



Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΕΥΡΙΠΟΥ

Γενικό Τμήμα

*«Ευελιξία συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας για
εξισορρόπηση παραγωγής και ζήτησης,
σε ευφυή δίκτυα με υψηλή διείσδυση ΑΠΕ και
συντονισμό υπηρεσιών δικτύου μεταφοράς και διανομής»*

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΤΟΥ

ΙΩΑΝΝΗ Ν. ΜΕΝΤΗ

Ψαχνά Εύβοιας, Απρίλιος 2023

Σελίδα κενή

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

1. Θεόδωρος Μάρης, Καθηγητής ΕΚΠΑ (Επιβλέπων)
2. Χαράλαμπος Ηλίας, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ (Μέλος 3μελούς επιτροπής)
3. Βασιλική Βήτα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΑΣΠΑΙΤΕ (Μέλος 3μελούς επιτροπής)

Επταμελής Επιτροπή Αξιολόγησης Διδακτορικής Διατριβής

1. Θεόδωρος Μάρης, Καθηγητής ΕΚΠΑ (Επιβλέπων)
2. Χαράλαμπος Ηλίας, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ (Μέλος 3μελούς επιτροπής)
3. Βασιλική Βήτα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΑΣΠΑΙΤΕ (Μέλος 3μελούς επιτροπής)
4. Χρήστος Μανασής, Καθηγητής ΕΚΠΑ (Μέλος 7μελούς επιτροπής)
5. Ιωάννης Κουτσουμπής, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ (Μέλος 7μελούς επιτροπής)
6. Δημήτριος Μπαργιώτας, Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Μέλος 7μελούς επιτροπής)
7. Βασίλειος Νταφόπουλος, Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Μέλος 7μελούς επιτροπής)

Σελίδα κενή

*Αφιερώνεται στον Πνευματικό μου πατέρα
Λαυριώτη Μοναχό Γέροντα Παύλο*

Σελίδα κενή

Περίληψη

Η παρούσα διατριβή πραγματεύεται έναν από τους νεότερους και σημαντικότερους όρους του ενεργειακού κλάδου, τον όρο της ευελιξίας και ειδικότερα την ευελιξία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας για την εξισορρόπηση και ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας στα ευφυή δίκτυα, με μεγάλη διεξόδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και συντονισμό υπηρεσιών δικτύου μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Αρχικά αναφέρονται και αναλύονται διάφοροι ορισμοί του όρου της ευελιξίας στα συστήματα ισχύος και περιγράφονται οι διάφοροι όροι της εξισορρόπησης και διαχείρισης της συμφόρησης που πιθανότατα θα λάβουν χώρα στα συστήματα μεταφοράς και διανομής. Επιπλέον, δίνονται οι έννοιες των διαχειριστών ενέργειας (Διαχειριστές Συστήματος Μεταφοράς και Διανομής) και επισημαίνεται η σπουδαιότητα, του μεταξύ τους συντονισμού για την ομαλή λειτουργία του δικτύου.

Στη συνέχεια αναλύονται, τόσο κάποιες υπηρεσίες δικτύου όσο και διάφορες βελτιωμένες λειτουργίες, συνδυαζόμενες με νέες ψηφιακές λειτουργίες ικανές να ενσωματώσουν ευκολότερα τις ΑΠΕ και να αυξήσουν την ευελιξία του υπάρχοντος συστήματος.

Επιπλέον, περιγράφονται τεχνολογίες έξυπνων δικτύων, όπως είναι η τεχνολογία γραμμής [Dynamic Line Rating – (DLR)], τα πλεονεκτήματα και εφαρμογές αυτών, καθώς και τεχνολογίες και είδη αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες) για παροχή υπηρεσιών δικτύου. Επιπρόσθετα, αναφέρονται οι έννοιες των ενεργών καταναλωτών (prosumers ή active consumers), των Κατανεμημένων Ενεργειακών Πόρων (Distributed Energy Resources-DER) και κατά πόσο μπορούν να παίξουν καθοριστικό ρόλο στην επιπλέον διαχείριση ενός συστήματος ισχύος. Επιπλέον, περιγράφονται κάποιες υπολογιστικές πλατφόρμες και καινοτόμες τεχνολογίες από τα χρηματοδοτούμενα Ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα Horizon 2020 και η ενεργή διαχείριση ενός συστήματος ισχύος [Active System Management – (ASM)] και πώς συμβάλει στην οικονομική και αποδοτική διαχείριση ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος, αναφέρονται τα βασικότερα πιλοτικά προγράμματα ενέργειας που χρηματοδότησε η Ευρωπαϊκή Ένωση σε περιοχές της Ελλάδας, που στόχο έχουν την καλύτερη παροχή ευελιξίας στα συστήματα ισχύος και περιγράφεται η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας μας, καθώς και ερευνητικά έργα που πραγματοποιήθηκαν ή βρίσκονται σε εξέλιξη, με συμμετοχή του ΑΔΜΗΕ.

Abstract

This thesis deals with one of the newest and most important terms in the energy sector, the term flexibility and in particular the flexibility of electricity systems for the balancing and demand of electricity in smart grids, with a large penetration of Renewable Energy Sources and coordination of network services transmission and distribution of electricity.

Initially, various definitions of the term flexibility in power systems are mentioned and analyzed, and various terms of balancing and congestion management that are likely to take place in transmission and distribution systems are described. In addition, the concepts of energy managers [Transmission System Operators-(TSO), and Distribution System Operators-(DSO)] are given and the importance of coordination between them for the smooth operation of the network is highlighted.

Then, both some network services and various improved functions are analyzed, combined with new digital functions able to integrate RES more easily and increase the flexibility of the existing system.

In addition, smart grid technologies such as line technology [Dynamic Line Rating – (DLR)] are described, their advantages and applications, as well as technologies and types of energy storage (batteries) for providing network services. In addition, the concepts of active consumers (prosumers or active consumers), Distributed Energy Resources (DER) and whether they can play a decisive role in the additional management of a power system are mentioned. In addition, some computing platforms and innovative technologies from the financed European programs Horizon 2020 and the active management of a power system [Active System Management – (ASM)] and how it contributes to the economic and efficient management of an electric power system.

Finally, the main pilot energy programs financed by the European Union in regions of Greece are mentioned, which aim to provide better flexibility in the power systems, and the electricity market of our country is described, as well as research projects

that have been carried out or are in progress, with the participation of Independent Power Transmission Operator.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	7
Abstract	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1 Εισαγωγή	15
1.2 Διάρθρωση Διατριβής	16
1.3 Συμβολή – πρωτοτυπία	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	
ΕΥΕΛΙΞΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ	
2.1 Η έννοια της ευελιξίας σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και η μέτρησή της ..	27
2.2 Εξισορρόπηση και διαχείριση συμφόρησης σε συστήματα μεταφοράς και διανομής	34
2.2.1 Ο ρόλος των Διαχειριστών Συστημάτων Διανομής – [Distribution System Operators (DSOs)] και των Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς [Transmission System Operators (TSO)]-Συνεργασία	36
2.2.2 Κατανεμημένοι Ενεργειακοί Πόροι – [Distributed Energy Resources (DER)]	49
2.3 Υπηρεσίες δικτύου, επιχειρηματικά μοντέλα και αγορές	51
2.3.1 Βραχυπρόθεσμη Ευελιξία – Short Term Flexibility	54
2.3.2 Μακροπρόθεσμη Ευελιξία – Long Term Flexibility	56
2.3.3 Βελτιωμένες λειτουργίες.....	57
2.3.4 Πόροι Ευελιξίας	58
2.4 Ευελιξία σε Ευρώπη και Αμερική	66
2.4.1 Ευρώπη.....	68
2.4.2 Αμερική.....	77
2.4.3 Συμπεράσματα.....	79
Βιβλιογραφία - Κεφάλαιο 2.....	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΓΙΑ ΕΥΕΛΙΞΙΑ – ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ	
3.1 Dynamic Line Ratings (DLR) vs Static Line Rating (SLR)	89
3.1.1 Θερμοκρασιακή Μεταβολή ενός Αγωγού	95
3.1.2 Πλεονεκτήματα, Εφαρμογές και Σχετιζόμενες Έννοιες της τεχνολογίας DLR	97
3.1.3 Τεχνολογίες αισθητήρων για τον έλεγχο των ηλεκτρικών παραμέτρων του δικτύου 106	
3.2 Τεχνολογίες αποθήκευσης και ευέλικτου ελέγχου για παροχή υπηρεσιών δικτύου 108	

3.2.1	Μπαταρίες.....	108
3.3	Ενεργοί Καταναλωτές Ηλεκτρικής Ενέργειας – (Prosumers Customers or Active Energy Customers)	109
3.4	Υπολογιστικές πλατφόρμες και καινοτόμες τεχνολογίες από τα ερευνητικά προγράμματα «Horizon 2020»	114
3.4.1	θέματα κατανομής φορτίου και εφεδρειών	114
3.4.2	Συμφωνία συνεργασίας μεταξύ ερευνητικών προγραμμάτων coordiNET και INTERRFACE	121
3.4.3	COORDINET	122
3.4.4	Συμφωνία συνεργασίας μεταξύ ερευνητικών προγραμμάτων coordiNET και INTERRFACE	124
3.4.5	INTERRFACE	125
3.4.6	Ρόλοι και Ευθύνες των projects INTERRFACE και COORDINET	129
3.4.7	Κοινές συστάσεις από τα projects COORDINET & INERRFACE.....	132
	Βιβλιογραφία - Κεφάλαιο 3	134
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο		
ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΙΣΟΡΟΠΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ – ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΣΤΙΣ ΕΥΡΩΠΙΚΕΣ ΑΓΟΡΕΣ		
4.1	Η μελέτη των Ευρωπαϊκών Οργανισμών ASM για τη διαχείριση συμφόρησης και εξισορρόπησης	137
4.1.1	Ενεργή Διαχείριση Συστήματος – ASM (Active System Management).....	138
4.1.2	Προϊόντα και Προσφορές.....	149
4.2	Ελληνική Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	150
4.3	Μοντέλο Στόχου	153
4.4	Η Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα – Ελληνική Νομοθεσία.....	155
4.5	Ερευνητικά Έργα με Συμμετοχή του ΑΔΜΗΕ.....	158
4.5.1	Σταθμός Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Σύστημα Μεταφοράς.....	158
	Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	158
4.5.2	Μονάδα Προηγμένης Τεχνολογίας Ελέγχου Ροής Ενεργού Ισχύος	159
4.5.3	Τεχνολογίες δυναμικής εκτίμησης γραμμής (Dynamic Line Rating, DLR)	160
4.5.4	Συστήματα Μέτρησης, Προστασίας και Ελέγχου Ευρείας Περιοχής (Wide Area Measuring, Protection and Control Systems, WAMPAC)	161
4.6	Περιγραφή OneNet	162
4.7	Μελέτη Σεναρίων Εργασίας στο Ελληνικό Σύστημα με Αξιοποίηση Καινοτόμων Τεχνολογιών.....	165
4.7.1	Ενσωμάτωση Αυξημένης Διείσδυσης ΑΠΕ.....	165
4.7.2	Ενίσχυση Ασφάλειας και Αξιοπιστίας του Συστήματος Μεταφοράς	165
4.7.3	Υλοποίηση Νησιωτικών Διασυνδέσεων	166

4.7.4	Ανάπτυξη Διεθνών Διασυνδέσεων	166
4.7.5	Ενσωμάτωση Υπεράκτιων Πάρκων.....	167
4.8	Ευρωπαϊκό Ρυθμιστικό Πλαίσιο Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας- Ευρωπαϊκή Νομοθεσία Ενέργειας	168
4.8.1	Ευρωπαϊκό Ρυθμιστικό Πλαίσιο Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας	168
4.8.2	Νομοθετικό Ευρωπαϊκό Πλαίσιο.....	170
	Βιβλιογραφία - Κεφάλαιο 4	170
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο		
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΒΟΛΗ		
5.1	Συμπεράσματα	177
5.2	Συμβολή – Πρωτοτυπία	178
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ		
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ	184
	Ξενόγλωσσες.....	184
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - ΕΙΚΟΝΕΣ	186

Σελίδα κενή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που αναδύθηκαν την τελευταία δεκαετία, λόγω πολλών παγκόσμιων αλλαγών, αποτελεί το θέμα της ενέργειας και πώς αυτό μπορούν να το διαχειριστούν καλύτερα, τόσο οι διεθνείς οργανισμοί, η Ευρωπαϊκή Ένωση, τα Κράτη, οι επιχειρήσεις και οι πολίτες.

Το συγκεκριμένο ζήτημα της ενέργειας απέκτησε ακόμη περισσότερο «ενδιαφέρον» για τα περισσότερα κράτη παγκοσμίως, λόγω των προβλημάτων που προέκυψαν εξαιτίας της παρατεταμένης χρήσης ορυκτών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας (προβλήματα κλιματικής αλλαγής) για πολλά χρόνια, καθώς και του πρόσφατου θέματος της έναρξης εχθροπραξιών μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας.

Τα τελευταία χρόνια και λόγω των σημαντικών προβλημάτων που επέφερε η παρατεταμένη χρήση του άνθρακα για την παραγωγή μεγάλων ποσών ενέργειας, προωθήθηκε από την παγκόσμια ενεργειακή κοινότητα η χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (αιολική, ηλιακή, υδροηλεκτρική, βιομάζα). Αυτό επέβαλε την μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ στα ήδη υπάρχοντα συστήματα ισχύος, τα οποία, τις περισσότερες φορές θα έπρεπε είτε να τροποποιηθούν δομικά ή να «ακυρωθούν» και να δημιουργηθούν νέα, έτσι ώστε να είναι ικανά να μπορούν να διαχειριστούν τα μεγάλα παραγόμενα ποσά ενέργειας. Έτσι, έκανε την εμφάνισή του στον ενεργειακό κλάδο, ένας καινούργιος όρος, αυτός της ευελιξίας των συστημάτων ισχύος.

Ο νέος αυτός όρος αποτελεί την κινητήρια δύναμη των νέων συστημάτων ενέργειας. Τα συστήματα ισχύος απαιτείται να είναι ευέλικτα και ικανά, έτσι ώστε να μπορούν να διαχειρίζονται τα μεγάλα ποσά ενέργειας που προσφέρουν οι ΑΠΕ με ασφάλεια, δίνοντάς τους έτσι τη δυνατότητα, ώστε το δίκτυο να βρίσκεται πάντοτε σε ισορροπία, μεταξύ προσφερόμενης και ζητούμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2 Διάρθρωση Διατριβής

Η παρούσα διδακτορική διατριβή διαρθρώνεται ως ακολούθως:

Στο **πρώτο** κεφάλαιο, αναφέρονται εισαγωγικά στοιχεία του τίτλου του θέματος και παρουσιάζεται η διάρθρωση, η συμβολή και η πρωτοτυπία της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Στο **δεύτερο** κεφάλαιο, αναλύεται η έννοια του όρου ευελιξία (Flexibility) στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, αποτυπώνοντας τους ορισμούς αυτής από διάφορες βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις και πώς η ευελιξία είναι δυνατό να ποσοτικοποιηθεί – μετρηθεί. Περιγράφονται και αναλύονται οι όροι της εξισορρόπησης και διαχείρισης της συμφόρησης, που πιθανότατα δύναται να εμφανισθεί στα συστήματα μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο. Επίσης, αναφέρεται και αναλύεται ο νέος ρόλος τόσο των διαχειριστών μεταφοράς ενέργειας (Transmission System Operators – TSO), όσο και εκείνος των διαχειριστών διανομής ενέργειας (Distribution System Operators – DSO) και πώς αυτοί, σε απόλυτη εναρμόνιση των ενεργειών τους και με συνεργασία, μπορούν να αποκτήσουν καθοριστικό ρόλο για την αύξηση της ευελιξίας των δικτύων διανομής, κάτι βέβαια που απαιτεί πέρα από μια καλή συνεργασία και την επένδυση μεγάλων κεφαλαίων προς ενίσχυση του υπάρχοντος δικτύου, για αποφυγή μιας μελλοντικής του συμφόρησης. Επιπρόσθετα, αναλύονται διάφορες υπηρεσίες δικτύου που μπορούν να διευκολύνουν την ενσωμάτωση των ΑΠΕ στα ήδη υπάρχοντα συστήματα ισχύος και διάφορες βελτιωμένες λειτουργίες σε συνδυασμό με τις ψηφιακές τεχνολογίες και τα έξυπνα δίκτυα (smart grids), για το πώς μπορούν να αυξήσουν την ευελιξία των συστημάτων. Τέλος, περιγράφονται τα ενεργειακά άλματα κάποιων ευρωπαϊκών χωρών και των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής στον τομέα της ευελιξίας των συστημάτων τους, καθώς και η μελλοντική τους ενεργειακή πολιτική.

Στο **τρίτο** κεφάλαιο, περιγράφονται τεχνολογίες έξυπνων δικτύων που ήδη εφαρμόζονται [Dynamic Line Rating– (DLR)], τα πλεονεκτήματά τους και οι εφαρμογές αυτών, καθώς και διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας (πχ. μπαταρίες) και ευέλικτου ελέγχου, προς παροχή υπηρεσιών του δικτύου. Επίσης,

αναφέρεται και αναλύεται η σπουδαιότητα των ενεργών καταναλωτών ενέργειας (prosumers), οι οποίοι μπορούν να παίξουν καθοριστικότατο ρόλο στη διαχείριση ενός τοπικού δικτύου. Τέλος, περιγράφονται κάποιες υπολογιστικές πλατφόρμες και καινοτόμες τεχνολογίες από τα ερευνητικά προγράμματα Horizon 2020.

Το **τέταρτο** κεφάλαιο, αναφέρεται στη διαχείριση της συμφόρησης και εξισορρόπησης των ηλεκτρικών συστημάτων, καθώς και στα σενάρια εφαρμογών που λαμβάνουν χώρα στις ευρωπαϊκές αγορές. Αναλύεται η ενεργή διαχείριση ενός συστήματος ισχύος [Active System Management– (ASM)], με σκοπό την πιο οικονομική και αποδοτική διαχείριση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και με ποιό τρόπο μπορεί να εφαρμοσθεί (εργαλεία ενεργής διαχείρισης συστήματος). Επίσης, αναλύονται οι διαφορετικές φάσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη διαδικασία διαχείρισης της συμφόρησης του δικτύου. Αναφέρονται τα πιλοτικά προγράμματα που εκτυλίσσονται στον ελλαδικό χώρο, χρηματοδοτούμενα από το Project OneNet και παρουσιάζεται μια καινοτόμος προσέγγιση αυτού του προγράμματος, που σκοπό έχει την καλύτερη παροχή υπηρεσιών ευελιξίας. Τέλος, περιγράφεται η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας, με την νέα δομή της αγοράς, την ελληνική νομοθεσία ενέργειας και παρουσιάζονται διάφορα ερευνητικά έργα που πραγματοποιήθηκαν ή βρίσκονται σε εξέλιξη, με συμμετοχή του ΑΔΜΗΕ.

1.3 Συμβολή – Πρωτοτυπία

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί η συμβολή της συγκεκριμένης διατριβής στο επιστημονικό πεδίο του ενεργειακού κλάδου, ο οποίος έχει σημαντικότερη ύπαρξη την τελευταία δεκαετία στις ζωές των καταναλωτών, καθόσον οι ΑΠΕ έχουν εισβάλλει σε μεγάλο ποσοστό στο συγκεκριμένο κλάδο.

