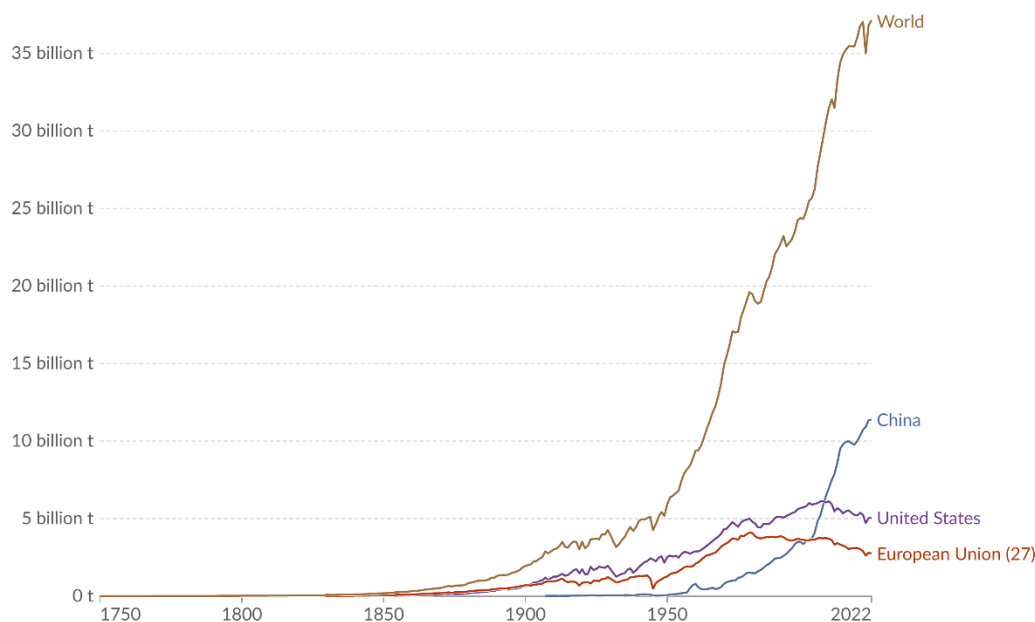
Σχήμα 4.3 Συνολική εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής αιολικής ενέργειας (GW) (OurWorldinData – IRENA, 2024)

Η Κίνα είναι μακράν ο μεγαλύτερος καταναλωτής άνθρακα στον κόσμο, καταναλώνοντας σχεδόν το ήμισυ της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ανάγκη για στήριξη της βαριάς βιομηχανίας, όπως η χαλυβουργία, η τσιμεντοβιομηχανία και η βιομηχανία χημικών, που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον άνθρακα για την παραγωγή

ενέργειας. Επιπλέον, παρά την αυξανόμενη ικανότητα των ΑΠΕ, η αστάθεια της παραγωγής τους οδηγεί τη χώρα να διατηρεί τον άνθρακα ως κεντρικό σημείο του ενεργειακού της μείγματος, παρέχοντας σταθερότητα και ευελιξία στο σύστημα, ειδικά κατά τη διάρκεια περιόδων αυξημένης ζήτησης, όπως ο χειμώνας και το καλοκαίρι. Η ανάγκη για ενεργειακή ασφάλεια ωθεί την κινεζική κυβέρνηση να συνεχίσει την κατασκευή νέων ανθρακικών σταθμών παραγωγής, προκειμένου να διασφαλίσει τη συνεχή τροφοδοσία ενέργειας για την ικανοποίηση των εσωτερικών αναγκών της χώρας (Global Energy Monitor, 2023).

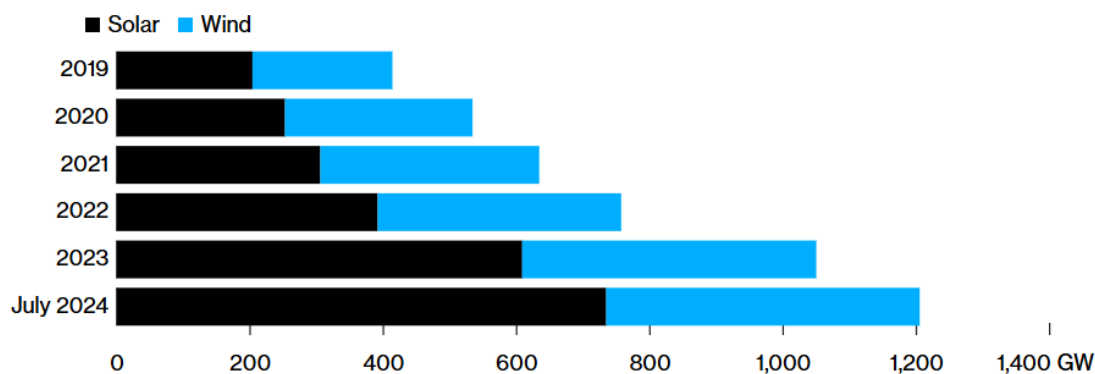
Παράλληλα, οι γεωπολιτικές προκλήσεις και η αβεβαιότητα στις διεθνείς αγορές ενέργειας ενισχύουν την εξάρτηση της Κίνας από τον άνθρακα. Η Κίνα έχει συνειδητοποιήσει ότι η αυξανόμενη εξάρτησή της από τις εισαγωγές πετρελαίου και φυσικού αερίου, ειδικά από την Ασία και τη Μέση Ανατολή, ενέχει κινδύνους για την ενεργειακή της ασφάλεια, καθώς αυτές οι περιοχές είναι ευάλωτες σε γεωπολιτικές συγκρούσεις. Ο άνθρακας, ως ένας από τους κύριους εγχώριους πόρους της χώρας, προσφέρει μια σχετικά σταθερή πηγή ενέργειας που δεν επηρεάζεται άμεσα από εξωτερικούς παράγοντες, ενισχύοντας την ενεργειακή αυτονομία και τη γεωπολιτική στρατηγική της Κίνας. Οι πολιτικές ενθάρρυνσης της παραγωγής άνθρακα και της κατασκευής νέων ανθρακικών σταθμών εξυπηρετούν αυτήν ακριβώς την ανάγκη για εσωτερική ενεργειακή σταθερότητα, παρά τις διεθνείς πιέσεις για απανθρακοποίηση (Global Energy Monitor, 2023).