Η συμβολή-πρωτοτυπία του διδακτορικού, μπορεί πολύ συνοπτικά να συνοψισθεί στα ακόλουθα:

- ✓ Διεξοδική ανάλυση της έννοιας της ευελιξίας στα ηλεκτρικά συστήματα, ξεκινώντας από τα αίτια που καθιστούν απαραίτητη τη διατήρησή της, άλλα και τους συγκεκριμένους πόρους και τεχνολογίες που τη διασφαλίζουν.

Επιπρόσθετα, σφαιρική παρουσίαση όλων των ορισμών, παραμέτρων με ταυτόχρονη δημιουργία ενός αναλυτικού πλάνου εφαρμογής σε διαφορετικές χρονικές περιόδους λειτουργίας και ανάλυσης των ηλεκτρικών συστημάτων.

- ✓ Δημιουργία μιας αναλυτικής χαρτογράφησης των ρόλων που διαδραματίζουν οι διαχειριστές συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, σε περιβάλλοντα με αυξημένη διείσδυση κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (DER' s).
- ✓ Ανάπτυξη μιας ανάλυσης των υπηρεσιών ευελιξίας για τις διάφορες αγορές που παρέχονται, είτε σε βραχυπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα είτε σε μακροπρόθεσμο, δίνοντας τη δυνατότητα καλύτερης διαχείρισης των πόρων, ανάλογα με τις προκλήσεις που εμφανίζονται. Η ανάλυση αυτή επεκτείνεται και στα διαφορετικά χαρακτηριστικά των ενεργειακών αγορών σε Ευρώπη και Αμερική.
- ✓ Διεξοδική ανάλυση των τεχνολογιών που εφαρμόζονται στους αισθητήρες και τα μαθηματικά μοντέλα, για υπολογισμό της πραγματικής χωρητικότητας κατά τη λειτουργία, ώστε να μεγιστοποιείται ο συντελεστής χρησιμοποίησης των γραμμών μεταφοράς, προσφέροντας αυξημένους πόρους ευελιξίας στο κεντρικό δίκτυο.
- ✓ Εντοπισμός και ανάλυση σημαντικών παραδειγμάτων πρωτοποριακών συστημάτων αισθητήρων εγκατεστημένων σε γραμμές μεταφοράς, που συλλέγουν πληθώρα μετρήσεων ηλεκτρικών, περιβαλλοντικών και μηχανικών χαρακτηριστικών από τις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης, ώστε να υπολογίζουν διαρκώς τα πραγματικά περιθώρια μεταφοράς ισχύος.
- ✓ Διατύπωση μιας αναλυτικής χαρτογράφησης των ενεργών καταναλωτών, ανάλογα με τη συνδεσμολογία που έχουν στο δίκτυο, ως prosumers και το ρόλο που διαδραματίζουν στο ηλεκτρικό δίκτυο.
- ✓ Διεξοδική ανάλυση της μαθηματικής μοντελοποίησης του υπολογισμού των πόρων ευελιξίας, μέσω της μαθηματικής βελτιστοποίησης της κατανομής φορτίου και όγκου εφεδρειών, ώστε να γίνεται απόλυτα ευκρινές πώς υπολογίζεται η απαιτούμενη ποσότητα εφεδρειών, ανάλογα με το βαθμό

απροσδιοριστίας της ενέργειας από τις ΑΠΕ και ζήτηση ενέργειας, είτε από βιομηχανίες είτε από απλούς καταναλωτές.

- ✓ Αναφορά – ανάλυση των πρωτοποριακών υπολογιστικών πλατφορμών coordiNET και INTERFACE, που αναπτυχθήκαν στα αντίστοιχα ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα που σχετίζονται με το συντονισμό υπηρεσιών δικτύου, μεταξύ των διαχειριστών μεταφοράς και διανομής (TSO – DSO), για υπηρεσίες εξισορρόπησης και διαχείρισης συμφόρησης.
- ✓ Επέκταση σε βάθος των υπηρεσιών εξισορρόπησης και διαχείρισης συμφόρησης, παρουσιάζοντας αναλυτικές διαδικασίες συντονισμού ενεργειών για τη διαχείριση συμφόρησης και εξισορρόπησης, ανάλογα με τις αρμοδιότητες μεταξύ των διαχειριστών του συστήματος ενέργειας και τους ρυθμιστικούς κανόνες.
- ✓ Παρουσίαση ενός εκτενούς οδικού χάρτη αξιοποίησης καινοτόμων τεχνολογιών για τη βελτίωση της ευελιξίας του ηλεκτρικού δικτύου.

Σελίδα κενή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΕΥΕΛΙΞΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Τα τελευταία χρόνια και ιδιαίτερα την τελευταία δεκαετία, οι ενεργειακές απαιτήσεις αυξήθηκαν σε παγκόσμιο επίπεδο. Ως ενεργειακές απαιτήσεις θεωρούνται εκείνες που αφορούν την κατανάλωση ενέργειας, όχι μόνο από την πλευρά των οικιακών χρηστών αλλά και από τις βιομηχανικές μονάδες, οι οποίες μάλιστα κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο κατανάλωσης ενέργειας. Βέβαια, εύκολα γίνεται κατανοητό ότι αυτές οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες στις χώρες του δυτικού κόσμου¹, απαιτώντας ταυτόχρονα πολύ μεγαλύτερα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας από εκείνα των τριτοκοσμικών χωρών.

Η παραγωγή ποσών ηλεκτρικής ενέργειας βασίζονταν, αρκετά χρόνια πριν, στην χρήση ορυκτών καυσίμων και για αυτό το λόγο υπήρχε από παλαιότερα ένα είδος ενεργειακής ασφάλειας για τις εταιρίες που διαχειρίζονταν την ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό δημιουργούσε και ακόμη δημιουργεί μια ασφάλεια στους καταναλωτές, οι οποίοι πίστευαν, λόγω των τεράστιων αποθεμάτων λιγνίτη, ότι θα έχουν ενεργειακή επάρκεια για πολλά ακόμη χρόνια.

Αυτό οδήγησε τη βιομηχανία παραγωγής ενέργειας στο σχεδιασμό ηλεκτρικών συστημάτων ισχύος, με γνώμονα την υπεπληθώρα ποσοτήτων λιγνίτη και φυσικού αερίου. Βέβαια, εάν τα ηλεκτρικά συστήματα είχαν κατασκευαστεί σε έναν κόσμο χωρίς μεγάλες ποσότητες άνθρακα, πετρελαίου ή φυσικού αερίου για να τροφοδοτήσουν την αποστολή της παραγωγής, τα συστήματα ισχύος θα είχαν σχεδιαστεί πολύ διαφορετικά [1].

Βέβαια, η χρήση λιγνίτη, ως συμβατικό καύσιμο από τα περισσότερα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είχε αρκετές περιβαλλοντικές συνέπειες, κάτι που

¹ χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ΗΠΑ, στις οποίες το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων είναι περισσότερο αναβαθμισμένο συγκριτικά με εκείνο των υπό-αναπτυσσόμενων χωρών, όπως συμβαίνει στις περισσότερες Αφρικανικές χώρες.

προκάλεσε σοβαρές αρνητικές συνέπειες στο κλίμα του πλανήτη μας και ανάγκασε πολλά κράτη να δράσουν άμεσα με σκοπό την προστασία του.

Έτσι, με το πέρασμα των χρόνων, λόγω πολλών παραγόντων (ρύπανση περιβάλλοντος, μείωση των ορυκτών καυσίμων, κλιματική αλλαγή) το ενεργειακό πλαίσιο άλλαξε, δίνοντας τη θέση του σε πιο καθαρές μορφές παραγωγής ενέργειας, όπως είναι οι ΑΠΕ.

Την τελευταία δεκαετία οι ΑΠΕ², στις οποίες εντάσσεται η ηλιακή, αιολική υδροηλεκτρική κ.λπ., έχουν αποδείξει την ενεργειακή τους αξία πολλές φορές, με το βασικό τους πλεονέκτημα να παραμένει η παραγωγή ενέργειας με μηδενικό περιβαλλοντικό κόστος και χαμηλό κόστος συντήρησης των μονάδων. Από τα διάφορα είδη των ΑΠΕ, το μεγαλύτερο μερίδιο καταλαμβάνει η αιολική και ηλιακή, με αποτέλεσμα οι περισσότερες έρευνες αναβάθμισης των ΑΠΕ στα συστήματα ισχύος να εστιάζουν σε αυτές τις δύο μορφές, χωρίς όμως να αποκλείονται συνεχείς έρευνες επέκτασης και μελέτης και των άλλων μορφών. Επισημαίνεται, ότι οι ΑΠΕ έχουν πολύ χαμηλότερο κόστος συντήρησης και κατασκευής, συγκριτικά με τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας.

Το κόστος παραγωγής ενέργειας από τις ΑΠΕ μειώθηκε ραγδαία την τελευταία δεκαετία, σε σημείο όπου το κόστος 1kWh ενέργειας που παράγεται από χερσαία αιολικά και ηλιακά πάρκα μπορεί να ανταγωνισθεί την παραγωγή από συμβατικούς σταθμούς παραγωγής άνθρακα ή φυσικού αερίου, με γνώμονα αυτό το κόστος να μειωθεί ακόμη περισσότερο με την βοήθεια σύγχρονων συστημάτων ΑΠΕ [1].

Το νέο αυτό ενεργειακό δρόμο, μέρα με τη μέρα ενστερνίζονται πολλά κράτη παγκοσμίως, χαράσσοντας νέες πολιτικές και δαπανώντας τεράστια οικονομικά ποσά με σκοπό την έρευνα και τον εκσυγχρονισμό του ενεργειακού τους κλάδου, διαδικασία όχι και πολλή εύκολη, καθόσον απαιτείται απόλυτος συντονισμός και συνεργασία από τα κράτη.

² την τελευταία δεκαετία έχουν δημοσιευθεί περίπου 180 επιστημονικά άρθρα σχετικά με την τεχνική σκοπιμότητα και την οικονομική βιωσιμότητα των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία λειτουργούν πλήρως σε ποσοστό 100% με χρήση των ΑΠΕ, εκ των οποίων περίπου 80 τα τελευταία δύο χρόνια, επισημαίνοντας με αυτό τον τρόπο η μεγάλη σημασία των ΑΠΕ στα συστήματα παροχής ενέργειας [2].

Χαρακτηριστικά, αναφέρεται το παράδειγμα την Λαϊκής Δημοκρατίας της Κίνας³, όπου πέραν των κλασικών μεθόδων παραγωγής ΑΠΕ (αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα), βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας με την τοποθέτηση επιδαπέδιων ηλιακών πάνελ κατά μήκος των δρόμων κυκλοφορίας. Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου, συγκριτικά με τη χρήση και τοποθέτηση των συμβατικών πάνελ σε τεράστιες υπαίθριες περιοχές έκτος κατοικήσιμων περιοχών, είναι η εύκολη και γρήγορη εκμετάλλευση της παραχθείσας ηλιακής ενέργειας χωρίς απώλειες, καθώς επίσης και η άμεση μεταφορά-χρήση αυτής της ενέργειας από τους καταναλωτές των μεγάλων πόλεων της χώρας.

Βέβαια, επισημαίνεται ότι οι ΑΠΕ ως νέες μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στην προστασία του περιβάλλοντος, επηρεάζονται σημαντικά από τις κατά τόπους μετεωρολογικές συνθήκες, όπου είναι εγκατεστημένα τα συστήματά τους (φωτοβολταϊκά πάνελ, ανεμογεννήτριες κ.λπ.), παράμετρος η οποία δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου τα συμβατικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για αυτό το λόγο η κατάλληλη επιλογή της τοποθεσίας των συστημάτων των ΑΠΕ είναι κρισιμότητα, όπου απαιτείται η εκτέλεση δοκιμών με τη βοήθεια ειδικών προσομοιωτών που θα καταδείξουν τις βέλτιστες περιοχές τοποθέτησή τους βάσει των καιρικών συνθηκών, με ταυτόχρονη όμως εξυπηρέτηση των αναγκών.

Τα ορυκτά καύσιμα, ενώ αποτελούν εδώ και πολλά χρόνια μια αξιόπιστη πηγή με εύκολη πρόσβαση σε επαρκή ποσά ηλεκτρικής ενέργειας έχοντας θετική επίδραση στην κοινωνία (θέσεις εργασίας για πολλούς πολίτες των περιοχών), η μέθοδος εξόρυξή τους αποτελεί κομβικό σημείο την τελευταία πενταετία [3].

Ενώ όμως αποτελούν μια αξιόπιστη πηγή, μελέτες αναφέρουν ότι στις συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οφείλεται το 43% των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα [3], διαδικασία που προκαλεί τεράστια ρύπανση του περιβάλλοντος. Για αυτό το λόγο σήμερα υπάρχει μια παγκόσμια τάση μετάλλαξης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα στις ΑΠΕ

³ η Κίνα θεωρείται η χώρα με το μεγαλύτερο ποσό κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως

με σκοπό να υπάρξει καλύτερη οικονομική και περιβαλλοντική αξιοποίησή τους (π.χ. βιωσιμότητα της ενέργειας και καλύτερος χειρισμός της κλιματικής αλλαγής).

Όπως προαναφέρθηκε, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από έναν συνδυασμό κλιματολογικών και κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων, όπως ο τοπικός καιρός, η εποχή του έτους, το επίπεδο εκβιομηχάνισης κ.λπ. [4]. Οι κατά τόπους μετεωρολογικές συνθήκες, οι οποίες άλλοτε ευνοούν την παραγωγή μεγάλων ποσών ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. ηλιοφάνεια και ισχυροί άνεμοι) και άλλοτε όχι (π.χ. συννεφιά και άπνοια), εισάγουν μια καινούργια έννοια στον ενεργειακό κλάδο, την έννοια της μεταβλητότητας. Για το λόγο αυτό είναι επιτακτική η ανάγκη αντιμετώπισης αυτής της μεταβλητότητας μέσω κατάλληλων ευέλικτων συστημάτων, τα οποία μπορούν με αποτελεσματικό τρόπο να ενσωματώσουν στο δίκτυό τους τεράστια παραγόμενα ποσά ενέργεια προερχόμενα από τις ΑΠΕ και ιδιαίτερα τα τελευταία πέντε χρόνια, όπου ο αντίκτυπος της ηλιακής και αιολικής μεταβλητότητας έχει αρχίσει να γίνεται αισθητός σε μια σειρά συστημάτων ισχύος [4].

Η μεταβλητότητα των ΑΠΕ αυξάνει ραγδαία τη ζήτηση ευέλικτων συστημάτων, εισάγοντας με τη σειρά της την έννοια της ευελιξίας για τη δημιουργία ενός πιο δυναμικού συστήματος [1]. Βέβαια, το δυναμικό αυτό σύστημα δεν θα πρέπει να εξαιρέσει την παρουσία των πιο συμβατικών μονάδων παραγωγής, μέχρις ότου οι ΑΠΕ μπορέσουν να παρέχουν ενεργειακή κάλυψη σε ποσοστό 100% της απαιτούμενης ζήτησης, κάτι που έχει προβλεφθεί στην ενεργειακή πολιτική χάραξη πολλών Ευρωπαϊκών Κρατών και πιθανότατα, για την κάλυψη του ολοκληρωτικού ποσοστού, να απαιτηθεί μεγάλο χρονικό διάστημα.

Επομένως, για πρώτη φορά εισάγονται οι νέοι όροι της ευελιξίας (Flexibility) και των ευέλικτων συστημάτων (Flexibility on energy systems) στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Κάποια ζωντανά παραδείγματα ευελιξίας αποτελούν οι μεγάλοι μεγέθους μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας, οι εναέριες γραμμές μεταφοράς (Dynamic Lines Rating), ειδικά λειτουργικά προγράμματα ελέγχου αυτών των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι οι αισθητήρες ελέγχου γραμμών κ.λπ..

Παραδοσιακά, τα παλαιότερα συστήματα ισχύος δεν είχαν την ανάγκη ενσωμάτωσης των ΑΠΕ (καθόσον οι ΑΠΕ δεν ήταν διαδεδομένες) και ως εκ τούτου σχεδιαζόντουσαν για να ενσωματώσουν-αντιμετωπίσουν ένα είδος μεταβλητότητας και αβεβαιότητας που δεν σχετίζονταν με τις ΑΠΕ [4].

Με το πέρασμα των χρόνων και την εμφάνιση στο ενεργειακό προσκήνιο των ΑΠΕ, γεννήθηκε η ανάγκη να αντιμετωπιστεί αυτή η μεταβλητότητα των ΑΠΕ, αποτελώντας βασική ενεργειακή πρόκληση (αύξηση χωρητικότητας δικτύου, διαχείριση συμφόρησης του συστήματος ισχύος, μεταβλητότητα τάσης, υπερφόρτωση δικτύων κ.λπ.) για τις περισσότερες χώρες του κόσμου, με απώτερο στόχο τη διαχείριση μεγαλύτερων ποσών ηλεκτρικής ενέργειας και την ταυτόχρονη αποφυγή ενεργειακής συμφόρησης του δικτύου [5].

Βέβαια, σωστή διαχείριση των δύο προαναφερθεισών εννοιών, τόσο της αβεβαιότητας όσο και της μεταβλητότητας αποτελούσε, αποτελεί και θα αποτελεί βασική παράμετρο στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των μελλοντικών συστημάτων ισχύος [6]. Επομένως, θα απαιτηθεί από τις χώρες που στρέφονται τα τελευταία χρόνια στη χρήση των ΑΠΕ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, να χαράξουν μια συγκεκριμένη ενεργειακή πολιτική, η οποία θα βοηθήσει αναίμακτα σε αυτή την ενσωμάτωση (π.χ. οι πιο φτωχές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης να χρηματοδοτηθούν για την εγκατάσταση περισσότερων ανεμογεννητριών, φωτοβολταϊκών πάνελ κ.λπ.).

Από τα ανωτέρω συμπεραίνεται ότι η μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ στα συστήματα ισχύος, δίνει τη δυνατότητα παραγωγής τεράστιων ποσών ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία όμως απαιτείται να διαχειριστούν με κατάλληλο τρόπο από τα συστήματα ισχύος. Αυτός ο κατάλληλος τρόπος εισάγει την έννοια της ευελιξίας.

Σε αυτό το σημείο τίθεται το βασικό ερώτημα, ποιό σύστημα χαρακτηρίζεται ως ευέλικτο. Η απάντηση στο συγκεκριμένο ερώτημα όσο δύσκολη φαίνεται, τόσο απλή είναι.

Ως ευέλικτα θεωρούνται εκείνα τα συστήματα ισχύος, τα οποία έχουν την ικανότητα να εξισορροπούν κάθε χρονική στιγμή, τα παρεχόμενα (όχι μόνο τα προερχόμενα

από τις ΑΠΕ) ποσά ενέργειας με εκείνα που μπορεί να απαιτούνται κάθε φορά τόσο από τους οικιακούς καταναλωτές όσο και από τις μεγάλες βιομηχανίες και εργοστάσια. Άλλοτε, τα παραγόμενα ποσά ενέργειας, προερχόμενα από τις ΑΠΕ, είναι μεγάλα (λόγω ευνοϊκών καιρικών συνθηκών), ενώ ταυτόχρονα η ζήτηση από τους χρήστες (οικιακούς καταναλωτές, βιομηχανίες) μπορεί να είναι μικρή και αντιστρόφως. Επομένως, τα συστήματα ισχύος απαιτείται να έχουν την ικανότητα – ευελιξία διαχείρισης και εξισορρόπησης κάθε χρονικής στιγμής των προσφερόμενων ποσών ενέργειας με εκείνα που απαιτούνται, ώστε το δίκτυο να παραμένει σε κατάσταση ισορροπίας, δηλαδή να παρέχεται ενεργειακή ασφάλεια.

Παρόλο που η έννοια της ευελιξίας συνδέεται άμεσα με τη διείσδυση των ΑΠΕ (σχετικά νέα μορφή παραγωγής ενέργειας) στα συστήματα ισχύος, δεν αποτελεί όπως προαναφέραμε, καινούργια έννοια.

Όλα τα συστήματα ισχύος, από τα παλαιότερα μέχρι και εκείνα των τελευταίων ετών απαιτείται, για λόγους ασφαλείας του δικτύου να έχουν κάποιο επίπεδο ευελιξίας, ικανό να εξισορροπεί κάθε χρονική στιγμή την προσφορά με τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, οι έννοιες της μεταβλητότητας και της αβεβαιότητας των συστημάτων ισχύος δεν αποτελούν και αυτές καινούργιες έννοιες, λόγω του ότι τα ηλεκτρικά φορτία αλλάζουν και αυτά με το πέρασμα των χρόνων, με απρόβλεπτο τρόπο τις περισσότερες φορές, πράγμα στο οποίο δεν μπορούν να ανταποκριθούν κατάλληλα τα συμβατικά παλαιά συστήματα. Επομένως, γίνεται εύκολα κατανοητό ότι το έργο της εξισορρόπησης της ενέργειας, μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, γίνεται όλο και πιο δύσκολο [3].

Επομένως, στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη η ανάλυση του όρου της ευελιξίας στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, ο όρος της εξισορρόπησης και αξιοπιστίας ως ικανότητα των συστημάτων ισχύος, τα επιχειρηματικά μοντέλα και οι αγορές ικανά να «δεχθούν» ομαλότερα τη μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ στα ήδη υπάρχοντα συστήματα ισχύος.

Τέλος, είναι απαραίτητη μια εκτενής ανάλυση του ισχύοντος ενεργειακού καθεστώτος για τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και των ΗΠΑ, αναφορικά με

τις μελέτες-έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για νέα ευέλικτα συστήματα που είναι ικανά να εξισορροπήσουν την προσφορά και ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χρονική στιγμή. Σημειώνεται, ότι αυτή η μεγάλη ενεργειακή μεταρρύθμιση ώθησε πολλά διεθνή πανεπιστημιακά ιδρύματα και ενεργειακούς οργανισμούς, να μελετήσουν και δημοσιεύσουν πολλά άρθρα αναφορικά με τις νέες έννοιες της ευελιξίας, της μεταβλητότητας-αβεβαιότητας των ΑΠΕ και της εξισορρόπησης των ενεργειακών συστημάτων.

2.1 Η Έννοια της Ευελιξίας σε Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας και η Μέτρησή της

Η έννοια της ευελιξίας, παρόλο που τα τελευταία χρόνια παίρνει σάρκα και οστά, είναι δύσκολο να ορισθεί επακριβώς. Ενώ κατά καιρούς έχουν δημοσιευτεί σε διεθνή περιοδικά διάφοροι ορισμοί της, οι επιστήμονες δεν έχουν καταλήξει σε έναν κοινά αποδεκτό ορισμό, λόγω της πολυδιάστατης φύσης της. Για ορισμένους αντιμετωπίζεται ως ιδιότητα των συστημάτων ισχύος, για άλλους ως ένας οικονομικός δείκτης και για άλλους ως εργαλείο στρατηγικής [7].

Γενικά, ο όρος της ευελιξίας μπορεί να διαχωριστεί σε δύο βασικές κατηγορίες: την φυσική και τη δομική-επιχειρησιακή ευελιξία.

Η φυσική ευελιξία (Physical Flexibility) εστιάζει στη φυσική ικανότητα του συστήματος να ανταποκρίνεται τόσο στη ζήτηση όσο και σε οποιαδήποτε απαιτούμενη, αλλά όχι επαρκή αλλαγή της παραγωγής για μια ευέλικτη λειτουργία του συστήματος ισχύος.

Η δομική-επιχειρησιακή ευελιξία (Structural Flexibility) είναι η ικανότητα εκμετάλλευσης της φυσικής ευελιξίας μέσω επιχειρησιακών οδηγιών ή διαδικασιών της αγοράς [8, 6]. Εάν η παροχή της ευελιξίας από κάποια πηγή βασίζεται στα φυσικά χαρακτηριστικά της πηγής, τότε κατηγοριοποιείται ως Physical Flexibility (π.χ. ευέλικτες συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας), ενώ κατασκευαστικές επιλογές, όπως η βελτίωση του σχεδιασμού των δικτύων και της αγοράς, παρέχουν ευελιξία κυρίως μέσω του σχεδιασμού της αγοράς ή επιχειρησιακών διαδικασιών.

Ιδιαίτερα, μελετώντας τα συστήματα ισχύος, ο όρος της «ευελιξίας – Flexibility» αποτελεί μια καινοτομία του 21^{ου} αιώνα, η οποία είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη μεγάλη διείσδυση σε αυτά των ΑΠΕ [9].

Όπως έχει προαναφερθεί, τα τελευταία χρόνια εξελίσσεται μια τεράστια προσπάθεια χάραξης συγκεκριμένων πολιτικών από πολλές κυβερνήσεις χωρών ανά τον κόσμο, μεταστροφής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από τη χρήση ορυκτών καυσίμων στην εκμετάλλευση των ΑΠΕ [8]. Για αυτό το λόγο και με σκοπό να αντληθούν στο μέγιστο δυνατό βαθμό τα οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των πόρων που προκύπτουν από τη χρήση των ΑΠΕ (όπως είναι η ενεργειακή βιωσιμότητα και η σωστή αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής), περισσότερες από 173 χώρες ανά τον κόσμο έχουν προβεί σε μια ολοκληρωμένη μελέτη – επισκόπηση των πλεονεκτημάτων που προσφέρει η σωστή χρήση των ΑΠΕ [10].

Η σχετιζόμενη βιβλιογραφία μελέτης, αναφορικά του όρου «Ευελιξία – Flexibility» στα συστήματα ισχύος είναι αρκετά εκτεταμένη, αλλά όχι αρκετά συγκεκριμένη για ποικίλους λόγους.

Επίσης, στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί πολλοί διαφορετικοί ορισμοί προερχόμενοι είτε άμεσα από το βιομηχανικό/εταιρικό περιεχόμενο με το οποίο σχετίζεται η ευελιξία (μεγάλα απαιτούμενα ποσά ενέργειας) ή πιθανό να προέρχονται από γενικότερους ορισμούς που εμπνέονται και από άλλες επιστήμες (όπως θερμοδυναμική, βιολογία, θεωρία συστημάτων κ.α.).

Συνοψίζοντας τις μελέτες των τελευταίων χρόνων που εστιάζουν στον καθορισμό του νέου αυτού όρου της ευελιξίας στα συστήματα ισχύος, στα διάφορα είδη της και στους τρόπους μέτρησής της, ένας μεγάλος όγκος δημοσιεύσεων δίνει διάφορους ορισμούς της έννοιας, ορίζοντας την ευελιξία ως εξής:

- *Η ικανότητα ενός συστήματος ισχύος να εκμεταλλευτεί όλους τους ενεργειακούς πόρους με σκοπό να ανταποκριθεί στις αλλαγές ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας [11].*

- Η ικανότητα ενός συστήματος να προσαρμόζει κάθε χρονική στιγμή την παραγωγή και ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας «ως απάντηση» μιας ακούσιας ή εκούσιας ενεργειακής αλλαγής [12].
- Η ικανότητα ενός συστήματος να μπορεί να ανταποκριθεί κάθε χρονική στιγμή στις αλλαγές ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας [13].
- Η ικανότητα ισχύος που σκοπό έχει την τροποποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις εκάστοτε μεταβολές αυτής [14].
- Η ικανότητα ενός συστήματος να αντιμετωπίζει τις διάφορες αβεβαιότητες διατηρώντας την αξιοπιστία του, με το ελάχιστο δυνατό οικονομικό κόστος [15].
- Η ικανότητα ενός συστήματος ισχύος να ανταποκρίνεται κάθε χρονική στιγμή τόσο στη ζήτηση όσο και στην παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια, αποτελώντας ταυτόχρονα βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων [9].
- Η ικανότητα ενός συστήματος ισχύος να διαχειρίζεται αξιόπιστα και αποτελεσματικά το κόστος της μεταβλητότητας και αβεβαιότητας της ζήτησης και προσφοράς της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χρονική στιγμή [16].
- Η ικανότητα προσαρμογής ενός συστήματος ισχύος με γρήγορο τρόπο και λογικό οικονομικό κόστος, σε οποιαδήποτε προγραμματισμένη ή μη αλλαγή [17].
- Η δυνατότητα τροποποίησης της παραγωγής ή και κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, σε αντίδραση μιας ενεργειακής απαίτησης για την παροχή μιας υπηρεσίας εντός του ενεργειακού συστήματος ισχύος [18].
- Η ικανότητα προσαρμογής σε δυναμικές και μεταβαλλόμενες συνθήκες, όπως είναι η εξισορρόπηση της προσφερόμενης ή ζητούμενης ηλεκτρικής ενέργειας ανά ώρα ή ανά λεπτό και η ανάπτυξη νέων ποσών παραγωγής ή πόρων μεταφοράς εντός χρονικής περιόδου ενός έτους [19].
- Η διαχείριση ενός στοιχείου που μπορεί να επηρεάσει την ισορροπία του συστήματος ή την ισχύ του δικτύου [20].

- Η ικανότητα ενός συστήματος ισχύος να μπορεί να τροποποιεί την παραγωγή ή την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας «σε απάντηση» της αναμενόμενης ή μη μεταβλητότητας. Επίσης εκφράζει την ικανότητα ενός συστήματος ισχύος να διατηρεί αξιόπιστη τροφοδοσία σε περίπτωση γρήγορης και μεγάλης ανισορροπίας φορτίου, μη λαμβάνοντας υπόψη την αιτία που μπορεί να την προκάλεσε [6].
- Η ικανότητα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας να ανταποκρίνεται σε αλλαγές που μπορούν να επηρεάσουν την ισορροπία προσφοράς και ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χρονική στιγμή [21].
- Όλα τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος ισχύος που διευκολύνουν την αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική διαχείριση της μεταβλητότητας και αβεβαιότητας τόσο στην προσφορά όσο και στη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας [22].
- Η ικανότητα ενός συστήματος ισχύος να αντιμετωπίζει την αβεβαιότητα και μεταβλητότητα που εισάγει η τεράστια διείσδυση των ΑΠΕ στα συστήματα ισχύος, από το πολύ βραχυπρόθεσμο έως το πολύ μακροπρόθεσμο χρονικό διάστημα, παρέχοντας αξιοπιστία και ασφάλεια στους καταναλωτές [23].
- Η ικανότητα αντιμετώπισης της μεταβλητότητας και αβεβαιότητας στο ισοζύγιο παραγωγής ηλεκτρικού φορτίου, διατηρώντας παράλληλα ικανοποιητικά επίπεδα απόδοσης για οποιαδήποτε χρονική κλίμακα [24].
- Η ικανότητα του συστήματος να προσαρμόζεται γρήγορα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες, όπως είναι η μεταβλητότητα στη ζήτηση ή την προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας [25].
- Η ικανότητα ενός συστήματος ενέργειας να ανταποκρίνεται τόσο στις αναμενόμενες όσο και στις απροσδόκητες αλλαγές, μεταξύ ζήτησης και προσφοράς ενέργειας [4].
- Η ικανότητα ενός συστήματος ενέργειας να διαχειρίζεται αξιόπιστα και οικονομικά τη μεταβλητότητα και την αβεβαιότητα της ζήτησης και της προσφοράς σε όλες τις σχετικές χρονικές περιόδους [4].

- Η ικανότητα ενός συστήματος να αναπτύξει τους πόρους του για να ανταποκριθεί σε αλλαγές του φορτίου, όπου το καθαρό φορτίο ορίζεται ως το υπόλοιπο φορτίο του συστήματος που δεν εξυπηρετείται από μεταβλητή παραγωγή [26].
- Η ικανότητα των τελικών χρηστών να προσαρμόζουν την ενεργειακή τους κατανάλωση με σκοπό τη βελτίωση λειτουργίας του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας [27].
- Η ικανότητα του συστήματος να ανταποκρίνεται στη διακύμανση και την αβεβαιότητα του φορτίου [28].
- Η ικανότητα του συστήματος να προσαρμόζεται γρήγορα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες, όπως οι κλυδωνισμοί στη ζήτηση ή την προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας [29].
- Η δυνατότητα τροποποίησης των μεθόδων παραγωγής ή και κατανάλωσης ως αντίδραση σε ένα δείγμα τιμής με σκοπό τη σταθερότητα του συστήματος ισχύος [30].
- Η ικανότητα χρονικής μετατόπισης χρήσης της ενέργειας, σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας (π.χ. από το φυσικό αέριο στην ηλεκτρική ενέργεια [31].
- Η ικανότητα των συστημάτων ενέργειας να μεταβάλλουν προσωρινά την κατανάλωση ή παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας [32].
- Η ικανότητα των συστημάτων ισχύος να εξισορροπούν κάθε χρονική στιγμή την προσφορά και τη ζήτηση ενέργειας [33].
- Η ικανότητα τροποποίησης της παραγωγής ή κατανάλωσης, κάθε χρονική στιγμή, ως αντίδραση ενός σήματος, με σκοπό την παροχή υπηρεσιών σε ένα σύστημα ισχύος [6, 34].

Τέλος, αναφέρεται ότι ο όρος της ευελιξίας πρέπει να αξιοποιηθεί σε όλους τους τομείς του ενεργειακού συστήματος, τόσο στην παραγωγή ενέργειας όσο και στα ισχυρότερα συστήματα μεταφοράς και διανομής, την αποθήκευση (ηλεκτρική και θερμική) και τη ζήτηση (διαχείριση από πλευράς ζήτησης και σύζευξη τομέα) [4].

Από τους ορισμούς που διατυπώθηκαν παραπάνω διαπιστώνεται ότι ο όρος της ευελιξίας συνδυάζεται άμεσα:

- ✓ Με την απαίτηση ζήτησης και προσφοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- ✓ Με την ικανότητα ενός συστήματος ισχύος να λειτουργεί με χαμηλό σχετικά κόστος και παρέχοντας ενεργειακή ασφάλεια
- ✓ Με την ικανότητα ενός συστήματος ισχύος να μπορεί εύκολα να διαχειρίζεται τη μεταβλητότητα και αβεβαιότητα που προκύπτουν από τη διείσδυση στο δίκτυο των ΑΠΕ
- ✓ Με την ικανότητα ενός συστήματος ισχύος να είναι σε θέση να προσαρμόζεται κάθε χρονική στιγμή στις αλλαγές

Επομένως, η έννοια του όρου της ευελιξίας αναφέρεται κατά βάση στην ικανότητα ενός συστήματος ισχύος να μπορεί κάθε χρονική στιγμή να ανταποκρίνεται στις ενεργειακές απαιτήσεις. Σε αυτή τη διαδικασία, όπως αναλύεται και στα επόμενα κεφάλαια, συμμετέχουν πολλοί παράγοντες της αγοράς του ενεργειακού κλάδου, οι οποίοι απαιτείται να συντονισθούν για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία του δικτύου. Τίθεται όμως ένα βασικό ερώτημα. Πώς είναι εφικτό να «μετρηθεί – ποσοτικοποιηθεί» αυτή η ικανότητα, δηλαδή να μετρηθεί ποσοτικά η ευελιξία ενός συστήματος. Όλοι οι ορισμοί που έχουν δοθεί μέχρι και σήμερα έχουν σκοπό την ποσοτικοποίηση της ευελιξίας. Επομένως ο ορισμός και η μέτρηση της ευελιξίας είναι πολύ στενά συνδεδεμένες [7].

Σε επίπεδο συστήματος, η μέτρηση της διαθέσιμης ικανότητας, δηλαδή της ευελιξίας είναι σημαντική για να προσδιοριστεί εάν το σύστημα είναι σε θέση να αντιμετωπίσει την ευελιξία που απαιτείται λόγω της αβεβαιότητας που προκύπτει από τη συμμετοχή των ΑΠΕ. Εάν μπορεί να υπολογισθεί αυτή η ικανότητα (ευελιξία) τότε όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς της αγοράς θα μπορέσουν να ανακατασκευάσουν τις μονάδες ισχύος και να προσαρμόσουν τις νέες ενεργειακές ανάγκες.

Συχνά οι μετρήσεις αυτής της ικανότητας ενσωματώνονται σε αλγόριθμους, οπότε δεν υπάρχει σαφής υπολογισμός της ευελιξίας [30], αλλά οι βασικές παράμετροι που μπορούν να ποσοτικοποιηθούν και να βοηθήσουν στον υπολογισμό της είναι:

- **Χρόνος**

Το χρονικό διάστημα απόκρισης περιγράφει πόσο γρήγορα ένα σύστημα αντιδρά στις αποκλίσεις και επιστρέφει στην αρχική κατάσταση. Η χρονική περίοδος μπορεί να κυμαίνεται από λίγα δευτερόλεπτα έως μερικούς μήνες και αναλόγως του χρόνου, ένα σύστημα μπορεί να αποδώσει σε διάφορα επίπεδα ευελιξίας.

- **Λειτουργία**

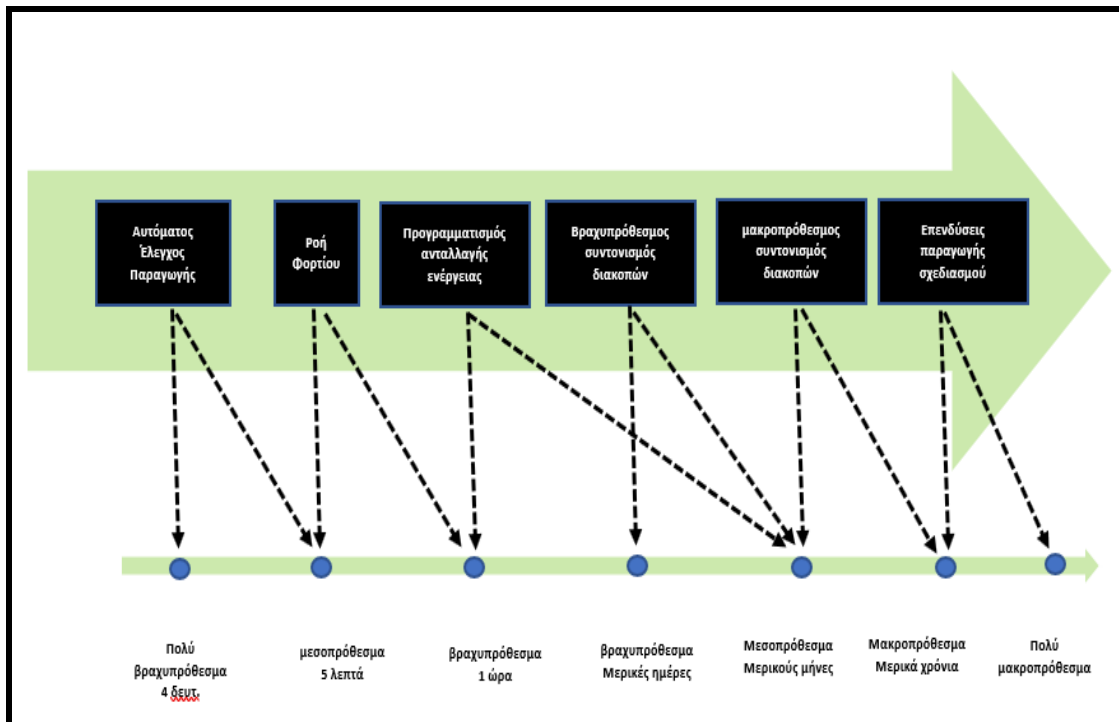
Οι λειτουργίες ελέγχου συνεπάγονται ένα σύνολο διορθωτικών διαδικασιών. Το σύνολο των λειτουργιών ελέγχου που μπορούν να εκτελεσθούν σε ένα δίκτυο εξαρτάται από το χρονικό διάστημα απόκρισης. Η **Εικόνα 1** απεικονίζει κάποιες διορθωτικές λειτουργίες σε συστήματα ισχύος για διάφορα χρονικά διαστήματα.