Η εξάρτηση της Κίνας από τον άνθρακα, ωστόσο, δημιουργεί αντιφάσεις στην εσωτερική και διεθνή πολιτική της για το κλίμα. Αν και η χώρα έχει δεσμευτεί να επιτύχει τις κλιματικές της δεσμεύσεις, συνεχίζει να εγκρίνει την κατασκευή νέων ανθρακικών σταθμών, αυξάνοντας τις εκπομπές CO₂ (**Σχήμα 4.4**). Αυτό εγείρει ανησυχίες για το κατά πόσο η Κίνα μπορεί να επιτύχει τους στόχους κλιματικής ουδετερότητας έως το 2060, καθώς η χρήση άνθρακα πρέπει να μειωθεί δραστικά. Οι διεθνείς παρατηρητές υπογραμμίζουν ότι οι επενδύσεις στην τεχνολογία «καθαρού άνθρακα», όπως η δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα (CCS), μπορεί να είναι κρίσιμες, αλλά η τεχνολογία αυτή παραμένει δαπανηρή και δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί επαρκώς για να εξισορροπήσει την κλιματική επιβάρυνση από την καύση άνθρακα σε ευρεία κλίμακα (European Council of Foreign Relations, 2022).



Σχήμα 4.4 Ετήσιες εκπομπές CO₂ (Global Carbon Budget – OurWorldinData, 2023)

Η ενεργειακή στρατηγική της Κίνας παραμένει ένα δύσκολο παζλ, με στόχο να εξισορροπήσει την ανάπτυξη και τη σταθερότητα με τις διεθνείς δεσμεύσεις για το κλίμα. Ένας από τους στόχους που είχε θέσει η χώρα στις ενεργειακές της δεσμεύσεις το 2020 ήταν να καταφέρει να παράγει 1.200GW από ΑΠΕ έως το 2030. Τον Ιούλιο του 2024, 6 χρόνια πριν την καταλυτική ημερομηνία του στόχου, το Υπουργείο Εθνικής Ενέργειας της Κίνας ανακοίνωσε πως ο στόχος επετεύχθη, με την παραγωγή να φτάνει τα 1.206GW (**Σχήμα 4.5**). Το ποσοστό των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα της Κίνας ακόμα και με αυτούς τους αριθμούς ρεκόρ φτάνει μόλις το 14%.



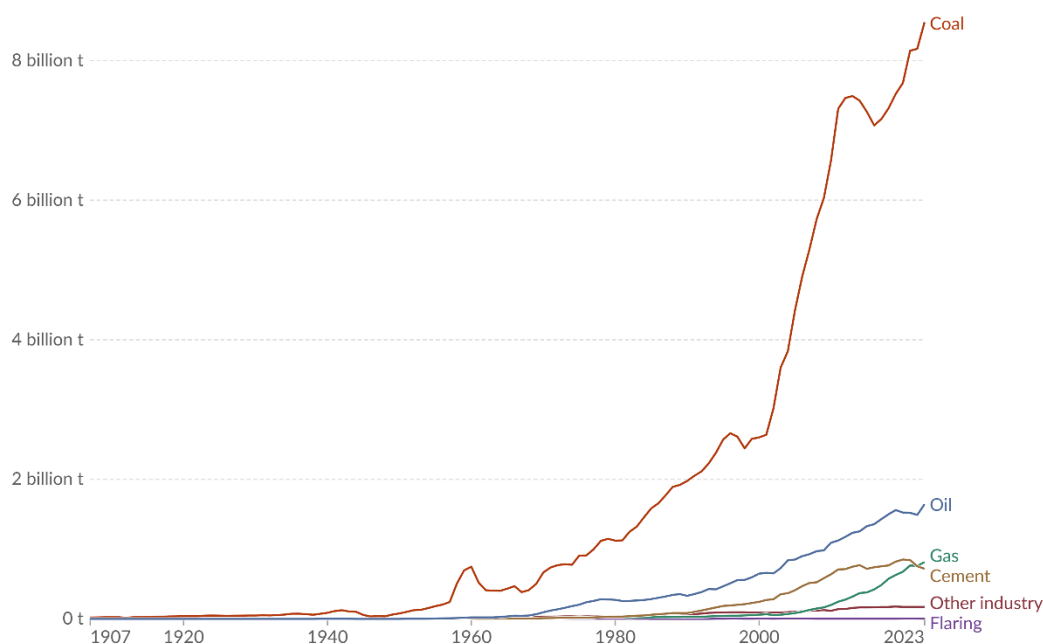
Source: National Energy Administration

Σχήμα 4.5 Παραγωγή GW από ΑΠΕ στην Κίνα 2019 – 2024 (National Energy Administration, 2024)

Ενώ η χώρα συνεχίζει να επενδύει σε ανανεώσιμες πηγές και καινοτόμες τεχνολογίες καθαρής ενέργειας, η μεγάλη εξάρτηση από τον άνθρακα θέτει σημαντικά εμπόδια στην πορεία προς την κλιματική ουδετερότητα, καθώς η Κίνα αντιμετωπίζει την πρόκληση της απόσυρσης από την παραδοσιακή βιομηχανική της βάση, διατηρώντας ταυτόχρονα την οικονομική της ανάπτυξη και την κοινωνική σταθερότητα.