- **Αβεβαιότητα**

Ο όρος αβεβαιότητα, που εισάγεται με τη διεύδυση των ΑΠΕ στα συστήματα ισχύος, αναφέρεται στην έλλειψη πληροφοριών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν με σκοπό να είναι γνωστή κάθε χρονική στιγμή, η ενεργειακή κατάσταση ενός δικτύου. Βέβαια, η λειτουργία και ο σχεδιασμός ενός συστήματος συνδέονται και επηρεάζονται άμεσα από την υπάρχουσα αβεβαιότητα και η οποία σχετίζεται με τις διακοπές του συστήματος, την πρόβλεψη του φορτίου και την πρόβλεψη των τιμών της αγοράς. Επίσης, η αβεβαιότητα ενός συστήματος δηλώνει το ποσό της ευελιξίας που απαιτείται για τη σωστή διαχείρισή του.

- **Κόστος**

Τέλος, μια άλλη παράμετρος ποσοτικοποίησης της ευελιξίας είναι η διακύμανση και η αβεβαιότητα στο κόστος απόκρισης. Ένας διαχειριστής συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΣΜ, ΔΣΔ) προσπαθεί πάντα να παρέχει ευελιξία στο σύστημα, ελαχιστοποιώντας παράλληλα το κόστος.



Εικόνα 1: Διορθωτικές ενέργειες για διαφορετικά χρονικά διαστήματα

2.2 Εξισορρόπηση και Διαχείριση Συμφόρησης σε Συστήματα Μεταφοράς και Διανομής

Όπως έχει προαναφερθεί, η αύξηση συμμετοχής των ΑΠΕ στο συνολικό μερίδιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, έχει δημιουργήσει και θα συνεχίσει να δημιουργεί προκλήσεις στο παγκόσμιο ενεργειακό σύστημα. Αυτές οι προκλήσεις περιλαμβάνουν την ικανοποίηση:

- Της ανεπαρκούς ικανότητας μεταφοράς ενέργειας στα δίκτυα
- Της πτώσης τάσης του δικτύου
- Της υπερφόρτωσης-συμφόρησης του δικτύου
- Των διακοπών λειτουργίας

Επομένως, η μεταβλητότητα της παραγόμενης ενέργειας (προερχόμενη από τις ΑΠΕ), σε συνδυασμό με την ολοένα αυξανόμενη ζήτησιμα ενέργεια, έχει καταστήσει το έργο των διαχειριστών συστημάτων πολύ δύσκολο, διότι θα πρέπει να διατηρηθεί σε ισορροπία το ισοζύγιο κατανάλωσης και παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, κάθε χρονική στιγμή [35].

Η αύξηση και η προώθηση του πρωτοεμφανιζόμενου νέου όρου της ευελιξίας στο δίκτυο θα μπορούσε να είναι ένας οικονομικά αποδοτικός τρόπος για να ελαχιστοποιηθούν οι προκλήσεις που προκύπτουν από τη συμμετοχή των ΑΠΕ και τις νέες μορφές κατανάλωσης [36]. Ευτυχώς, με το πέρασμα των χρόνων και τη βοήθεια της τεχνολογίας υπάρχουν πολλές επιλογές για την παροχή υπηρεσιών ευελιξίας. Οι υδροηλεκτρικές δεξαμενές, η διασύνδεση, η διαχείριση της ζήτησης και η παραγωγή από φυσικό αέριο, είναι σήμερα οικονομικά αποδοτικοί τρόποι διαχείρισης παροχής ενέργειας και χρησιμοποιούνται ευρέως. Στο μέλλον, άλλες τεχνολογίες, όπως είναι η αποθήκευση ενέργειας με τη χρήση κατάλληλων μπαταριών, οι κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι (Distributed Energy Resources), τα έξυπνα δίκτυα κ.λπ. θα γίνουν όλο και πιο οικονομικές και περισσότερο χρηστικές για τους καταναλωτές.

Η έννοια της ευελιξίας στα συστήματα ισχύος, αποτελεί βασικό παράγοντα που μπορεί να αντιμετωπίσει τις παραπάνω προκλήσεις, με αποτέλεσμα η διείσδυση των ΑΠΕ στα ήδη υπάρχοντα συστήματα να γίνει με πιο ομαλό τρόπο. Βέβαια, δεν συνεπάγεται ότι και οι συμβατικές πηγές δεν περιέχουν ήδη ένα ποσοστό ευελιξίας. Το πρόβλημα γίνεται εντονότερο όταν τα εισερχόμενα ποσά ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερα, οπότε απαιτείται καλύτερος τρόπος διαχείρισης. Σχεδόν σε όλα τα συστήματα ισχύος σήμερα και οι φορείς εκμετάλλευσης αυτών (διαχειριστές διανομής και μεταφοράς ενέργειας) προγραμματίζουν και αποστέλλουν άνθρακα, φυσικό αέριο ή υδροηλεκτρική παραγωγή για να διασφαλίσουν ότι η παροχή και η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι σε ισορροπία κάθε λεπτό, κάθε ώρα της ημέρας [1]. Αυτοί οι πόροι παρέχουν αξία στο σύστημα επειδή η παραγωγή τους μπορεί να προσαρμοστεί, ώστε να διατηρεί το σύστημα σε ισορροπία, υπό την επιφύλαξη λειτουργικών και οικονομικών περιορισμών [1, 37].

Τα τελευταία χρόνια εστιάζοντας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη χρήση των ΑΠΕ, τα παραγόμενα ποσά ενέργειας είναι τόσο μεγάλα, όπου απαιτείται η σωστή διαχείρισή τους, έτσι ώστε να μην κινδυνεύει η ασφάλεια του δικτύου μέσω μιας πιθανής συμφόρησης που μπορεί να συμβεί.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά πάνελ, τα οποία προκαλούν μεγάλες διακυμάνσεις ισχύος [38]. Η σωστή διαχείριση αυτών, προϋποθέτει μια καλή συνεργασία μεταξύ των φορέων – διαχειριστών ενέργειας που είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά και διανομή τους στους τελικούς χρήστες, είτε είναι οι οικιακοί είτε μεγάλες βιομηχανίες και εργοστάσια. Οι διαχειριστές αυτοί είναι οι διαχειριστές συστημάτων διανομής (ΔΣΔ), (DSO – Distribution System Operator) και διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς (ΔΣΜ), (TSO – Transmission System Operator), όπου μια αυξημένη αλληλεπίδραση - συνεργασία μεταξύ τους μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα [39]:

- Καλύτερη αξιοποίηση των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (DER – Distributed Energy Resources)
- Βελτιστοποίηση επενδύσεων σε υποδομές δικτύου
- Αύξηση της ευελιξίας του συστήματος

Επομένως, διαπιστώνεται η ανάγκη ανάπτυξης εργαλείων και συνεργασιών, μεταξύ εκείνων που διαχειρίζονται την ενέργεια, με σκοπό τη διασφάλιση αποδοτικότητας χρήσης της, από τα υπάρχοντα συμβατικά συστήματα παραγωγής, τις νέες εισερχόμενες στο δίκτυο ΑΠΕ και την αποτελεσματική ενοποίηση των νέων ενεργειακών πόρων (DERs) [40].

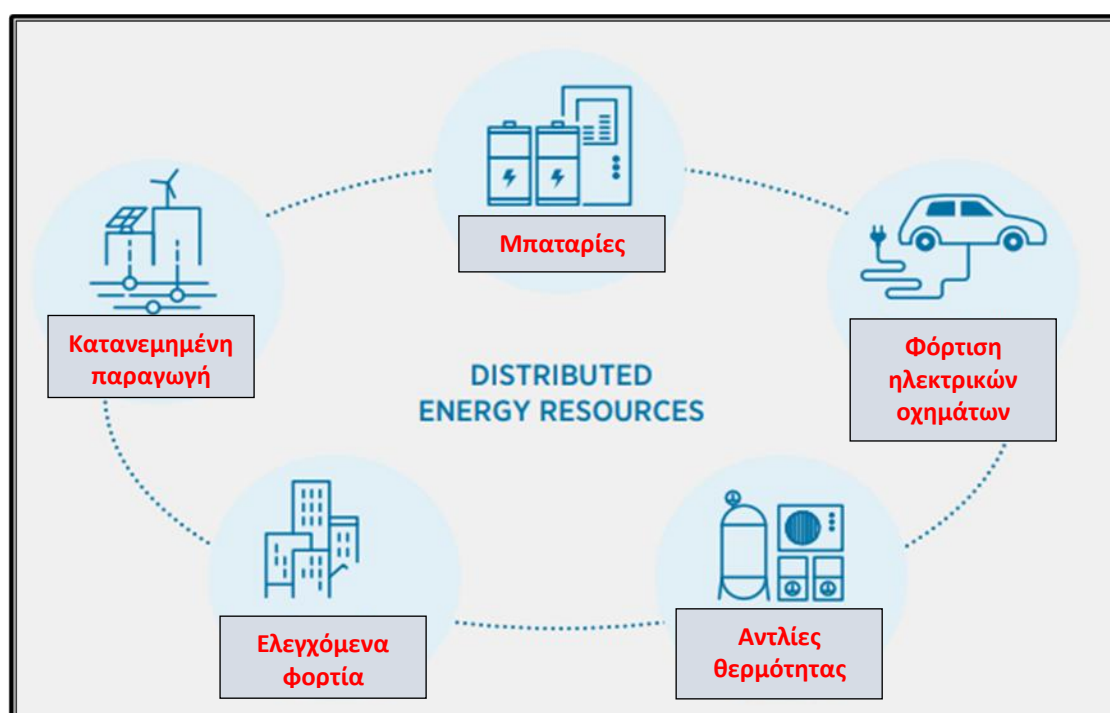
2.2.1 Ο Ρόλος των Διαχειριστών Συστημάτων Διανομής – [Distribution System Operators (DSOs)] και των Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς [Transmission System Operators (TSO)] – Συνεργασία

Ο ενεργειακός χάρτης του 2050 που εκδόθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ενέργειας, έχει ως βασικό στόχο την απαλλαγή των ενεργειακών της συστημάτων από τον άνθρακα για πολλούς και διαφόρους λόγους, με πρώτο και κύριο, την προστασία του περιβάλλοντος. Η σημαντική αυτή προτεραιότητα αποτελεί και μια σημαντική πρόκληση που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ανταγωνιστικότητας στον ενεργειακό κλάδο παγκοσμίως [41]. Βέβαια, ο φιλόδοξος αυτός στόχος απαιτεί τη συνεχιζόμενη τεχνολογική εξέλιξη των ενεργειακών συστημάτων η οποία και συνοδεύεται με την ενσωμάτωση πολλών κατανεμημένων ανανεώσιμων πηγών

ενέργειας (DER – Distributed Energy Resources), ενέργειες που οδηγούν στην ολοένα και μεγαλύτερη επέκταση των υπαρχόντων δικτύων.

Οι κατακεμημένοι ενεργειακοί πόροι (DERs), **Εικόνα 2** [42], που συνδέονται άμεσα με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, περιλαμβάνουν:

- κατακεμημένη παραγωγή
- αποθήκευση ενέργειας (μπαταρίες)
- ελεγχόμενα φορτία (ηλεκτρικά οχήματα, αντλίες θερμότητας)



Εικόνα 2: Κατακεμημένοι Ενεργειακοί Πόροι – Distributed Energy Resources

Τα ανωτέρω απαιτούν την ύπαρξη μιας συνεχιζόμενης και αδιάκοπης συνεργασία μεταξύ των διαχειριστών μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (DSO και TSO), λόγω του ότι το υπάρχον δίκτυο, για να μπορέσει να ανταπεξέλθει στα νέα μεγαλύτερα φορτία ενέργειας, απαιτείται να επεκταθεί, κάτι που καθιστά απαραίτητη μια καλή συνεργασία μεταξύ τους.

Επίσης, η ανταλλαγή δεδομένων υψηλής ποιότητας μεταξύ αυτών των διαχειριστών, απαιτείται και για κάποιους επιπλέον σκοπούς, οι οποίοι περιλαμβάνουν τη δυνατότητα περαιτέρω βελτιστοποίησης λειτουργικών διαδικασιών και διαδικασιών σχεδιασμού, όπως είναι [41]:

- βοηθητικές υπηρεσίες
- διαχείριση συμφόρησης
- έλεγχος τάσης
- αξιολογήσεις ασφάλειας συστήματος
- προγραμματισμός συντήρησης
- σχεδιασμός και ανάπτυξη συστήματος

Επομένως, υιοθετώντας μια νέα προσέγγιση συνεργασίας μεταξύ των διαχειριστών μεταφοράς και διανομής, απαιτείται μια σημαντική ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ τους, που σκοπό έχει, μεταξύ άλλων την ενίσχυση και επέκταση του υπάρχοντος δικτύου. Επίσης, η βελτίωση των επιπέδων ανταλλαγής δεδομένων αποτελεί το σημείο εκκίνησης, βάσει του οποίου οι φορείς εκμετάλλευσης του δικτύου θα διερευνήσουν μια κοινή χρήση πόρων ευελιξίας για την κάλυψη των αναγκών του συστήματος, με προοπτική διατήρησης των υψηλών προτύπων απόδοσης, ασφάλειας ενεργειακού εφοδιασμού και ποιότητας υπηρεσιών [41].

Εύκολα γίνεται φανερό η σημαντικότητα των δεδομένων, τα οποία πρέπει να ανταλλάσσονται μεταξύ των φορέων εκμετάλλευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Το είδος ανταλλαγής αυτών, πρέπει να είναι αντικείμενο συζήτησης μεταξύ των διαχειριστών μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε να έχουμε το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα. Τα συγκεκριμένα δεδομένα δίνουν τη δυνατότητα βέλτιστης εκμετάλλευσης του δικτύου και ταυτόχρονα οι TSO' s και DSO' s είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν σημαντικές προκλήσεις του ενεργειακού κλάδου, σημαντικότερες από τις οποίες αναφέρονται παρακάτω:

- **Ενίσχυση της ευελιξίας του συστήματος ισχύος**

Λόγω της μεγάλης διείσδυσης των ΑΠΕ στα συστήματα ισχύος και την εμφάνιση στο προσκήνιο της ηλεκτρικής ενέργειας νέων τεχνολογιών (π.χ. ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα κ.λπ.), τα δίκτυα διανομής και μεταφοράς παρουσιάζουν μειωμένη ευελιξία, γεγονός για το οποίο τα τελευταία χρόνια καταβάλλεται προσπάθεια μέσω της έρευνας να αντιμετωπιστεί. Κρίνεται επομένως απαραίτητη η ομαλή ενσωμάτωση και ο έλεγχος των ΑΠΕ στα υπάρχοντα συστήματα, με σκοπό την

υποστήριξη των διαχειριστών μεταφοράς και διανομής, μέσω πρόσθετης ενέργειας στο δίκτυο, αλλά ταυτόχρονα και με την υποστήριξη νέων τεχνολογιών που θα βελτιώσουν τα ήδη υπάρχοντα επίπεδα ευελιξίας του συστήματος. Δηλαδή κρίνεται σκόπιμη η διάθεση νέων πόρων ευελιξίας σε επίπεδο διανομής ενέργειας, για να βοηθήσουν τους διαχειριστές μεταφοράς (TSO's) στην καλή λειτουργία του δικτύου μεταφοράς και αντιστρόφως. Επομένως μια συντονισμένη επικοινωνία μεταξύ των ΔΣΜ και ΔΣΔ θα βοηθήσει στη σωστή ή μη λειτουργία όλου του δικτύου.

- **Καλύτερος έλεγχος και βελτίωση του δικτύου διανομής και μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας**

Λόγω της αυξανόμενης διείσδυσης των ΑΠΕ στα συστήματα ισχύος και λαμβάνοντας υπόψη ότι οι ΑΠΕ συνδέονται κυρίως σε επίπεδο διανομής και μια μικρή ποσότητα μονάδων θερμικής παραγωγής συνδέεται στα συστήματα μεταφοράς, υπάρχει ορατός κίνδυνος οι διαχειριστές μεταφοράς (TSO's) να μην έχουν μια γενική εικόνα για την κατάσταση του δικτύου. Για να διασφαλισθεί το σύστημα, απαιτείται η ενίσχυση ελέγχου των ενεργειακών συστημάτων με τη βοήθεια μιας καλής ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των διαχειριστών διανομής και μεταφοράς προς αποφυγή τέτοιων σφαλμάτων.

Ενώ παλαιότερα ο έλεγχος των συστημάτων μετάδοσης από τους TSO's ήταν πάντοτε περιορισμένος, τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της διείσδυσης των ΑΠΕ, η οποία απαιτεί την ύπαρξη αμφίδρομης ροής ισχύος μεταξύ των διαχειριστών ενέργειας, απαιτείται να αυξηθεί ο συγκεκριμένος έλεγχος των συστημάτων και από τους δύο. Η ανταλλαγή δεδομένων επιτρέπει στους DSO's να διαχειρίζονται καλύτερα τα δίκτυά τους με έναν πιο αποτελεσματικό και ασφαλή τρόπο που βοηθάει στην πιο εύκολη διείσδυση των DER's στο δίκτυο [41].