4.2.3 Επιρροή της Κίνας στην παγκόσμια αγορά

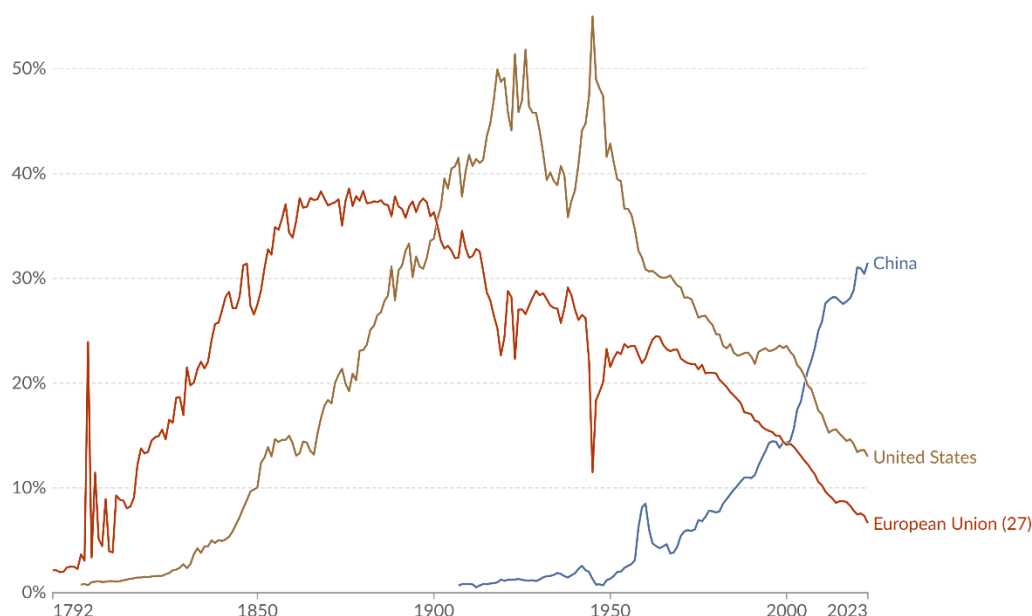
Η Κίνα, παρόλο που επενδύει σημαντικά στην ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και κατέχει την πρώτη θέση παγκοσμίως σε εγκαταστάσεις ηλιακής και αιολικής ενέργειας, συνεχίζει να στηρίζει μεγάλο μέρος της ενεργειακής της παραγωγής στον άνθρακα, αυξάνοντας παράλληλα σε μεγάλο βαθμό και τις εκπομπές της σε CO₂ (**Σχήμα 4.6**). Αυτή η διπλή στρατηγική, αν και προκαλεί αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, παρέχει στην Κίνα ένα σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην παγκόσμια οικονομία, καθώς εξασφαλίζει χαμηλού κόστους ενέργεια που στηρίζει την εκτεταμένη βιομηχανική της βάση. Ο άνθρακας εξακολουθεί να αποτελεί περίπου το 60% του ενεργειακού μείγματος της Κίνας, ενώ η χώρα δεν δείχνει να έχει άμεσα σχέδια να μειώσει δραστικά τη χρήση του. Αντίθετα, συνεχίζει να εγκρίνει την κατασκευή νέων ανθρακικών σταθμών παραγωγής ενέργειας, γεγονός που της επιτρέπει να διατηρεί σταθερή και φθηνή παροχή ενέργειας για τις βιομηχανίες της, οι οποίες αποτελούν τη βάση της παγκόσμιας αλυσίδας αξίας (World Resources Institute, 2022).



Σχήμα 4.6 Εκπομπές CO₂ στην Κίνα ανά καύσιμο ή βιομηχανία, με μέτρηση σε δισεκατομμύρια τόνους, από το 1907 έως το 2023. (Global Carbon Budget – OurWorldinData, 2024)

Η στρατηγική αυτή της Κίνας ενισχύει τη θέση της στην παγκόσμια αγορά, καθώς η φθηνή ενέργεια είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που συμβάλλουν στη μείωση του κόστους παραγωγής και, κατά συνέπεια, στην ανταγωνιστικότητα των κινεζικών προϊόντων. Σε αντίθεση, οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν υιοθετήσει φιλόδοξες πολιτικές για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (**Σχήμα 4.7**), επενδύοντας μαζικά στις ΑΠΕ και θέτοντας στόχους για κλιματική ουδετερότητα. Ωστόσο, αυτές οι περιοχές αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα στην κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών αποκλειστικά από καθαρές πηγές, δεδομένης της διαλείπουσας φύσης των ΑΠΕ και του υψηλού κόστους ανάπτυξης και συντήρησης των υποδομών αποθήκευσης ενέργειας. Η

μετάβαση αυτή έχει αυξήσει το κόστος ενέργειας σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες και στις ΗΠΑ, επιβαρύνοντας τις βιομηχανίες και δημιουργώντας ανταγωνιστικά μειονεκτήματα για τις επιχειρήσεις τους σε σύγκριση με τις κινεζικές, οι οποίες συνεχίζουν να έχουν πρόσβαση σε πιο προσιτή ενέργεια (IEA, 2023).



Σχήμα 4.7 Σύγκριση ετήσιων εκπομπών CO₂ Κίνας – ΗΠΑ – ΕΕ (Global Carbon Budget – OurWorldinData, 2023)

Η Κίνα επωφελείται έτσι από ένα συνδυασμό φθηνής ενέργειας και εκτεταμένων επενδύσεων στις ΑΠΕ, γεγονός που της επιτρέπει να ισορροπήσει μεταξύ περιβαλλοντικών δεσμεύσεων και οικονομικών συμφερόντων. Παρότι οι εκπομπές της παραμένουν υψηλές, η Κίνα διατηρεί ταυτόχρονα έναν από τους πιο γρήγορους ρυθμούς εγκατάστασης ΑΠΕ, κάτι που της επιτρέπει να παρουσιάζει την εικόνα μιας χώρας που είναι δεσμευμένη στην ενεργειακή μετάβαση, ενώ πρακτικά συνεχίζει να επωφελείται από την αξιοποίηση του άνθρακα. Το γεγονός ότι η χώρα διαθέτει μεγάλα αποθέματα άνθρακα και εκτεταμένες υποδομές για τη χρήση του ενισχύει την ικανότητά της να καλύπτει την εσωτερική της ζήτηση χωρίς να εξαρτάται από εισαγωγές ενεργειακών πόρων, κάτι που δεν ισχύει στον ίδιο βαθμό για την Ευρώπη και τις ΗΠΑ (China Energy Portal, 2022).