- **Διαχειριστές Συστήματος Διανομής (Distributed System Operator – DSO)**

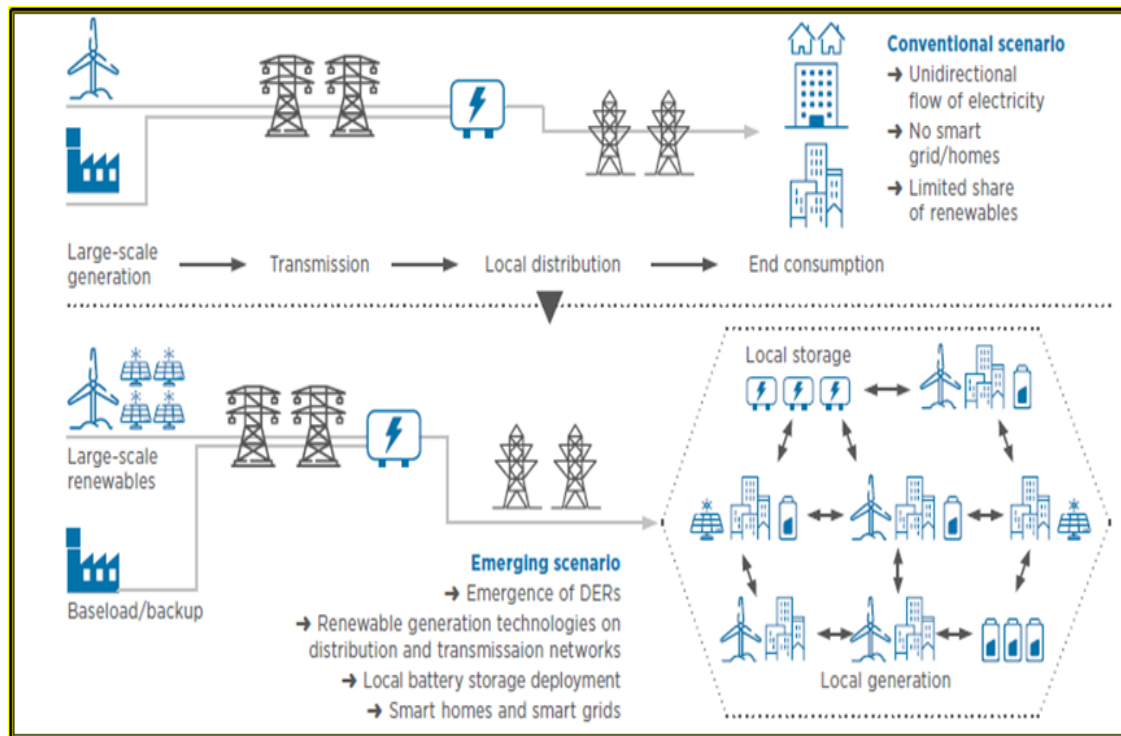
Παραδοσιακά, τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας ήταν κεντρικές δομές, οι οποίες ήταν οργανωμένες με μια δομή που περιελάμβανε την παραγωγή της ενέργειας, τη μεταφορά και τη διανομή της. Δηλαδή, τα ενεργειακά συστήματα από την παραγωγή της ενέργειας έως και στο τελικό σημείο της κατανάλωσης

ακολουθούσαν μια μονόδρομη κατεύθυνση, χωρίς να εμπλέκονται άλλοι φορείς [43]. Αυτή η ακολουθία στηρίζονταν σε μια πρόβλεψη κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και σε μια ελεγχόμενη και συγκεντρωτική παραγωγή ενέργειας [44]. Όπως απεικονίζει και η **Εικόνα 3** [42], φαίνεται αυτή η μονόδρομη κατεύθυνση κατά την οποία η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μεγάλης κλίμακας σταθμούς παραγωγής, μεταφέρεται μέσω συγκεκριμένων δικτύων μεταφοράς και διανέμεται στους τελικούς της χρήστες, οι οποίοι άλλοτε είναι οικιακοί χρήστες και άλλοτε μεγάλες βιομηχανίες [42]. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια όλο και μεγαλύτερα ποσά ενέργειας παράγονται από μικρότερα τοπικά δίκτυα, τα οποία συνδέονται απευθείας στα δίκτυα διανομής, τα οποία και αναφέρονται ως νέοι κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι (DER's). Αυτό έχει ως συνέπεια το δίκτυο να γίνεται πολυπλοκότερο, με μεγαλύτερες απαιτήσεις συντονισμού από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς και κατά συνέπεια το ενεργειακό σύστημα πιο απαιτητικό [45, 44].

Οι νέες αυτές πηγές ενέργειας (DER's) για τις οποίες θα αναφερθούμε εκτενέστερα σε επόμενες παραγράφους, μπορούν να διαχωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

- μεγάλης κλίμακας
- μικρής κλίμακας

Στις πηγές μεγάλης κλίμακας υπάγονται μεγάλες εμπορικές εκτάσεις και αγροκτήματα στα οποία έχουν τοποθετηθεί φωτοβολταϊκά πάνελ, ενώ στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις στις οροφές των σπιτιών, μικρές ανεμογεννήτριες, συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, έξυπνες οικιακές συσκευές (smart systems) κ.λπ..



Εικόνα 3: Συμβατικό σενάριο συστήματος ισχύος Vsμελλοντικό σενάριο συστήματος ισχύος με την συμμετοχή κατακεντρωμένων ενεργειακών πόρων (DERs), [42]

Βέβαια, πρέπει να επισημανθεί ότι η μεγάλη και ραγδαία διείσδυση των νέων ενεργειακών πόρων στο υπάρχον δίκτυο διανομής, επιφέρει και κάποιο ποσοστό συμφόρησης αυτού, το οποίο θα πρέπει να αντιμετωπιστεί άμεσα με σκοπό την ασφάλεια του δικτύου. Επομένως, συζητείται από πολλούς ενεργειακούς φορείς η ανάγκη αλλαγής πλεύσης στο ενεργειακό σύστημα διανομής. Η αυξανόμενη διείσδυση των νέων ενεργειακών πόρων στο δίκτυο, οδήγησε την εμφάνιση στην αγορά, νέων παραγόντων, όπως είναι οι ενεργειακοί καταναλωτές, οι οποίοι παίζουν ενεργό ρόλο στη νέα ενεργειακή δομή και οι οποίοι θα εγκαινιάσουν μια νέα εποχή στον ενεργειακό κλάδο [42].

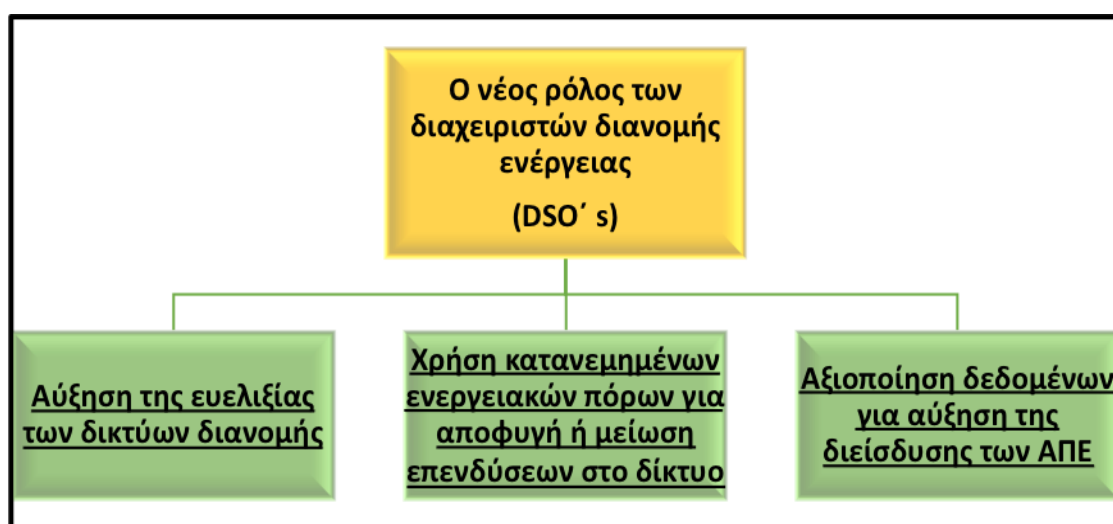
Μια από τις βασικές κατηγορίες εμπλεκόμενων φορέων στην νέα ενεργειακή δομή των συστημάτων ισχύος, αποτελούν και οι διαχειριστές συστημάτων διανομής (DSO's). Οι Διαχειριστές Συστημάτων Διανομής παραδοσιακά ασχολούνται με θέματα ασφάλειας δικτύου με τη χρήση μεθόδων σχεδιασμού και ανάπτυξης δικτύου [43]. Εξαιτίας του μετασχηματισμού των νέων δικτύων, οι διαχειριστές συστημάτων διανομής τα τελευταία χρόνια βρίσκονται στο επίκεντρο αυτού του

ενεργειακού μετασχηματισμού, συνδέοντας ηλιακούς συλλέκτες, ανεμογεννήτριες, παρέχοντας στους καταναλωτές, μέσω της τεχνολογίας, έξυπνους μετρητές και επιτρέποντας την ανάπτυξη νέων αγορών [18]. Βέβαια, όλα τα ανωτέρω εξυπηρετούνται και με τη συμμετοχή των απλών καταναλωτών, οικιακών χρηστών.

Για αυτό το λόγο, καθώς και λόγω της τεράστιας διείσδυσης των ΑΠΕ, οι ΔΣΔ (DSO's) θα πρέπει να προσαρμόσουν το νέο τους ρόλο με σκοπό να επωφεληθούν από τις νέες αλλαγές, ικανοποιώντας ταυτόχρονα τις μεταβαλλόμενες ανάγκες των νέων πελατών και διασφαλίζοντας την ασφάλεια του δικτύου.

Βέβαια, για την επίτευξη των ανωτέρω χρειάζεται επιπλέον συμμετοχή της πολιτείας, με τη χάραξη και αποδοχή νέων πολιτικών, καθώς επίσης και αλλαγή του ήδη υπάρχοντος κανονιστικού πλαισίου λειτουργίας των DSO's, με την εισαγωγή νέων κινήτρων. Οι αλλαγές στον μέχρι τώρα συμβατικό ρόλο των DSO's, μεταφράζονται και στην απόκτηση ενός πιο ενεργού νέου ρόλου, **Εικόνα 4**.

Οι DSO's έχουν την ευκαιρία να εκμεταλλευτούν τη διαθέσιμη ευελιξία που παρέχουν οι DER's. Δηλαδή δίνεται η δυνατότητα να προμηθεύονται υπηρεσίες ευελιξίας από τους ίδιους τους χρήστες του δικτύου. Κάποια από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η νέα μεταμόρφωση του ρόλου των διαχειριστών διανομής ενέργειας, αναφέρονται ακολούθως:



Εικόνα 4: Πλεονεκτήματα του νέου ρόλου των DSO's

- **Αύξηση της ευελιξίας των δικτύων διανομής**

Οι DSO's έχουν τη δυνατότητα, λόγω της τεράστιας διείσδυσης των DER's στο δίκτυο των συστημάτων ισχύος, να προμηθευτούν από τα DER's υπηρεσίες ευελιξίας, διαδικασία που θα απέφερε και αύξηση στη συνολική ευελιξία του συστήματος. Κάποιες από τις υπηρεσίες αυτές είναι υποστήριξη τάσης (voltage support) και η διαχείριση συμφόρησης του δικτύου (congestion management). Οι προσφερόμενες αυτές υπηρεσίες θα μπορούσαν με τη σειρά τους, να βοηθήσουν στην ευκολότερη ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο δίκτυο, καθόσον η μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ, απαιτεί ευέλικτα συστήματα ικανά να μπορούν να διαχειρίζονται τα επιπλέον ποσά ενέργειας. Τα ανωτέρω θα μπορούσαν εύκολα να επιτευχθούν με την αύξηση νέων τοπικών αγορών, δηλαδή με την εμφάνιση-δημιουργία περισσότερων ιδιοκτητών DER's.

- **Χρήση κατανεμημένων ενεργειακών πόρων για αποφυγή ή μείωση επενδύσεων στο δίκτυο**

Ένα από τα σημαντικότερα θέματα στον ενεργειακό κλάδο που απασχολεί τις Κυβερνήσεις των κρατών, προς αποφυγή οικονομικών επιβαρύνσεων των επιχειρήσεων και των τελικών οικιακών ενεργειακών καταναλωτών, αποτελεί το οικονομικό κόστος επέκτασης του δικτύου των συστημάτων ισχύος. Αυτό συμβαίνει διότι απαιτούνται να ακολουθηθούν κοινές πολιτικές χάραξης από τα κράτη μέλη ιδίως της Ευρωπαϊκής Ένωσης, λόγου του ότι το ζήτημα της ενέργειας επηρεάζει όλα τα κράτη και ταυτόχρονα υπάρχουν κράτη περισσότερο πλούσια από άλλα. Για αυτό το λόγο, ακολουθώντας μια νέα γραμμή, οι διαχειριστές διανομής DSO's έχουν επενδύσει και συνεχίζουν να επενδύουν μεγάλα κεφάλαια με σκοπό την ενίσχυση του υπάρχοντος δικτύου προς αποφυγή μιας συμφόρησης, ιδίως σε χρονικές περιόδους μεγάλης ζήτησης.

Επομένως, για τον καλύτερο προγραμματισμό σχεδιασμού των δικτύων, οι DSO's απαιτείται να επιλύσουν κάποια ερωτήματα, λαμβάνοντας υπόψη το οικονομικό κόστος επέκτασης των δικτύων και να αποφασίσουν εάν είναι οικονομικά αποδεκτό:

- Η ενίσχυση του παρόντος δικτύου

- Η προσφορά υπηρεσιών ευελιξίας από νέους ενεργειακούς πόρους (DER's)

Όπως προαναφέρεται, το βασικό πρόβλημα που εμφανίζεται με τη συμμετοχή των ΑΠΕ στο δίκτυο, αποτελεί η τυχόν συμφόρησή του λόγω των επιπλέον ποσών ενέργειας. Το πρόβλημα θα μπορούσε να αποφευχθεί χωρίς οικονομικό κόστος εάν οι DSO's εκμεταλλεύονταν όλες τις υπηρεσίες ευελιξίας των DER's. Επιπρόσθετα, θα βελτιώνονταν η κατάσταση του δικτύου εάν υπήρχε τρόπος κάλυψης των ενεργειακών αναγκών με τη χρήση ευέλικτων συστημάτων, όπως είναι οι μπαταρίες αποθήκευσης. Κάτι τέτοιο θα απέκλειε τη μεταφορά ενέργειας από απομακρυσμένες περιοχές, όπου βρίσκονται τοποθετημένες πηγές ΑΠΕ. Στο σημείο αυτό αναφέρεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, όπου μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας θα μπορούν να αποθηκεύουν μεγάλα ποσά ενέργειας, όταν δεν υπάρχει ζήτηση κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή και τα οποία την ίδια στιγμή θα είναι διαθέσιμα να επιστραφούν στο δίκτυο, με σκοπό να προωθηθούν με κατάλληλη δρομολόγηση μέσω δικτύου σε σημεία μεγαλύτερης ενεργειακής ζήτησης.

Η χρήση των DER's και συγκεκριμένα των μπαταριών αποθήκευσης για αποφυγή επενδύσεων στο δίκτυο, είναι γνωστή ως εικονικές γραμμές τροφοδοσίας (VPP-Virtual Power Plant) [42].

- **Αξιοποίηση δεδομένων για αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ**

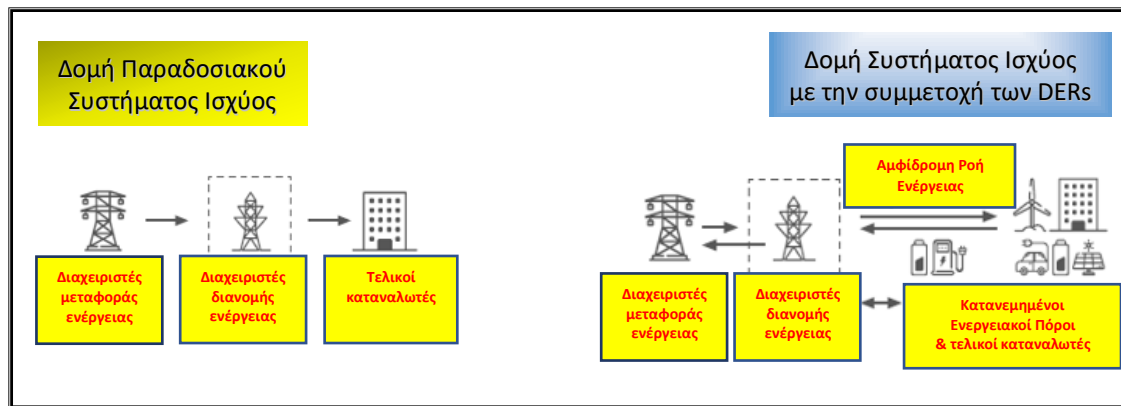
Ο κεντρικός πυρήνας διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας από τη στιγμή που αυτή θα μεταφερθεί από τα απομακρυσμένα σημεία παραγωγής στην τελική φάση της κατανάλωσης, είναι οι διαχειριστές διανομής. Επομένως, εύκολα συμπεραίνεται ότι οι DSO's έχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας πολλών στοιχείων – δεδομένων που σχετίζονται με το ρυθμό κατανάλωσης ενέργειας, τα ποσοστά παραγωγής και μεταφοράς της, καθώς και τις διαθέσιμες πηγές των DER's για κάθε χρονική στιγμή. Η συγκεκριμένη διαδικασία παρέχει την επιλογή στους DSO's να διαχειρίζονται κατάλληλα όλα αυτά τα στοιχεία με απώτερο σκοπό τη βελτίωση παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας στους τελικούς χρήστες και ταυτόχρονα την ευκολότερη ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο δίκτυο. Κάνοντας καλή χρήση αυτών των δεδομένων οι DSO's μπορούν να προβλέψουν καλύτερα τη ζήτηση, οδηγώντας σε καλύτερο μελλοντικό προγραμματισμό και λειτουργία του συστήματος, ενώ ταυτόχρονα

δίνεται η δυνατότητα στους τελικούς καταναλωτές να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο ενεργειακό σύστημα μέσω της απόκρισης της ζήτησης [42].

Στην **Εικόνα 5**, απεικονίζεται ο νέος ρόλος των διαχειριστών διανομής ενέργειας, έναντι του συμβατικού του ρόλου. Στο νέο ρόλο των διαχειριστών διανομής, κάνει την εμφάνισή της μια αμφίδρομη επικοινωνία σε όλο σχεδόν το εύρος του δικτύου διανομής, από τον αρχικό διαχειριστή μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το τελικό στάδιο των καταναλωτών, συμπεριλαμβανομένων και των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (DER's).

Το καινούργιο μοντέλο της δομής ενός συστήματος ισχύος προσμετρά αρκετά πλεονεκτήματα και προκλήσεις των DSO's, κάποια από τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

- **Νέες συμφωνίες σύνδεσης δικτύου:** Οι τελικοί χρήστες μπορούν να λειτουργούν όχι μόνο ως απλοί καταναλωτές, αλλά και ως επιμέρους διαχειριστές ενέργειας. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η υπογραφή συμφωνίας σύνδεσης βάσει της οποίας ο καταναλωτής συμφωνεί να του παρέχεται μειωμένη παροχή ενέργειας τις ώρες αιχμής.
- **Συμβάσεις ευελιξίας:** οι κάτοχοι των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (DER's), συμφωνούν με τους διαχειριστές διανομής ενέργειας να τους παρέχουν κάποιες υπηρεσίες. Για παράδειγμα, οι καταναλωτές – κάτοχοι μεγάλων εκτάσεων με φωτοβολταϊκά πάνελ, έχουν τη δυνατότητα να πωλούν μέρος της παραγόμενης ενέργειας από τα πάνελ τους στους DSO's. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το οικονομικό όφελος των μικρών καταναλωτών και ταυτόχρονα την αποφυγή – διαχείριση της συμφόρησης του δικτύου.



Εικόνα 5: Ο νέος ρόλος των διαχειριστών διανομής ενέργειας (DSO's)

Παρόλο που ο αρχικός ρόλος των DSO's πρέπει να αλλάξει, οι βασικές του αρμοδιότητες, όπως είναι η ασφάλεια εφοδιασμού ηλεκτρικής ενέργειας και η παρεχόμενη ποιότητα των υπηρεσιών του, θα πρέπει να παραμείνουν οι ίδιες ή ακόμη και να βελτιωθούν. Όμως για να μπορέσουν οι διαχειριστές διανομής να συνεχίσουν να τις διασφαλίζουν, απαιτείται οι ίδιοι να εξελιχθούν και να προσαρμοσθούν στις νέες ενεργειακές απαιτήσεις, που τόσο πολύ έχει δημιουργήσει η μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ. Σε αυτή την εξέλιξή τους σημαντική είναι η συνεισφορά της τεχνολογίας, προσφέροντας μεγάλη εργαλειοθήκη, όπως είναι τα έξυπνα λειτουργικά συστήματα, έξυπνα δίκτυα (smart grids) κ.λπ., τα οποία όμως είναι προσαρμοσμένα στα νέα νομοθετικά και κανονιστικά πλαίσια που θέτουν τα κράτη και γενικότερα η Ευρωπαϊκή Ένωση, οι ΗΠΑ και η Κίνα.

Βέβαια, τα έξυπνα δίκτυα, για τα οποία θα αναφερθούμε στο επόμενο κεφάλαιο, βρίσκονται ακόμη σε αρχικό στάδιο, όσον αφορά τον ενεργειακό κλάδο. Όμως στο μέλλον μαζί με νέες άλλες τεχνολογίες, όπως είναι η έξυπνη μέτρηση ενέργειας, η αποθήκευση ενέργειας μέσω ειδικών μπαταριών κ.λπ., θα αποτελέσουν μια βασική παράμετρο και για άλλες τεχνολογικές εξελίξεις [44].

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται η σημαντικότητα του ρόλου των διαχειριστών διανομής ενέργειας, στην εξέλιξη της νέας γενιάς ηλεκτρικής ενέργειας με μια από τις βασικές της παραμέτρους να αποτελεί η ενσωμάτωση των ΑΠΕ στα υπάρχοντα δίκτυα διανομής, με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Μέσα σε αυτή την ενεργειακή αλυσίδα, είναι και ο ρόλος της τεχνολογίας με πιθανούς νέους πελάτες – καταναλωτές να έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν το ρυθμό προσφοράς ή ζήτησης της ενέργειας, κάθε χρονική στιγμή μέσω έξυπνων εφαρμογών από τα smart phones τους, από ειδικούς ρυθμιστές ενεργοποίησης της θέρμανσης-ψύξης του σπιτιού κ.λπ.. Οι ψηφιακές διαδικασίες – τεχνολογίες θα συμβάλλουν σημαντικά στη σταθερότητα ενός πολυσύνθετου ενεργειακού συστήματος, εστιάζοντας ιδιαίτερα στη γρήγορη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων που αφορούν τη ζήτηση, παραγωγή και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και της γρήγορης επεξεργασίας δεδομένων αναφορικά με την παρεχόμενη ευελιξία των DER's [46].

Τέλος, αναφέρεται ότι υπάρχουν αρκετές εταιρείες ενέργειας, οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα στους πελάτες τους να ελέγχουν την ωριαία κατανάλωση ενέργειας και να διαχειρίζονται τα συμβόλαιά τους μέσω ειδικών εφαρμογών.

● **Διαχειριστές Συστήματος Μεταφοράς (Transmission System Operator - TSO)**

Ο ρόλος των διαχειριστών μεταφοράς ενέργειας (ΔΣΜ), [Transmission System Operator (TSO)], στη νέα δομή του ενεργειακού κλάδου, είναι εξίσου σημαντικός με εκείνον των ΔΣΔ (DSO's). Αποτελεί έναν από τους πολλούς νέους θεσμούς που συμβάλλει στην ενεργειακή μεταρρύθμιση, διαδικασία κατά την οποία συνεργάζονται διάφοροι κλάδοι με βασικό στόχο τη βελτίωση ενός οργανισμού, τομέα κ.λπ.. Συγκεκριμένα, η επιτυχής μεταρρύθμιση του ενεργειακού κλάδου απαιτεί τον άριστο συντονισμό πολλών και διαφορετικών τομέων, μηχανικών, οικονομολόγων κ.λπ. [47], έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο ενεργειακό σύστημα ικανό να αντιμετωπίζει επαρκώς τις νέες προκλήσεις της σύγχρονης κοινωνίας (τη ραγδαία ενσωμάτωση των ΑΠΕ) και ταυτόχρονα να είναι οικονομικά βιώσιμο, μέσα από το μεγάλο ανταγωνισμό για όλους τους χρήστες, είτε οικιακούς, είτε μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Ο βασικός σκοπός ενός ΔΣΜ, είναι η διασφάλιση της ηλεκτρικής σταθερότητας του δικτύου, ώστε η συνολική ηλεκτρική ισχύς του να μπορεί να μεταφερθεί από τους χώρους παραγωγής της, στα επιμέρους δίκτυα διανομής, όπου από εκείνο το σημείο και μέχρι η ενέργεια να φθάσει στους τελικούς χρήστες, αναλαμβάνουν οι

διαχειριστές διανομής ΔΣΔ. Δηλαδή, ένας ΔΣΜ είναι διαχειριστής της ενέργειας με βασικό στόχο τη διατήρηση, τη λειτουργία, το σχεδιασμό και την επέκταση ενός ισχυρού και οικονομικά αποδοτικού δικτύου. Έχοντας βασικό στόχο την ασφάλεια του δικτύου, αυτό παραμένει σταθερό ανά πάσα στιγμή και κατά συνέπεια εξασφαλίζεται η αδιάλειπτη και ασφαλής παροχή ενέργειας στους τελικούς καταναλωτές.

Τα τελευταία 30 χρόνια έχουν δημιουργηθεί νέοι διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς ενέργειας, σε περισσότερες από 30 χώρες παγκοσμίως [47]. Υπάρχουν δύο κατηγορίες διαχειριστών μεταφοράς ενέργειας:

- Transcos
- ISOs (Independent System Operators)

Οι Transcos έχουν διπλή ιδιότητα. Είναι ιδιοκτήτες-διαχειριστές του δικτύου μεταφοράς υψηλής τάσης, ενώ οι ISOs είναι φορείς εκμετάλλευσης εγκαταστάσεων του δικτύου που ανήκουν σε άλλους.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) δεν κάνει χρήση του όρου «διαχειριστής συστήματος», αλλά χρησιμοποιεί τον όρο «διαχειριστής συστήματος μεταφοράς». Σύμφωνα με μια οδηγία της, αναφορικά με την ηλεκτρική ενέργεια (2003/54/EC), δίνεται ο ακόλουθος ορισμός:

«Διαχειριστής συστήματος μεταφοράς είναι ένα φυσικό ή νομικό πρόσωπο υπεύθυνο για τη λειτουργία, τη διασφάλιση συντήρησης, και εάν είναι απαραίτητο, την ανάπτυξη του συστήματος μεταφοράς σε μια δεδομένη περιοχή, κατά περίπτωση, των διασυνδέσεων του με άλλα συστήματα, με σκοπό τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης ικανότητας του συστήματος για την κάλυψη εύλογων απαιτήσεων μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας» [48].

Γενικότερα, υποστηρίζεται ότι οι διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς, είναι υπεύθυνοι για την αξιόπιστη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από μεγάλες μονάδες παραγωγής (μέσω γραμμών υψηλής τάσης) σε περιφερειακούς ή τοπικούς φορείς εκμετάλλευσης διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (DSO's) [49].

Στα περισσότερα κράτη παγκοσμίως, ο όρος των διαχειριστών μεταφοράς ενέργειας, υπόκεινται σε κρατικούς νόμους και περιορισμούς. Κάθε Ευρωπαϊκό κράτος - μέλος έχει συνήθως έναν εθνικό διαχειριστή μεταφοράς. Εξαιρέση αποτελεί η Γερμανία στην οποία υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί διαχειριστές, όπου ο καθένας είναι υπεύθυνος για διαφορετική περιφέρεια της χώρας [49]. Ένας ΔΣΜ, ως διαχειριστής συστήματος θέτει τεχνικές επιχειρησιακές απαιτήσεις ολόκληρου του εξοπλισμού που είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο, με σκοπό να εξασφαλισθεί η λειτουργία του συστήματος. Τέλος σημειώνεται ότι για τα περισσότερα κράτη οι ΔΣΜ αποτελούν ένα φυσικό μονοπώλιο, πράγμα που σημαίνει ότι απαιτείται η εκτέλεση συνεχών ελέγχων από κρατικούς θεσμούς, έτσι ώστε να τηρείται η διαφάνεια στον ενεργειακό κλάδο.

2.2.2 Κατανεμημένοι Ενεργειακοί Πόροι – [Distributed Energy Resources (DER)]

Τα τελευταία χρόνια, αρκετοί οικονομικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες ωθούν τον κλάδο της ηλεκτρικής ενέργειας προς εύρεση νέων οικονομικότερων και ασφαλέστερων επιλογών παραγωγής, διανομής και διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι συγκεκριμένοι παραπάνω παράγοντες περιλαμβάνουν τις υψηλές τιμές που σχετίζονται με το κόστος παραγωγής – διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας και τα καύσιμα. Οι αβέβαιες προμήθειες των καυσίμων, καθώς και η αυξανόμενη πιθανότητα διαταραχής της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω και της αυξανόμενης διείσδυσης στα ηλεκτρικά δίκτυα, των ΑΠΕ, προτρέπουν μεγάλες εταιρείες διαχείρισης, σε αναζήτηση νέων εναλλακτικών λύσεων στους παραδοσιακούς παρόχους ενέργειας. Τα συστήματα DER's μπορούν να αποτελέσουν μια τέτοια επιλογή, η μεγάλη διείσδυση των οποίων στα συστήματα ισχύος παρατηρείται σχεδόν σε όλο τον κόσμο [50]. Οι Κατανεμημένοι Ενεργειακοί Πόροι– (DER's) αποτελούνται από πόρους μικρής έως μεσαίας κλίμακας, που συνδέονται κυρίως με τα χαμηλότερα επίπεδα τάσης (δίκτυα διανομής) του συστήματος ή κοντά στους τελικούς χρήστες [51], με το ύψος παραγωγής ισχύος να πλησιάζει περίπου τα 10 MW[52]. Οι κατηγορίες στις οποίες είναι δυνατό να διαχωριστούν οι συγκεκριμένοι πόροι είναι οι ακόλουθες:

- **Κατανεμημένη Παραγωγή (Distributed Generation – DG):** τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας στα δίκτυα διανομής. Η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει μονάδες βιοαερίου και μεταβλητές ΑΠΕ, οι οποίες εξαρτώνται από τις κυμαινόμενες πηγές ενέργειας, όπως την αιολική και την ηλιακή.

- **Αποθήκευση Ενέργειας (Energy Storage):** μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας.

- **Απόκριση Ζήτησης (DP – Demand Response):** αλλαγές στη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας των τελικών χρηστών της, από τις καθημερινές τους συνήθειες.

Οι τεχνολογίες DER's μπορεί να περιλαμβάνουν επίσης ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά πάνελ, κυψέλες καυσίμου, μικρές τουρμπίνες, παλινδρομικούς κινητήρες, τουρμπίνες καύσης και ηλεκτρικά οχήματα [52].

Επίσης, μπορεί να ανήκουν και να λειτουργούν από την εκάστοτε εταιρεία ηλεκτρισμού ή από ανεξάρτητους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους, παρέχοντας αρκετά πλεονεκτήματα στους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας και όχι μόνο:

- Παρέχουν τη δυνατότητα καλύτερης διαχείρισης της κατανάλωσης του ηλεκτρικής ενέργειας και κατ' επέκταση της οικονομικής επιβάρυνσης που επιφέρει.
- Διασφαλίζουν την αξιοπιστία του συστήματος ισχύος, αυξάνοντας τις τρέχουσες ενεργειακές απαιτήσεις του δικτύου.
- Μειωμένες εκπομπές ρύπων.

Τα παραπάνω συστήματα επιτρέπουν σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση να λειτουργεί ανεξαρτήτως του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, είτε λόγω επιλογής, είτε λόγω απαίτησης για λόγους ασφάλειας [53].

Σημειώνεται ότι η απόδοση, το κόστος και η διαθεσιμότητα αυτών των νέων τεχνολογιών DER's, βελτιώνεται και εξελίσσεται με σταθερό ρυθμό τα τελευταία χρόνια. Τέλος, ο κατάλληλος συντονισμός των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας

και των DER's θα προσδώσει στο σύστημα ισχύος μεγαλύτερη ευελιξία, ενισχύοντας έτσι την αποτελεσματικότητά του και την αξιοπιστία του [50].

2.3 Υπηρεσίες Δικτύου, Επιχειρηματικά Μοντέλα και Αγορές

Όπως έχει προαναφερθεί, απαραίτητη προϋπόθεση διατήρησης του σύγχρονου δυτικού πολιτισμού είναι η εύκολη και επαρκής πρόσβαση όλων των οικιακών χρηστών και βιομηχανιών στην ηλεκτρική ενέργεια. Και αυτό συμβαίνει διότι η ηλεκτρική ενέργεια εμπλέκεται σε όλες σχεδόν τις ανθρώπινες δραστηριότητες τα τελευταία χρόνια. Αυτό οδηγεί στην ενεργειακή επιβάρυνση των εταιριών κοινής ωφελείας, οι οποίες έχουν ως βασικό τους στόχο τη διαρκή και επαρκή κάλυψη ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς βέβαια να τίθεται σε κίνδυνο η αξιοπιστία του δικτύου.

Ένα δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, απαιτείται να είναι αξιόπιστο και ασφαλές, έτσι ώστε κάθε χρονική στιγμή να είναι ικανό να ανταπεξέλθει στις ενεργειακές απαιτήσεις. Ένας από τους σημαντικότερους λόγους κατάρρευσης ενός τέτοιου δικτύου, αποτελεί η αναντιστοιχία μεταξύ ζήτησης και προσφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας [9]. Επομένως γεννάται μια σημαντική πρόκληση κάλυψης ζήτησης⁴ της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χρονική στιγμή στη διάρκεια της ημέρας και η οποία γιγαντώθηκε τα τελευταία χρόνια, λόγω της μεγάλης διεύθυνσης των ΑΠΕ⁵ [55], στα ήδη υπάρχοντα συστήματα ισχύος.

Η ενεργειακή αυτή εξέλιξη, απαιτεί το μετασχηματισμό των παραδοσιακών δικτύων στα έξυπνα δίκτυα, γεγονός που θα οδηγήσει σε ένα οικονομικό, αποδοτικό και πιο βιώσιμο ενεργειακό μέλλον [18]. Δηλαδή, γεννάται μια σημαντική διαφορά μεταξύ των συμβατικών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας και των έξυπνων δικτύων, η οποία έγκειται στην ικανότητα που έχουν τα έξυπνα δίκτυα να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται σε πραγματικό χρόνο την παρεχόμενη ενέργεια [35],

⁴ Τα τελευταία χρόνια, κυρίως ο βιομηχανικός κλάδος είναι εκείνος που εμπλέκεται περισσότερο στις αγορές ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μικρότεροι χρήστες (οικιακοί και εμπορικοί πελάτες) παραμένουν ανενεργοί στο να μπορούν να προσφέρουν την δική τους ενέργεια, λόγω των μικρότερων ποσών. Για να μπορούν και οι μικρότεροι χρήστες να συμμετάσχουν στην παροχή ευελιξίας στο δίκτυο θα πρέπει να υπάρχει συνάθροιση ποσών ενέργειας, πολλών μικρότερων χρηστών [54]

⁵ οι ΑΠΕ τροφοδοτούν το σύστημα με μεγάλα ποσά ενέργειας όμως οι θέσεις εγκατάστασής τους είναι συγκεκριμένες σε αντίθεση με τον άνθρακα και την βιομάζα

ενσωματώνοντας ευέλικτες γεννήτριες, φορτία και υπηρεσίες με σκοπό να διατηρείται σε υψηλά επίπεδα η αξιοπιστία του συστήματος [56].

Βέβαια, η μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ επιφέρει στους αγοραστές ηλεκτρικής ενέργειας (καταναλωτές, προμηθευτές ενέργειας κ.λπ.) ένα σημαντικό πλεονέκτημα το οποίο είναι η μείωση του κόστους κεφαλαίου, διότι η συντήρηση και λειτουργία των ΑΠΕ είναι πολύ μικρότερη συγκριτικά με τις μέχρι τώρα συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας [57]. Στις περισσότερες των περιπτώσεων τέτοιες μεταβλητές μονάδες παραγωγής (ΑΠΕ) συνδέονται στο υπάρχον δίκτυο και επωφελούνται από την ήδη υπάρχουσα ευελιξία και ασφάλειά του, αλλά δεν είναι εξ' ολοκλήρου ενσωματωμένες στη λειτουργία του δικτύου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην αναγνωρίζεται άμεσα η αξία των ΑΠΕ στη συμμετοχή παραγωγής μεγάλων ποσών ηλεκτρικής ενέργειας.

Ιστορικά, τα συστήματα ισχύος ήταν ενσωματωμένα με μεγάλες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για τους τελικούς χρήστες και η διαδρομή που ακολουθούσαν μέχρι τον τελικό προορισμό ήταν μονής κατεύθυνσης, με ροή από τις αρχικές μονάδες παραγωγής μέσω των δικτύων μεταφοράς και διανομής, προς τους τελικούς καταναλωτές [58].

Στη σύγχρονη εποχή με τη ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη, υπάρχει πληθώρα νέων τεχνολογιών που τροποποιεί τα συμβατικά παλαιά δίκτυα, με κύριο σκοπό την παραγωγή καθαρότερης και φθηνότερης ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση κυρίως των ΑΠΕ. Η παλιά δομή, μονόδρομη κατεύθυνσης, ενός τέτοιου δικτύου, τροποποιήθηκε, με τη συμμετοχή πολλών φορέων, όπως είναι οι DSO's. Επομένως, εφόσον η διείσδυση των ΑΠΕ τροποποίησε τη δομή των συμβατικών δικτύων, επέφερε και την ανάγκη δημιουργίας κατάλληλων αγορών ευελιξίας.

Στην Ε.Ε, αυτές οι αγορές αποτελούν ένα κατάλληλο εργαλείο για την καλύτερη χρήση των υπάρχοντων συμβατικών δικτύων διανομής, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για νέες επενδύσεις [59]. Δηλαδή πραγματοποιείται προσπάθεια μετασχηματισμού των παλαιών δικτύων σε νέα δομή με κύριο σκοπό τη μείωση του οικονομικού κόστους. Με αυτό τον τρόπο περισσότερες εταιρείες θα αποφασίσουν να

επενδύσουν στον ενεργειακό κλάδο, συνεισφέροντας έτσι στην αναβάθμιση των δικτύων.

Ως γνωστό, βασικό μερίδιο των ΑΠΕ καταλαμβάνει η αιολική και ηλιακή ενέργεια, τα προφίλ κόστους των οποίων είναι σαφώς μικρότερα από τα αντίστοιχα εκείνα των ορυκτών καυσίμων ή φυσικού αερίου, λόγω του ότι οι ΑΠΕ δεν χρησιμοποιούν καύσιμο για αγορά πρώτης ύλης. Η μόνη οικονομική προϋπόθεση που απαιτείται να ληφθεί υπόψη από τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, είναι το αρχικό οικονομικό κόστος εγκατάστασης των νέων μονάδων ενέργειας (π.χ. ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά πάνελ κ.λπ.) [1] Lon [60].

Ο ενεργειακός τομέας για να επωφεληθεί από αυτές τις νέες προαναφερθείσες τεχνολογίες, θα πρέπει να προβεί όχι μόνο σε επενδύσεις αλλά αυτές θα πρέπει να συνοδεύονται από τη χάραξη κοινών πολιτικών, ώστε να είναι ευκολότερη η χρηματοδότηση τέτοιων έργων. Οι κοινές πολιτικές που θα πρέπει να ακολουθηθούν σε παγκόσμια κλίμακα, θα βοηθήσουν τις εκάστοτε κυβερνήσεις να προωθήσουν ευκολότερα τα σχέδια της νέας ενεργειακής δομής, χωρίς μεγάλες αντιδράσεις στο εσωτερικό των χωρών. Ταυτόχρονα, μέσω διαφημιστικής καμπάνιας θα μπορέσουν να προσελκύσουν νέους επενδυτές, επεκτείνοντας με αυτό τον τρόπο την αγορά.