Αυτή η διπλή προσέγγιση ενισχύει την κινεζική βιομηχανία σε παγκόσμια κλίμακα, αφήνοντας την Ευρώπη και τις ΗΠΑ να αγωνίζονται για την επίτευξη των περιβαλλοντικών τους στόχων, ενώ ταυτόχρονα προσπαθούν να διατηρήσουν την ανταγωνιστικότητά τους. Η μετάβαση σε «πράσινες» πηγές ενέργειας, αν και απαραίτητη για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, συνοδεύεται από υψηλά κόστη, κάτι που επιβαρύνει ιδιαίτερα τις ευρωπαϊκές χώρες, που έχουν υιοθετήσει αυστηρά κλιματικά πρότυπα και εφαρμόζουν φιλόδοξες πολιτικές απανθρακοποίησης. Αυτές οι πολιτικές, αν και σημαντικές για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, δημιουργούν πρόσθετες προκλήσεις για τις ευρωπαϊκές βιομηχανίες, οι οποίες καλούνται να διατηρήσουν την ανταγωνιστικότητά τους σε μια παγκόσμια αγορά που ευνοεί τις φθηνότερες ενεργειακές επιλογές της Κίνας.

Τελικά, η στρατηγική της Κίνας να διατηρεί τη χρήση του άνθρακα και να επενδύει παράλληλα στις ΑΠΕ παρέχει στη χώρα πλεονεκτήματα που την τοποθετούν στην πρώτη θέση στην παγκόσμια αγορά, ενώ παράλληλα της δίνει τη δυνατότητα να επηρεάζει την κατεύθυνση της παγκόσμιας οικονομίας και τις ενεργειακές στρατηγικές άλλων χωρών. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στην Κίνα να συνεχίζει να αναπτύσσεται ταχύτερα, ενώ οι δυτικές χώρες αναζητούν τρόπους να επιτύχουν κλιματική ουδετερότητα χωρίς να διακυβεύσουν την οικονομική τους ανταγωνιστικότητα.

Κεφάλαιο 5: Διαχείριση αθέμιτου ανταγωνισμού και περιορισμός άνθρακα

Η ανάγκη για περιβαλλοντικά βιώσιμη μετάβαση, ως απάντηση στις παγκόσμιες κλιματικές προκλήσεις, αποτελεί ζωτικό παράγοντα για τη διατήρηση του οικοσυστήματος και την ανθρώπινη πρόοδο. Ωστόσο, η διαφορά στις περιβαλλοντικές πολιτικές μεταξύ κρατών δημιουργεί αθέμιτο ανταγωνισμό. Χώρες με χαλαρούς κανονισμούς, όπως η Κίνα, βασίζονται σε φθηνή ενέργεια από άνθρακα, παράγοντας προϊόντα χαμηλότερου κόστους. Αντίθετα, κράτη που τηρούν αυστηρά πρότυπα, όπως οι χώρες της ΕΕ, επιβαρύνονται με υψηλότερα κόστη λόγω των απαιτούμενων επενδύσεων σε πράσινες τεχνολογίες. Αυτή η ασυμμετρία επιδεινώνει τα εμπορικά ελλείμματα, όπως αποδεικνύεται από την αύξηση του ελλείμματος της ΕΕ με την Κίνα το 2022. Ταυτόχρονα, το εμπόριο και η ενέργεια αποτελούν θεμελιώδεις πυλώνες για τη λειτουργία των σύγχρονων οικονομιών, ενώ η μετάβαση σε καθαρές ενεργειακές εναλλακτικές καθίσταται όλο και πιο κρίσιμη για τη βιωσιμότητα.

Η πρόταση για ένα παγκόσμιο σύστημα τιμολόγησης άνθρακα αποτελεί κεντρικό σημείο της στρατηγικής για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Η τιμολόγηση αυτή αποδίδει ένα χρηματικό κόστος στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, ενσωματώνοντας τις κοινωνικές τους επιπτώσεις στις αποφάσεις κατανάλωσης και επενδύσεων. Ωστόσο, η ελλιπής εφαρμογή της αρχής "ο ρυπαίνων πληρώνει" οδηγεί σε υψηλότερα ενεργειακά κόστη για τις χώρες που επενδύουν σε πράσινες πρωτοβουλίες, καθιστώντας τα εγχώρια προϊόντα λιγότερο ανταγωνιστικά στις διεθνείς αγορές (Atsalakis & Zorounidis, 2024). Η ισόρροπη εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος σε παγκόσμιο επίπεδο είναι απαραίτητη για τη δημιουργία βιώσιμων και ανταγωνιστικών οικονομιών που θα συμβάλλουν στη μείωση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και στην επίτευξη περιβαλλοντικών στόχων.

Μια ερευνητική μελέτη του Beccarello Di Foggia (2023) αξιολόγησε την αποτελεσματικότητα του Ευρωπαϊκού Συστήματος Εμπορίας Εκπομπών (ETS) στην επίτευξη δύο βασικών στόχων: τη διατήρηση ανταγωνιστικής ισορροπίας μεταξύ των βιομηχανιών και τη μείωση των συνολικών εκπομπών άνθρακα. Ενώ η μελέτη επιβεβαίωσε σημαντικό θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, που αντικατοπτρίζεται στη σταθερή μείωση των εκπομπών άνθρακα, ανέδειξε επίσης τομείς που χρειάζονται βελτίωση, ειδικά ως προς τον τρόπο που το σύστημα αντιμετωπίζει τις εκπομπές που προέρχονται από δραστηριότητες εκτός Ευρώπης. Από δεδομένα που συλλέχθηκαν από έξι ευρωπαϊκές χώρες μεταξύ 2016 και 2020, η έρευνα αποκάλυψε ότι τομείς που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε εισαγωγές πρώτων υλών από χώρες εκτός Ευρώπης ενδέχεται να αποκτήσουν αθέμιτα ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα, διαστρεβλώνοντας πλήρως το κόστος παραγωγής τους. Η λύση για την αποτροπή τέτοιων ενεργειών έρχεται μέσα από το πρόγραμμα Border Carbon Adjustment που σαν στόχο έχει την να αντιμετωπίσει τη διαρροή άνθρακα και να δημιουργήσει ισότιμους όρους ανταγωνισμού μεταξύ χωρών με διαφορετικά επίπεδα περιβαλλοντικών κανονισμών.