Για την ταχύτερη και ασφαλέστερη ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο δίκτυο, σημαντικός είναι και ο ρόλος των διαχειριστών μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, [Transmission System Operator (TSO)] και [Distribution System Operator (DSO)], οι οποίοι πρέπει με τη σειρά τους να αναπτύξουν νέα εργαλεία, δομές αγοράς με σκοπό να εξισορροπήσουν τους ενεργειακούς πόρους της προσφοράς και ζήτησης. Όπως έχει προαναφερθεί, η προσφορά και ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν σημαντικότερες παραμέτρους που πρέπει να εξισορροπηθούν, έτσι ώστε το δίκτυο να βρίσκεται κάθε στιγμή σε ισορροπία.

Επομένως, αντικειμενικός σκοπός όλων των εμπλεκόμενων φορέων είναι η ύπαρξη ενός ευέλικτου δικτύου, το οποίο θα αυξήσει την ευελιξία του δικτύου και θα μπορέσει ομαλότερα να απορροφήσει τις ΑΠΕ [61].

Ενώ σε ορισμένα συστήματα ισχύος τα στάδια της παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ενέργειας εκτελούνται από έναν μόνο οργανισμό, στα πιο σύγχρονα συστήματα, οι παραπάνω λειτουργίες εκτελούνται με τη συμμετοχή περισσότερων οργανισμών. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί ευθύνη διαφορετικών οργανισμών. Αυτό το μοντέλο (μεταφορά και διανομή ενέργειας από διαφορετικούς οργανισμούς) ενσωματώνει τους διαχειριστές μεταφοράς και διανομής (DSO και TSO) [39].

Για την αύξηση της ευελιξίας ενός δικτύου συστήματος ισχύος υπάρχουν πολλές διαθέσιμες επιλογές. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε βραχυπρόθεσμα είτε μακροπρόθεσμα. Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια αναφορά σχετικά με τη βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη ευελιξία.

2.3.1 Βραχυπρόθεσμη Ευελιξία – Short Term Flexibility

Ως βραχυπρόθεσμη ευελιξία ορίζεται οι αποκλίσεις προς τα άνω και προς τα κάτω, οι οποίες εμφανίζονται μεταξύ προ-ημερήσιου ενεργειακού προγραμματισμού και της λειτουργίας σε πραγματικό χρόνο και οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε μια περίοδο κατανομής (π.χ. δεκαπέντε λεπτά, μισή ή μια ώρα). Οι αποκλίσεις αυτές μπορεί να οφείλονται σε σφάλματα πρόβλεψης των μετεωρολογικών συνθηκών, σε απρόβλεπτες διακυμάνσεις της ζήτησης και σε μη προγραμματισμένες βλάβες μονάδων ή γραμμών μεταφοράς [82].

Οι υπηρεσίες που παρέχει η βραχυπρόθεσμη ευελιξία, καλύπτονται στα σημερινά συστήματα από τις εφεδρείες (κυρίως τη δευτερεύουσα εφεδρεία). Οι εφεδρείες ενεργοποιούνται προκειμένου να εκτελεστούν διορθώσεις στο πρόγραμμα κατανομής, λαμβάνοντας υπόψη τις πιο ακριβείς προβλέψεις για το επίπεδο φορτίου και παραγωγής από ΑΠΕ [83]. Βέβαια, σε ένα σύστημα με μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ, η ανάγκη για βραχυπρόθεσμη ευελιξία μπορεί να ξεπεράσει το ελάχιστο απαιτούμενο επίπεδο εφεδρειών.

Στη σύγχρονη τεχνολογική εποχή τα ευρέως διατιθέμενα προηγμένα ηλεκτρονικά συστήματα ισχύος, καθώς και η τεχνολογία της πληροφορίας επιφορτίζουν με επιπλέον όγκο δεδομένων τα δίκτυα ενέργειας, αλλά ταυτόχρονα παρέχουν το

βασικό πλεονέκτημα στους διαχειριστές – φορείς εκμετάλλευσης αυτών. Αυτό το πλεονέκτημα εστιάζεται στη δυνατότητα ελέγχου των ροών ισχύος και της μεταβλητότητας ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας, κάθε χρονική στιγμή [61].

Επομένως, η ύπαρξη ευέλικτων συστημάτων με τη βοήθεια προηγμένων τεχνολογιών θα βοηθήσει στην ευκολότερη ενσωμάτωση των ΑΠΕ στα υπάρχοντα δίκτυα, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας με χαμηλό σχετικά κόστος και μηδενικούς ρύπους άνθρακα.

Σε χώρες, όπως η Νορβηγία, Γερμανία, Δανία, στις οποίες υπάρχουν απελευθερωμένες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, η βραχυπρόθεσμη - λειτουργική ευελιξία (ή Short-Term Flexibility)⁶ δεν έχει ακόμη εκτιμηθεί.

Οι αγορές επικεντρώνονται στη διασφάλιση ότι το σύστημα ισχύος διαθέτει στο δίκτυό του αρκετές γεννήτριες και ανά πάσα στιγμή μπορεί εύκολα να καλύψει τη μεγάλη και απότομη ζήτηση. Η βραχυπρόθεσμη αυτή μεταβλητότητα έχει αντιμετωπισθεί από μια αγορά βοηθητικών υπηρεσιών, οι οποίες περιλαμβάνουν προϊόντα που έχουν σχεδιασθεί για την υποστήριξη της ευελιξίας του δικτύου. Το συγκεκριμένο είδος ευελιξίας, εν μέρει, παραμελήθηκε από τον κλάδο ενέργειας και δεν αποτέλεσε μέχρι σήμερα αντικείμενο μελέτης.

Οι παραδοσιακές προσεγγίσεις απόκτησης ενεργειακών πόρων, χρησιμοποιούν την εντελώς απαραίτητη (συμβατική) ευελιξία⁷ που τυχόν παρέχουν τα συμβατικά συστήματα ισχύος. Ωστόσο, καθώς εκσυγχρονίζεται το δίκτυο, καθίστανται διαθέσιμες τεχνολογίες για τη φθηνή διαχείριση ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και για την κάλυψη της διαθέσιμης προσφοράς. Για αυτό το λόγο η μεταβλητότητα των ΑΠΕ θα αναγκάσει το σύστημα να διαχειρισθεί καλύτερα την προσφερόμενη ηλεκτρική ενέργεια και επομένως η βραχυπρόθεσμη ευελιξία θα γίνει στο μέλλον πιο σημαντική [61]. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν και κάποιες

⁶ Λέγοντας βραχυπρόθεσμη ευελιξία ενός συστήματος ισχύος εννοείται η ικανότητα του συστήματος να ανταποκρίνεται, κατά την διάρκεια της ημέρας, στις ενεργειακές απαιτήσεις και να εξισορροπείται η προσφορά και ζήτηση της ενέργειας σε καθημερινή ή ωριαία βάση.

⁷ Η ευελιξία των συμβατικών μονάδων παραγωγής είναι η κύρια πηγή ευελιξίας ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και η ανάγκη για την αύξηση της είναι απαραίτητη για την ικανοποίηση των απαιτήσεων που θέτει η διαλειπτόμενη παραγωγή των ΑΠΕ.

περιφέρειες των ΗΠΑ, όπως είναι η Καλιφόρνια, η Χαβάη κ.λπ. οι οποίες έχουν αρχίσει να εστιάζουν σε θέματα βραχυπρόθεσμης - λειτουργικής ευελιξίας.

2.3.2 Μακροπρόθεσμη Ευελιξία – Long Term Flexibility

Η μακροπρόθεσμη ευελιξία ή αλλιώς Long-Term Flexibility, αναφέρεται στον κατάλληλο σχεδιασμό των δικτύων και κατ' επέκταση των συστημάτων ισχύος, με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να διαχειρίζονται με ασφάλεια την προσφερόμενη από τις ΑΠΕ ενέργεια και ταυτόχρονα να υπάρχει εξισορρόπηση της ηλεκτρικής ενέργειας για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Πέραν της ευελιξίας που πρέπει να έχει ένα σύστημα μεταξύ διαδοχικών ωρών και βδομάδων, είναι αναγκαία και η ευελιξία σε επίπεδο εποχής, τόσο προς τα πάνω όσο και προς τα κάτω. Η μακροπρόθεσμη ευελιξία σχετίζεται με την κάλυψη των αναντιστοιχιών μεταξύ της ζήτησης και προσφοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλο χρονικό διάστημα, που προκαλείται από τις εβδομαδιαίες και εποχιακές διακυμάνσεις του επιπέδου ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και την παραγωγή από τη μεταβλητή παραγωγή των ΑΠΕ [82].

Λόγω των αυξανόμενων ενεργειακών πόρων στην σύγχρονη εποχή (μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ), οι σχεδιαστές δικτύων των συστημάτων ισχύος και οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται να ασχοληθούν στο μέλλον εντατικά με σκοπό να διασφαλίσουν επαρκή ευέλικτη χωρητικότητα (τα αιολικά πάρκα παρέχουν μεγάλα ποσά ενέργειας τις ημέρες όπου η ένταση των ανέμων είναι μεγάλη, όμως τα παραγόμενα αυτά, μπορεί να μην απαιτείται να προσφερθούν τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο και επομένως για να μη χαθούν, θα πρέπει να υπάρξουν ειδικές μπαταρίες αποθήκευσής της για μελλοντική της χρήση). Επομένως διαπιστώνεται ότι στις απελευθερωμένες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, είναι σημαντική η εξέταση του τρόπου βάσει του οποίου θα διασφαλισθεί ότι η αγορά θα είναι στο μέλλον ικανή να παράξει επαρκή ευέλικτη ικανότητα [61], έτσι ώστε η διείσδυση των ΑΠΕ στα συμβατικά συστήματα ισχύος να μη διαταράξει την ομαλή τους λειτουργία⁸.

⁸ Τα συμβατικά συστήματα ισχύος κατέχουν ένα επίπεδο ευελιξίας, το οποίο, λόγω της διείσδυσης των ΑΠΕ, απαιτείται να αυξηθεί για να υπάρξει εξισορρόπηση μεταξύ προσφερόμενης και

2.3.3 Βελτιωμένες Λειτουργίες

Η ευελιξία ενός συστήματος ισχύος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με τη χρήση κάποιων λειτουργιών - εφαρμογών. Μια τέτοια λειτουργία αποτελεί και η έγκαιρη μετεωρολογική πρόγνωση του καιρού, η οποία μπορεί να δώσει πληροφορίες αναφορικά με το είδος των ΑΠΕ, που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για τη μέγιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επισημαίνεται, ότι τα επίπεδα ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλουν εντός του έτους, ανάλογα με το συνδυασμό διάφορων παραγόντων. Κάθε χώρα εμφανίζει διαφορετικά επίπεδα ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε όλες τις εποχές, αναλόγως των καιρικών συνθηκών, τη δομή της οικονομίας, τις συνήθειες των καταναλωτών [82].

Μία υψηλής ποιότητας μετεωρολογική πρόγνωση, μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια την απόδοση του συστήματος σε διάστημα δύο έως έξι ωρών και επομένως να βελτιώσει σημαντικά την αξιοπιστία του συστήματος [61].

Επίσης, ένας άλλος τρόπος βελτίωσης της ευελιξίας ενός συστήματος ισχύος, είναι η ενοποίηση διαφορετικών περιοχών εξισορρόπησης μεταξύ παροχούμενης και ζητούμενης ενέργειας. Αυτό μπορεί εύκολα να επιτευχθεί με τη συγχώνευση υφιστάμενων περιοχών εξισορρόπησης, καθώς επίσης και με το να επιτρέπεται το εμπόριο της ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των υφιστάμενων περιοχών. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας βελτιωμένης λειτουργίας, αναφέρεται στις δυτικές περιοχές των ΗΠΑ, στις οποίες ειδικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας αναπτύσσονται με σκοπό την ανταλλαγή υπηρεσιών εξισορρόπησης μεταξύ διαφορετικών περιφερειών, οι οποίες μέχρι πρότινος λειτουργούσαν ανεξάρτητα [61].

Επίσης, μεταξύ Γερμανίας και Νορβηγίας, έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα βάσει του οποίου υπάρχει ανταλλαγή ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των χωρών, ανάλογα με την καλύτερη κάθε φορά τιμή αγορά της. Η Νορβηγία (μια από τις χώρες με τα

ζητηθείσας ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ΑΠΕ αναλόγως της τοποθεσίας που είναι εγκατεστημένες, μεταβάλλουν και το προσφερόμενο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που προσθέτουν στο συμβατικό σύστημα.

μεγαλύτερα ποσά παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας), μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια στη Γερμανία, όταν παράγονται από εκείνη τεράστια ποσά ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση του νερού. Και αντίστροφα, η Γερμανία προσφέρει στη Νορβηγία ηλεκτρική ενέργεια, παραγόμενη από τα αιολικά της πάρκα, τις ημέρες εκείνες όπου τα αιολικά πάρκα αποδίδουν, λόγω κατάλληλων καιρικών συνθηκών, τεράστια ποσά ενέργειας.

2.3.4 Πόροι Ευελιξίας

Η παροχή ευελιξίας στο δίκτυο μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους, τόσο στο βραχυπρόθεσμο πλαίσιο λειτουργίας όσο και στο μακροπρόθεσμο χρονοδιάγραμμα προγραμματισμού. Επίσης, μπορεί να επιτευχθεί τόσο με τη χρήση φυσικών στοιχείων – πόρων (π.χ. χρήση ειδικών μπαταριών αποθήκευσης, ειδικές εγκαταστάσεις φυσικού αερίου, υδροηλεκτρικά εργοστάσια κ.λπ.) όσο και από την εκτέλεση συγκεκριμένων βελτιωμένων λειτουργιών βάσει ειδικού προγραμματισμού των δικτύων (π.χ. καλή και έγκαιρη πρόγνωση των μετεωρολογικών συνθηκών του εκάστοτε τόπου, δυνατότητα επιλογής κάθε χρονική στιγμή της οικονομικότερης λύσης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας). Μία σύγκριση μεταξύ των φυσικών στοιχείων – πόρων και των βελτιωμένων λειτουργιών προς επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου παροχής ευελιξίας, θα οδηγούσε στο γενικό συμπέρασμα ότι οι ανωτέρω βελτιωμένες λειτουργίες κοστίζουν λιγότερο στις αγορές από τη χρήση των φυσικών πόρων. Στη συνέχεια θα ακολουθήσει μια αναφορά των πόρων ευελιξίας.

• Απόκριση Ζήτησης – Demand Response

Ένας σημαντικός τρόπος αύξησης της ευελιξίας ενός συστήματος ισχύος, είναι η καλή διαχείριση ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία στον ενεργειακό τομέα αναφέρεται ως Demand Response (Απόκριση Ζήτησης). Η απόκριση ζήτησης δεν αναφέρεται τόσο στην προσφερόμενη ενέργεια, αλλά εστιάζει στην πλευρά ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων, τα οποία όταν υπάρχει μεγάλη προσφορά ενέργειας μπορούν να φορτίζονται, ενώ σε

περιόδους χαμηλής προσφερόμενης ενέργειας έχουν τη δυνατότητα να επιστρέφουν μέρος της αποθηκευμένης τους ενέργεια στο δίκτυο του συστήματος ισχύος, ενισχύοντάς το [61]. Διαπιστώνεται ότι η απόκριση ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό τη σωστή ενεργειακή διαχείριση του συστήματος ισχύος.

Τέλος, οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας έχουν τη δύναμη να αυξήσουν την ευελιξία ενός δικτύου, καθώς μεταμορφώνονται από παθητικοί αγοραστές σε πιο ενεργούς χρήστες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι ιδιοκτήτες αγροτεμαχίων, κάποιοι από τους οποίους μη έχοντας κάποια ασχολία με τη γεωργία, αποφασίζουν να συνεργασθούν με τους εκάστοτε διαχειριστές μεταφοράς, τοποθετώντας ηλιακά πάνελ στα αγροτεμάχια. Με αυτό τον τρόπο οι ίδιοι μεταμορφώνονται σε επιμέρους διαχειριστές του δικτύου ενέργειας και μπορούν με αυτό τον τρόπο να «βοηθήσουν» στην επέκταση του δικτύου και την ευελιξία του συστήματος.

• **Υποδομή Δικτύου – Grid Infrastructure**

Όπως έχει προαναφερθεί, η δημιουργία περισσότερων ενεργειακών δρόμων στο υπάρχον δίκτυο ενός συστήματος ισχύος, δίνει τη δυνατότητα αποφυγής της συμφόρησής του και ταυτόχρονα δίνεται η δυνατότητα στους διαχειριστές της ηλεκτρικής ενέργειας, να εξυπηρετούν ταυτόχρονα πολλούς πελάτες σε διαφορετικά μήκη και πλάτη ενός κράτους. Αυτό βέβαια προϋποθέτει σωστή και ολοκληρωμένη κοινή πολιτική από τα κράτη και τους διεθνείς οργανισμούς. Επομένως, μια βελτιωμένη υποδομή δικτύου για μεταφορά και διανομή ενέργειας έχει την ικανότητα να αυξήσει την ευελιξία ενός συστήματος.

Η αυξημένη ικανότητα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέπει η μεταφορά της να πραγματοποιείται ευκολότερα και ταυτόχρονα περισσότεροι ενεργειακοί πόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν στην εξισορρόπηση μεταξύ της προσφερόμενης και ζητηθείσας ενέργειας, χωρίς το δίκτυο να καταρρεύσει. Ομοίως, η αυξημένη ικανότητα μεταφοράς που συνδέει τις περιοχές εξισορρόπησης, σημαίνει ότι οι φορείς εκμετάλλευσης, σε διαφορετικές περιοχές μπορούν να αγοράζουν και να πωλούν ηλεκτρική ενέργεια ο ένας από τον άλλον.

Αυτό επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης, να αξιοποιούν τους πόρους πολλαπλών περιοχών για να εξισορροπήσουν τη μεταβλητότητα και να εισάγουν ηλεκτρική ενέργεια όταν οι τοπικές τιμές είναι υψηλές ή να εξάγουν ηλεκτρική ενέργεια όταν υπάρχει πλεόνασμα και οι τιμές είναι χαμηλές. [61]

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Αυστρία και Ελβετία, κράτη τα οποία εισάγουν ηλεκτρική ενέργεια από την Γερμανία, λόγω του ότι η τιμή πώλησής της είναι καλύτερη από εκείνη των ίδιων των κρατών. Βέβαια για να υπάρξει αυξημένη ικανότητα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, απαιτείται η ύπαρξη ενός κατάλληλα δομημένου δικτύου στο οποίο θα αποφεύγεται οποιαδήποτε συμφόρηση. Επομένως, χωρίς κατάλληλη δομή δικτύου δεν μπορεί να επιτευχθεί ομαλή ροή ηλεκτρικής ενέργειας.