5.1. Στόχος και Λειτουργία του Border Carbon Adjustment (BCA)

Η **διαρροή άνθρακα** είναι ένα φαινόμενο που αναφέρεται στη μετακίνηση παραγωγικών δραστηριοτήτων από χώρες με αυστηρές πολιτικές περιορισμού εκπομπών προς χώρες με λιγότερο αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Αυτό το φαινόμενο αποδυναμώνει την αποτελεσματικότητα των κλιματικών στρατηγικών, καθώς οι παγκόσμιες εκπομπές δεν μειώνονται αλλά μετατοπίζονται γεωγραφικά, δημιουργώντας ανισότητες στην παγκόσμια αγορά. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, έχουν αναπτυχθεί μηχανισμοί όπως ο BCA (Border Carbon Adjustment) και ο CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism), οι οποίοι στοχεύουν στη διασφάλιση της δίκαιης εφαρμογής περιβαλλοντικών κανονισμών και στη διατήρηση του ανταγωνισμού (Böhringer, 2022).

Ο BCA είναι μια γενική προσέγγιση που αφορά τη φορολόγηση ή τη ρύθμιση των εισαγωγών με βάση το ανθρακικό τους αποτύπωμα. Η βασική του λογική είναι να επιβαρύνονται τα προϊόντα που εισάγονται από χώρες με χαμηλά περιβαλλοντικά πρότυπα, ώστε το κόστος των εκπομπών άνθρακα να ενσωματώνεται στο τελικό προϊόν. Αυτό επιτρέπει στις χώρες με αυστηρές περιβαλλοντικές πολιτικές να προστατεύσουν τις εγχώριες βιομηχανίες τους από αθέμιτο ανταγωνισμό, χωρίς να υπονομεύεται η προσπάθεια μείωσης των εκπομπών. Στο πλαίσιο της ΕΕ, ο CBAM αποτελεί την εφαρμογή αυτής της προσέγγισης, επεκτείνοντας το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών (ETS) ώστε να καλύπτει και τις εισαγωγές (Böhringer, 2022).

Ο CBAM λειτουργεί ως μηχανισμός τιμολόγησης άνθρακα για τα εισαγόμενα προϊόντα, επιβάλλοντας δασμούς ή τέλη που αντιστοιχούν στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτουν κατά την παραγωγή τους. Αυτή η διαδικασία διασφαλίζει ότι το κόστος άνθρακα για τα εισαγόμενα αγαθά είναι συγκρίσιμο με αυτό που επιβάλλεται στις εγχώριες βιομηχανίες, αποτρέποντας τη διαρροή άνθρακα. Παράλληλα, παρέχει κίνητρα στις τρίτες χώρες να υιοθετήσουν πιο φιλόδοξες περιβαλλοντικές πρακτικές, καθώς οι επιχειρήσεις τους επηρεάζονται άμεσα από τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς όταν θέλουν να εξάγουν στις αγορές της ΕΕ (Magacho, 2024).

5.2 Πλεονεκτήματα και Προκλήσεις του CBAM

Η υλοποίηση του CBAM ενισχύει τις κλιματικές πρωτοβουλίες, διατηρώντας την ισορροπία μεταξύ περιβαλλοντικής πολιτικής και διεθνούς ανταγωνιστικότητας. Παρόλα αυτά, η εφαρμογή του αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις. Απαιτείται ακριβής καταγραφή και επαλήθευση των εκπομπών κατά την παραγωγική διαδικασία των εισαγόμενων προϊόντων, γεγονός που συνεπάγεται διοικητικές δυσκολίες. Επιπλέον, ενδέχεται να προκύψουν εμπορικές εντάσεις με χώρες που θεωρούν τον μηχανισμό προστατευτισμό, ιδιαίτερα αν δεν συνάδει πλήρως με τους κανόνες του Παγκόσμιου Οργανισμού Εμπορίου (ΠΟΕ) (Magacho, 2024).

Παρά τις προκλήσεις, οι μηχανισμοί όπως ο BCA και ο CBAM αποτελούν βασικά εργαλεία για τη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Προστατεύουν την ανταγωνιστικότητα των βιομηχανιών που συμμορφώνονται με αυστηρά περιβαλλοντικά

πρότυπα και προάγουν την παγκόσμια συνεργασία για τη μείωση των εκπομπών, υποστηρίζοντας την επίτευξη κλιματικών στόχων σε διεθνές επίπεδο.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Η βελτίωση των δικτύων διανομής ενέργειας στην ΕΕ αποτελεί κρίσιμο βήμα για την επίτευξη των στόχων ενεργειακής ουδετερότητας έως το 2050. Η αναβάθμιση των παλαιών υποδομών είναι απαραίτητη για την υποστήριξη της αυξανόμενης διείσδυσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Γραμμές μεταφοράς, υποσταθμοί και τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας πρέπει να ανανεωθούν, ενώ η χρήση έξυπνων δικτύων (smart grids) μπορεί να βελτιώσει τη διαχείριση της ενέργειας και να μειώσει τις απώλειες. Παράλληλα, η ΕΕ χρειάζεται να επενδύσει σε αποκεντρωμένα δίκτυα, όπως τα microgrids, τα οποία μπορούν να ενισχύσουν την ενεργειακή αυτονομία και να εξυπηρετήσουν απομονωμένες περιοχές.

Η γραφειοκρατία και οι καθυστερήσεις στην αδειοδότηση αποτελούν εμπόδιο για την ανάπτυξη των ΑΠΕ και των σχετικών υποδομών. Η δημιουργία ενός πιο ευέλικτου ρυθμιστικού πλαισίου και η ταχύτερη έκδοση αδειών μπορούν να επιταχύνουν την υλοποίηση έργων. Επιπλέον, η ενίσχυση της διασυννοριακής συνεργασίας μεταξύ κρατών-μελών θα προωθήσει την ενοποίηση των ενεργειακών αγορών και θα διασφαλίσει τη βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων. Η χρηματοδότηση αποτελεί, επίσης, κρίσιμο παράγοντα. Η επέκταση προγραμμάτων όπως το Ταμείο Δίκαιης Μετάβασης, σε συνδυασμό με τη συμμετοχή του ιδιωτικού τομέα, θα προσφέρει τους απαραίτητους πόρους για την υλοποίηση αυτών των αλλαγών.

Οι μελλοντικές προοπτικές της ενεργειακής στρατηγικής της ΕΕ περιλαμβάνουν την ανάπτυξη τεχνολογιών αιχμής, όπως το πράσινο υδρογόνο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βιομηχανίες που είναι δύσκολο να απανθρακοποιηθούν, καθώς και για μεταφορές μεγάλων αποστάσεων. Παράλληλα, η Ευρώπη πρέπει να μειώσει την εξάρτησή της από κρίσιμα υλικά και τεχνολογίες που εισάγονται από τρίτες χώρες, προωθώντας την εγχώρια παραγωγή και ανακύκλωση. Η δημιουργία σταθερών και βιώσιμων αλυσίδων εφοδιασμού είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της ενεργειακής ασφάλειας.

Τέλος, ο ρόλος των καταναλωτών είναι κεντρικός στη διαμόρφωση του μέλλοντος της ενέργειας. Η προώθηση ενεργειακών κοινοτήτων, η αυτοπαραγωγή μέσω ΑΠΕ και η υιοθέτηση ενεργειακά αποδοτικών λύσεων μπορούν να ενισχύσουν τη συμμετοχή τους στο ενεργειακό σύστημα. Η ΕΕ πρέπει να επενδύσει στην ενημέρωση και την εκπαίδευση του κοινού, ώστε να ευαισθητοποιήσει τους πολίτες για τη σημασία της βιώσιμης ενέργειας. Με συνδυασμό τεχνολογικής καινοτομίας, χρηματοδοτικής υποστήριξης και κοινωνικής συμμετοχής, η Ευρώπη μπορεί να παραμείνει πρωτοπόρος στην παγκόσμια ενεργειακή μετάβαση, εξασφαλίζοντας παράλληλα δίκαιη και βιώσιμη πρόσβαση στην ενέργεια για όλους.

Κεφάλαιο 7: Βιβλιογραφία

- Kleimann, D., Poitiers, N., Sapir, A., Tagliapietra, S., Véron, N., Veugelers, R., & Zettelmeyer, J. (2023). How Europe should answer the US Inflation Reduction Act. *Bruegel Policy Contribution*, No. 04/2023. Retrieved from <https://econstor.eu>
- Springford, J., & Tordoir, S. (2023, June). *Europe can withstand American and Chinese subsidies for green tech*. Centre for European Reform. Retrieved from <https://cer.eu>
- Kraenzle, H., Rampp, M., Werner, D., Seitz, J., & Sharma, N. (2023). Prediction of the growth of renewable energies in the European Union using time series analysis. *WSEAS Transactions on Computers*, 22, Article 26. Retrieved from <https://wseas.com>
- Tsiropoulos, I., Nijs, W., Tarvydas, D., & Ruiz, P. (2020). *Towards net-zero emissions in the EU energy system by 2050: Insights from scenarios in line with the 2030 and 2050 ambitions of the European Green Deal*. Joint Research Centre, European Commission. Retrieved from <https://build-up.ec.europa.eu>
- Eurelectric, & EY. (2023). *Grids for Speed: A comprehensive examination of investments and enablers needed for an electrified society*. Eurelectric.
- Ritchie, H., & Rosado, P. (2024). *Electricity mix*. Our World in Data. Retrieved from <https://ourworldindata.org>
- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2023). *Energy*. Our World in Data.org. Retrieved from <https://ourworldindata.org>
- European Commission. (n.d.). *A European Green Deal*. Retrieved November 11, 2024, from <https://commission.europa.eu>
- Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (n.d.). *Το σχέδιο REPowerEU με απλά λόγια*. Retrieved from <https://www.consilium.europa.eu>
- Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (n.d.). *Fit for 55: Πώς η ΕΕ σχεδιάζει να ενισχύσει την ανανεώσιμη ενέργεια*. Retrieved from <https://www.consilium.europa.eu>
- European Commission. (n.d.). *Trans-European Networks for Energy (TEN-E)*. Retrieved November 12, 2024, from <https://energy.ec.europa.eu>
- Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. A. (2022). Sustainable energy transition for renewable and low carbon grid electricity generation and supply. *Frontiers in Energy Research*, 9, Article 743114. Retrieved from <https://frontiersin.org>
- Louis, J.-N., Allard, S., Kotrotsou, F., & Debusschere, V. (2020). A multi-objective approach to the prospective development of the European power system by 2050. *Energy*, 191, Article 116539. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116539>

- Ilham, N. I., Hasanuzzaman, M., & Hosenuzzaman, M. (2017). European smart grid prospects, policies, and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 776–790. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.040>
- Tulensalo, J., Seppänen, J., & Ilin, A. (2020). An LSTM model for power grid loss prediction. *Electric Power Systems Research*, 189, Article 106823. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106823>
- Zou, P., Chen, Q., Yu, Y., Xia, Q., & Kang, C. (2017). Electricity markets evolution with the changing generation mix: An empirical analysis based on China 2050 High Renewable Energy Penetration Roadmap. *Applied Energy*, 185, 56–67. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.081>
- Magacho, G., Espagne, E., & Godin, A. (2024). Impacts of the CBAM on EU trade partners: consequences for developing countries. *Climate Policy*, 24(2), 243–259.
- Zhang, H., Zhang, X., & Yuan, J. (2020). Transition of China's power sector consistent with Paris Agreement into 2050: Pathways and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132, Article 110102. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110102>
- Βέττας, Ν., Danchev, S., Μανιάτης, Γ., Παρατσιώκας, Ν., & Βαλάσκας, Κ. (2021, Απρίλιος). *Ο Τομέας Ενέργειας στην Ελλάδα: Τάσεις, προοπτικές και προκλήσεις*. ΔΙΑΝΕΟΣΙΣ. Retrieved from <https://dianeosis.org>
- Wołowiec, T., Kolosok, S., Vasylieva, T., Artyukhov, A., Skowron, Ł., Dluhopolskyi, O., & Sergiienko, L. (2022). Sustainable governance, energy security, and energy losses of Europe in turbulent times. *Energies*, 15(23), Article 8857. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/en15238857>
- Yang, X. J., Hu, H., Tan, T., & Li, J. (2016). China's renewable energy goals by 2050. *Environmental Development*, 20, 83–90. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2016.09.001>
- Kratz, A., & Scazzieri, L. (2023). *A united front: How the US and the EU can move beyond trade tensions to counter China*. European Council on Foreign Relations. Retrieved November 12, 2024, from <https://ecfr.eu>
- Shen, L., Gao, T., & Cheng, X. (2012). China's coal policy since 1979: A brief overview. *Energy Policy*, 40, 274–281. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.054>
- Kober, T., Schiffer, H.-W., Densing, M., & Panos, E. (2020). Global energy perspectives to 2060—WEC's World Energy Scenarios 2019. *Energy Strategy Reviews*, 31, Article 100523. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100523>
- Holechek, J. L., Geli, H. M. E., Sawalhah, M. N., & Valdez, R. (2022). A global assessment: Can renewable energy replace fossil fuels by 2050? *Sustainability*, 14(8), Article 4792. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su14084792>
- Bouckaert, S., Pales, A. F., McGlade, C., Remme, U., ... (2021). *Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector*. International Energy Agency (IEA). Retrieved from <https://trid.trb.org>

European Commission. (2023, October 4). *Commission proposes new rules to enhance product durability and sustainability*. Retrieved November 12, 2024, from <https://ec.europa.eu>

Vezzoni, R. (2023). Green growth for whom, how and why? The REPowerEU Plan and the inconsistencies of European Union energy policy. *Energy Research & Social Science*, 101, Article 103134. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103134>

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). *Renewable energy statistics 2024*. IRENA.

ADMIE. (2022). *Έκθεση βιώσιμης ανάπτυξης [Sustainable Development Report]*. ADMIE. Retrieved from [ADMIE official website](https://www.admie.gr/)

ΕΣΠΑ. (n.d.). *Ταμείο Δίκαιης Μετάβασης (TAM)*. Retrieved from <https://www.espa.gr/el/pages/staticTransitionFund.aspx>

European Commission. (n.d.). *Just Transition Mechanism: Just Transition funding sources*. Retrieved from https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/finance-and-green-deal/just-transition-mechanism/just-transition-funding-sources_en

European Commission. (n.d.). *Net-Zero Industry Act*. Retrieved from https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan/net-zero-industry-act_en

European Commission. (2023). *Grids, the missing link - An EU Action Plan for Grids*. Publications Office of the European Union.

Böhringer, C., Fischer, C., Rosendahl, K. E., & Rutherford, T. F. (2022). Potential impacts and challenges of border carbon adjustments. *Nature Climate Change*, 12(1), 22-29.

World Economic Forum. (2024). *Grid Development in Europe: Five Actions to Strengthen the Business and Economic Case*. World Economic Forum.

European Commission. (2024). *State of the Energy Union Report 2024*. Publications Office of the European Union.

Keen, M., Parry, I., & Roaf, J. (2022). Border carbon adjustments: rationale, design and impact. *Fiscal Studies*, 43(3), 209-234.

De Paola, A., Andreadou, N., & Kotsakis, E. (2023). *Clean Energy Technology Observatory: Smart grids in the European Union—2023 status report on technology development trends, value chains, and markets*. Publications Office of the European Union.

Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ). (n.d.). *ΣΜ6 - Στοιχεία Δικτύου Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας*. Retrieved from <https://www.rae.gr/ilektrismos/diktya/diktyo-metaforas-2/sm6/>

ENTSO-E. (n.d.). *Ten-Year Network Development Plan (TYNDP)*. Retrieved from <https://tyndp.entsoe.eu/>

Kontoleon, G. (2023). *Renewable & Storage Forum: Energy transition and new market conditions for RES and storage*. Presentation at the Renewable & Storage Forum, October 31, 2023.

Atsalakis, G., & Zopounidis, C. (2024). Carbon tariffs and unfair competition. *Royal Academy of Economics and Finance of Spain*. Real Academia de Ciencias Economicas & Financieras, Barcelona. ISBN: 978840961138-6.

ΔΕΔΔΗΕ. (2024). *Σχέδιο Ανάπτυξης Δικτύου 2024–2028*. Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ). Retrieved from <https://deddie.gr>

Bistline, J., Blanford, G., Brown, M., Burtraw, D., ... (2023). Emissions and energy impacts of the Inflation Reduction Act. *Science*. Retrieved from science.org

Sareen, S. (2020). Metrics for an accountable energy transition? Legitimizing the governance of solar uptake. *Geoforum*. Elsevier. Retrieved from [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)

Beyza, J., & Yusta, J. M. (2021). The effects of the high penetration of renewable energies on the reliability and vulnerability of interconnected electric power systems. *Reliability Engineering & System Safety*. Elsevier. Retrieved from [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)

Konstantinou, C. (2021). Toward a secure and resilient all-renewable energy grid for smart cities. *IEEE Consumer Electronics Magazine*. Retrieved from ieeexplore.ieee.org

Wu, Y., Zhang, T., Gao, R., & Wu, C. (2021). Portfolio planning of renewable energy with energy storage technologies for different applications from electricity grid. *Applied Energy*. Elsevier. Retrieved from [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)

Zhuang, P., Zamir, T., & Liang, H. (2020). Blockchain for cybersecurity in smart grid: A comprehensive survey. *IEEE Transactions on Industrial ...*. Retrieved from ieeexplore.ieee.org

Tufail, S., Parvez, I., Batool, S., & Sarwat, A. (2021). A survey on cybersecurity challenges, detection, and mitigation techniques for the smart grid. *Energies*. MDPI. Retrieved from [mdpi.com](https://www.mdpi.com)

Reddy, S. A., & Kumari, M. S. (2024). A review of switching overvoltage modeling in UHV AC transmission lines. *Electric Power Systems Research*. Elsevier. Retrieved from [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)

Ourahou, M., Ayrir, W., Hassouni, B. E. L., & Haddi, A. (2020). Review on smart grid control and reliability in presence of renewable energies: Challenges and prospects. *Mathematics and Computers ...*. Elsevier. Retrieved from [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)

Olabi, A. G., Onumaegbu, C., Wilberforce, T., Ramadan, M., ... (2021). Critical review of energy storage systems. *Energy*. Elsevier. Retrieved from [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)

Peraka, N. S. P., & Biligiri, K. P. (2020). Pavement asset management systems and technologies: A review. *Automation in Construction*. Elsevier. Retrieved from [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)

- Bouhouras, A. S., & Kothona, D. (2022). Distribution network energy loss reduction under EV charging schedule. *Journal of Energy* Wiley Online Library. Retrieved from [wiley.com](https://www.wiley.com)
- Ma, C., Menke, J. H., Dasenbrock, J., Braun, M., & Haslbeck, M. (2019). Evaluation of energy losses in low voltage distribution grids with high penetration of distributed generation. *Applied Energy*. Elsevier. Retrieved from [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)
- Lasseter, R. H. (2002). Microgrids. *2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*. IEEE. Retrieved from ieeexplore.ieee.org
- Hatziargyriou, N., Asano, H., Iravani, R., ... (2007). Microgrids. *IEEE Power and Energy Magazine*. Retrieved from ieeexplore.ieee.org
- Tan, K. M., Babu, T. S., & Ramachandaramurthy, V. K. (2021). Empowering smart grid: A comprehensive review of energy storage technology and application with renewable energy integration. *Journal of Energy* Elsevier. Retrieved from [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)
- Omitaomu, O. A., & Niu, H. (2021). Artificial intelligence techniques in smart grid: A survey. *Smart Cities*. MDPI. Retrieved from [mdpi.com](https://www.mdpi.com)
- Sayed, K., & Gabbar, H. A. (2017). SCADA and smart energy grid control automation. *Smart Energy Grid Engineering*. Elsevier. Retrieved from [researchgate.net](https://www.researchgate.net)
- Kabalci, Y. (2016). A survey on smart metering and smart grid communication. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. Retrieved from [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)
- Dileep, G. (2020). A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable Energy*. Elsevier. Retrieved from [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)
- Alonso, M., Amaris, H., Alcala, D., & Florez, D. M. (2020). Smart sensors for smart grid reliability. *Sensors*. MDPI. Retrieved from [mdpi.com](https://www.mdpi.com)
- Kakran, S., & Chanana, S. (2018). Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. Retrieved from [sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com)
- Falvo, M. C., Martirano, L., Sbordon, D., ... (2013). Technologies for smart grids: A brief review. *2013 12th International* IEEE. Retrieved from ieeexplore.ieee.org
- Palensky, P., & Kupzog, F. (2013). Smart grids. *Annual Review of Environment and Resources*. Annual Reviews. Retrieved from [annualreviews.org](https://www.annualreviews.org)
- Krämer, M., & Senner, J. (2015). A modular software architecture for processing of big geospatial data in the cloud. *Computers & Graphics*, 49, 69-81.
- Mittal, S., Bengio, Y., & Lajoie, G. (2022). Is a modular architecture enough?. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 35, 28747-28760.
- Gao, J., Wang, H., & Shen, H. (2020, May). Smartly handling renewable energy instability in supporting a cloud datacenter. In *2020 IEEE international parallel and distributed processing symposium (IPDPS)* (pp. 769-778). IEEE.

- Kotsiopoulos, T., Sarigiannidis, P., Ioannidis, D., & Tzovaras, D. (2021). Machine learning and deep learning in smart manufacturing: The smart grid paradigm. *Computer Science Review*, 40, 100341.
- Paschalidis, I. C., & Tsitsiklis, J. N. (2000). Congestion-dependent pricing of network services. *IEEE/ACM transactions on networking*, 8(2), 171-184.
- Tielens, P., & Van Hertem, D. (2016). The relevance of inertia in power systems. *Renewable and sustainable energy reviews*, 55, 999-1009.
- Olivella-Rosell, P., Lloret-Gallego, P., Munné-Collado, Í., Villafafila-Robles, R., Sumper, A., Ottessen, S. Ø., ... & Bremdal, B. A. (2018). Local flexibility market design for aggregators providing multiple flexibility services at distribution network level. *Energies*, 11(4), 822.
- Villar, J., Bessa, R., & Matos, M. (2018). Flexibility products and markets: Literature review. *Electric Power Systems Research*, 154, 329-340.
- Barth, A., González, D., Gonzalez, J. L., Hanzlík, V., Pinheiro, G., Tai, H., & Weiss, A. (2024). *How grid operators can integrate the coming wave of renewable energy*. McKinsey & Company.