● *Ευέλικτη Παραγωγή – Flexible Generation*

Πέρα από τους παραπάνω παράγοντες που βοηθούν στην ανάπτυξη της ευελιξίας ενός συστήματος ισχύος, καθοριστικός είναι και ο ρόλος μιας ευέλικτης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Λέγοντας ευέλικτη παραγωγή δεν αποκλείουμε τη χρήση των συμβατικών πηγών παραγωγής ενέργειας. Όπως έχει προαναφερθεί ακόμη και οι συμβατικές μονάδες κατέχουν ένα είδος ευελιξίας. Ο όρος «ευέλικτη παραγωγή» εστιάζει στο να διατηρηθούν στο προσκήνιο παραγωγής ενέργειας, όλες οι συμβατικές μονάδες, ανεξαρτήτως της τεράστιας χρήσης των ΑΠΕ και να αποτελέσουν ένα μεταβατικό στάδιο, όπου τα συστήματα ισχύος θα κάνουν ταυτόχρονη χρήση και των δύο επιλογών (συμβατικές και ΑΠΕ). Το ότι οι ΑΠΕ διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο τα τελευταία χρόνια, αυτό δεν αποκλείει την ευεργετική δυνατότητα που έχουν άλλες μορφές, όπως είναι το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο και τα ορυκτά καύσιμα. Η μετάβαση προς χρήση και εκμετάλλευση των ΑΠΕ σε ποσοστό 100%, παρόλο που αποτελεί μελλοντικό σχέδιο για πολλά κράτη παγκοσμίως, δεν σημαίνει ότι θα πρέπει να παραμεληθούν άλλες πηγές ενέργειας.

Κατά δεύτερο, η μετάβαση θα πρέπει να λάβει χώρα σταδιακά, έτσι ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε ενεργειακή κατάρρευση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ενεργειακή κρίση που έχει γεννηθεί λόγω του πολέμου μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας. Η έναρξη του πολέμου έφερε την ενεργειακή αξία των ορυκτών

καυσίμων στο προσκήνιο, ενισχύοντας έτσι τη σκέψη ότι μια ευέλικτη παραγωγή που προκύπτει από τη συνεργασία πολλών μορφών ενέργειας, αποτελεί το καλύτερο μεταβατικό στάδιο.

Έρευνες έχουν δείξει ότι οι μονάδες παραγωγής ενέργειας από άνθρακα, αν και παραδοσιακά θεωρούνται σχετικά άκαμπτες, μπορούν στην πραγματικότητα να παρέχουν ευέλικτη παραγωγή, εάν έχουν τις απαραίτητες τεχνικές και λειτουργικές αναβαθμίσεις. Επίσης, τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια μπορούν να παρέχουν σημαντικό βαθμό ευελιξίας, τόσο από πλευράς προσφοράς (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως απαιτείται) όσο και ζήτησης (άντληση για αναπλήρωση δεξαμενών σε περιόδους υπερβολικής προσφοράς) [61].

Βέβαια, η διατήρηση των συμβατικών πηγών ενέργειας στο ενεργειακό προσκήνιο συνεπάγεται και επιπλέον κόστος για τους διαχειριστές. Σημειώνεται, ότι η μετάβαση ενός σταθμού παραγωγής ενέργειας από άνθρακα σε πιο σύγχρονες μορφές ενέργειας, απαιτεί την επένδυση μεγάλων κεφαλαίων που πρέπει να επωμισθούν τόσο οι διαχειριστές όσο και τα κράτη. Επομένως συνεπάγεται και μια μετακύλιση της οικονομικής επιβάρυνσης στους καταναλωτές. Για να αποφευχθεί μια τεράστια οικονομική χρέωση σε εκείνους, οι διαχειριστές εκμετάλλευσης της ενέργειας πρέπει να χρησιμοποιήσουν κατάλληλους μηχανισμούς αντιστάθμισης και απορρόφησης των τιμών.

Για παράδειγμα, όταν σε έναν τόπο στον οποίο υπάρχουν αρκετές ανεμογεννήτριες, οι καιρικές συνθήκες δεν ευνοούν την παροχή αιολικής ενέργειας και ταυτόχρονα οι μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας δεν έχουν μεγάλη χωρητικότητα που θα ικανοποιήσουν τις ανάγκες των χρηστών, είναι αναπόφευκτη η χρήση των συμβατικών πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου και πάλι από εκείνες, οι φορείς εκμετάλλευσης θα πρέπει να επιλέξουν από που θα προμηθευτούν ενέργεια (από μονάδες φυσικού αερίου ή καύσης άνθρακα αναλόγως της τιμής τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή).

- **Αποθήκευση Ενέργειας – Energy Storage**

Τα τελευταία χρόνια η αποθήκευση ενέργειας έχει κερδίσει το ενδιαφέρον του ενεργειακού κλάδου λόγω της προόδου στην τεχνολογία αποθήκευσης, της αύξησης των τιμών των ορυκτών καυσίμων και της αύξησης διείσδυσης των ΑΠΕ [62].

Βασική διαφορά μεταξύ της ηλεκτρικής ενέργειας και των υπολοίπων παραγόμενων αγαθών μιας σύγχρονης κοινωνίας, είναι ότι η μαζική αποθήκευσή της είναι τεχνικά δύσκολη υπόθεση όσο και ακριβό εγχείρημα. Λόγω όμως της σημασίας που η δυνατότητα αποθήκευσης έχει για τη μείωση του κόστους καθώς και την ασφαλή και διαρκή τροφοδοσία της αγοράς με οποιοδήποτε αγαθό, η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να επιφέρει σημαντικά οφέλη στην ασφαλή και οικονομική λειτουργία ενός δικτύου διανομής (Δ.Δ) και κατ' επέκταση ενός Σταθμού Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) [63].

Επομένως στη σύγχρονη εποχή όπου οι ΑΠΕ βρίσκονται στο επίκεντρο, οι παράγοντες της αγοράς και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής δεν μπορούν να παραβλέψουν την ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας και άρα την ανάγκη ύπαρξης ευέλικτων μονάδων. Άρα, οι τεχνολογίες αποθήκευσης αναμένεται να διαδραματίσουν έναν σημαντικό ρόλο στον ενεργειακό κλάδο τα επόμενα έτη.

Γενικά, υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, οι οποίες χαρακτηρίζονται από την αποθήκευση ενέργειας και την ικανότητα ισχύος, όπου μια μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης επιτρέπει στο σύστημα να ανταποκρίνεται σε μεγαλύτερες αναντιστοιχίες ζήτησης και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας [62].

Η αποθήκευση της ενέργειας είναι ένας μηχανισμός που επιτρέπει σε κάποιον να αποθηκεύει την ενέργεια που παράγεται κάποια χρονική στιγμή (συνήθως όταν η ζήτηση είναι χαμηλή ή όταν υπάρχει υπερπροσφορά) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί αργότερα (συχνά όταν η ζήτηση είναι υψηλή) [64], όποτε αυτό απαιτηθεί. Χαρακτηριστικό παράδειγμα που έχει προαναφερθεί είναι η χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων, τα οποία σε περιόδους μικρής ζήτησης ενέργειας μπορούν να επιστρέφουν ενέργεια στο δίκτυο.

Αποθήκευση ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς τρόπους, όπως:

- Αποθήκευση ενέργειας σε τέτοια μορφή ώστε να είναι εφικτό να ξαναπάρουμε πίσω. Τέτοιο παράδειγμα είναι οι αποθηκευτικές διατάξεις όπως οι μπαταρίες.
- Μετατροπή ενέργειας σε θερμότητα ή της θερμότητας που παράγεται από κάποια διεργασία παραγωγής ηλεκτρισμού προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως θερμική ενέργεια σε μεταγενέστερη χρονική στιγμή.
- Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για παραγωγή αποθήκευση κάποιας μορφής πηγής ενέργειας, π.χ. υδρογόνο ή κάποιου άλλου αγαθού π.χ. συμπιεσμένο CO₂, νερό, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε κάποια άλλη χρονική στιγμή.
- Προγράμματα Διαχείρισης της ζήτησης με ενεργό συμμετοχή των φορτίων [63].

Επομένως, διαπιστώνεται ότι η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να προσφέρει ευελιξία στο σύστημα ισχύος. Όμως τα τελευταία χρόνια μια από τις συχνότερες εφαρμογές αποθήκευσης που προαναφέρθηκαν, αποτελούν οι μπαταρίες, οι οποίες όμως παρά την ευρέα χρήση τους εξακολουθούν να είναι ακριβές για αποθήκευση μεγάλων ποσών ενέργειας και για μεγάλη χρονική διάρκεια. Πάρα ταύτα το κόστος μπορεί να μειωθεί εφόσον συνεχιστούν οι μελέτες – έρευνες στο συγκεκριμένο κλάδο. Μελέτες έχουν δείξει ότι το κόστος αποθήκευσης, τα τελευταία πέντε χρόνια έχει μειωθεί περίπου 80% [61].

• *Έξυπνα δίκτυα και ψηφιακές τεχνολογίες – Smart grid and digital technologies*

Το μεταβαλλόμενο ενεργειακό σενάριο στην Ευρώπη και όχι μόνο, απαιτεί μια δραματική επανεξέταση του τρόπου με τον οποίο θα διατηρηθεί μια σταθερότητα στην παραγωγή και διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα για τη διατήρηση του χαμηλού κόστους αγοράς ενέργειας και των υπάρχοντων συμβατικών υποδομών, απαιτείται μια καλύτερη χρήση των νέων πηγών ενέργειας. Αντί της επέκτασης - ενίσχυσης της υπάρχουσας υποδομής, η οποία είναι εξαιρετικά δαπανηρή για τις τοπικές κοινότητες και τα κράτη, εισάγονται συμπληρωματικές λύσεις νέων τεχνολογιών με τη βοήθεια της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών [Information and Communication Technologies - ICT's], με σκοπό να επιλύουν τη συμφόρηση του δικτύου και να είναι σε θέση να διαχειρίζουν τη μεταβλητότητα της

παρεχόμενης ισχύος από τις ΑΠΕ. Αυτός ο συνδυασμός λύσεων είναι αυτό που συνήθως αναφέρεται ως έξυπνο δίκτυο [53].

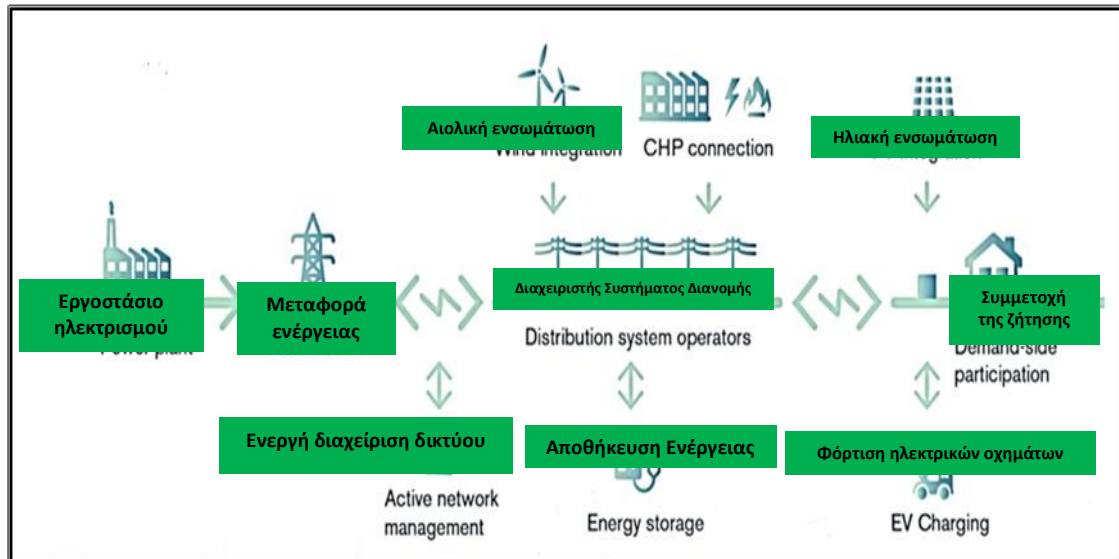
Η αυξανόμενη ανάπτυξη τέτοιων νέων έξυπνων τεχνολογιών στα υπάρχοντα δίκτυα, όπως είναι η έξυπνη μέτρηση, οι συσκευές αυτοματισμού κ.λπ. στα βιομηχανικά συστήματα, ενθαρρύνει επίσης την ανάπτυξη προηγμένων αλγορίθμων για το βέλτιστο έλεγχο του φορτίου [40]. Οι έξυπνες αυτές νέες τεχνολογίες χρησιμοποιούν διάφορα εργαλεία προσομοίωσης με τη βοήθεια υπολογιστών, τα οποία αναλύουν όλες τις ενεργειακές ροές και ταυτόχρονα μπορούν να αξιολογούν τον ενεργειακό και οικονομικό αντίκτυπο ολόκληρου του συστήματος [65].

Σημαντικό ρόλο για την επιβίωση των δικτύων στο μέλλον, αναλαμβάνουν και οι DSO's, οι οποίοι καλούνται να αναπτύξουν νέες τεχνολογίες. Κάποια παραδείγματα τέτοιων νέων τεχνολογιών είναι διάφοροι αισθητήρες που τοποθετούνται πάνω στις γραμμές μεταφοράς κατά μήκος των δικτύων, έξυπνοι μετρητές ισχύος – ενέργειας, η ρομποτική και η τεχνητή νοημοσύνη.

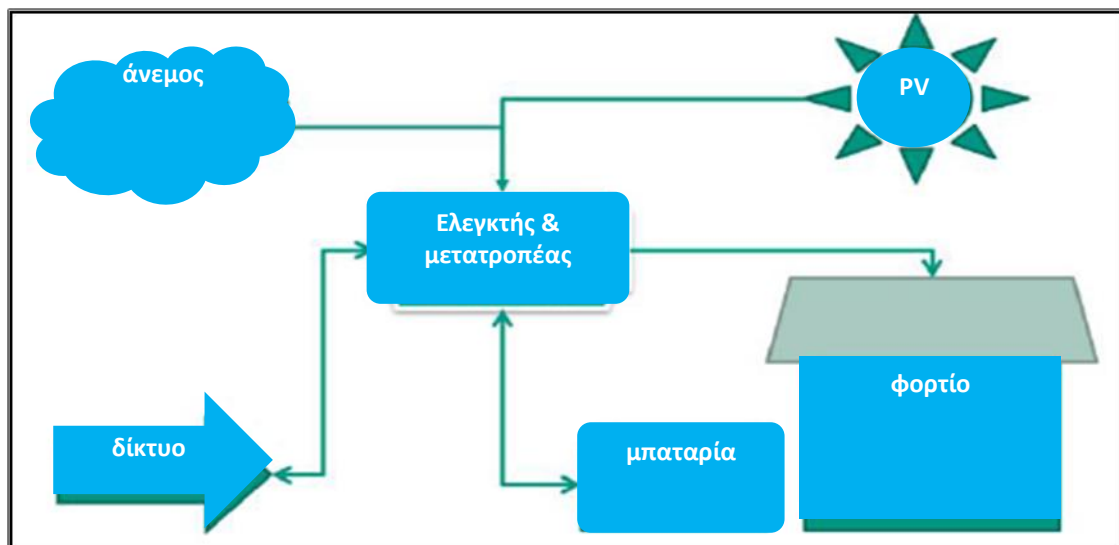
Όλες οι παραπάνω νέες τεχνολογίες παρέχουν στο δίκτυο έναν αυτοματοποιημένο έλεγχο της τάσης του και αν χρειασθεί, αυτόματη αναδιάταξη του δικτύου, έτσι ώστε να αποφευχθεί ένα επιπλέον φορτίο ηλεκτρικής ενέργειας στη διανομή της, μεταφέροντας ένα μέρος της επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα γειτονικό δίκτυο, με σκοπό την ενεργειακή του εξυπηρέτηση.

Ένας άλλος ορισμός του έξυπνου δικτύου είναι ο εξής: «*έξυπνα δίκτυα (Smart grids) είναι εκείνα τα δίκτυα τα οποία κάνουν χρήση όλων των έξυπνων τεχνολογιών*».

Μια διάταξη ενός τέτοιου δικτύου φαίνεται στις **Εικόνες 6 & 7**.



Εικόνα 6: Διάταξη ενός έξυπνου δικτύου



Εικόνα 7: Σύστημα κατακεντρωμένης ενέργειας

Επομένως, παρατηρείται ότι ένα τέτοιο δίκτυο εμπεριέχει πολλές λειτουργίες και εφαρμογές, κάτι που πρέπει να διαχειρισθεί κατάλληλα, ώστε να έχουμε το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα. Η παρουσία των DSO's, οι οποίοι συμμετέχουν ενεργά στον ενεργειακό κλάδο, όσο και των κατακεντρωμένων ενεργειακών πόρων (DER's) και των καταναλωτών – χρηστών, είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη τέτοιων δικτύων.

Βέβαια, προϋποθέτει συνεργασία-αλληλεπίδραση των DSO's με τους καταναλωτές και των DER's. Μια απλή προσέγγιση σε αυτή την κατεύθυνση είναι η υποχρέωση των μονάδων DER's να συμμορφώνονται με ορισμένες απαιτήσεις επικοινωνίας που αποστέλλονται από τους DSO's.

Όλες οι παραπάνω ψηφιακές διευκολύνσεις δίνουν τη δυνατότητα μεταφοράς πληροφοριών, σε πραγματικό χρόνο από τις DER's στους διαχειριστές διανομής. Βέβαια, για να επιτευχθούν όλα αυτά τα σχέδια, όπως είναι η εγκατάσταση ειδικών αισθητήρων στο δίκτυο, η χρήση τεχνητής νοημοσύνης κ.λπ., απαιτούνται να ακολουθηθούν και πάλι από τα κράτη της ΕΕ και όχι μόνο, συγκεκριμένες πολιτικές χάραξης και να εφαρμοσθούν συγκεκριμένα ρυθμιστικά πλαίσια, τα οποία θα ευνοούν την εκτέλεση τέτοιων ενεργειών.

Για αυτό το λόγο, η ΕΕ βρίσκεται στο σωστό δρόμο αυτής της μεταρρύθμισης, η οποία έδωσε οδηγία στα κράτη μέλη της να έχουν αναβαθμίσει τους μετρητές των δικτύων στο 80% έως το 2020 [42]. Το Ηνωμένο Βασίλειο σχεδίασε να αναπτύξει έξυπνους μετρητές σε περίπου 50 εκατομμύρια νοικοκυριά έως και το 2020. Η Ιταλία, ως μέντορας στους έξυπνους μετρητές, έχει θέσει ήδη σε λειτουργία πάνω από 30 εκατομμύρια έξυπνες συσκευές μέτρησης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος το έργο ELSA (Energy Local Storage Advanced system) [66], που χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στο πλαίσιο του προγράμματος Horizon 2020, στοχεύει στην εφαρμογή εφαρμογών ευελιξίας που προσφέρει η ενσωμάτωση καταναμημένων συστημάτων αποθήκευσης μικρού και μεσαίου μεγέθους, σε συνδυασμό με τη διαχείριση φορτίου και τοπική ανανεώσιμη παραγωγή, με απώτερο στόχο την ενεργοποίηση υπηρεσιών έξυπνου δικτύου [67].

2.4 Ευελιξία σε Ευρώπη και Αμερική

Τον Ιούνιο του 2004, εκπρόσωποι από περισσότερες από 150 χώρες συναντήθηκαν στη διάσκεψη Renewable2004 στη Βόννη της Γερμανίας και υιοθέτησαν μια πολιτική δήλωση και ένα διεθνές πρόγραμμα δράσης για την ενίσχυση – προώθηση χρήσης των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με κύριο σκοπό τη μείωση των αέριων ρύπων και την προστασία του περιβάλλοντος. Το διεθνές πρόγραμμα δράσης περιλάμβανε περισσότερες από 150 εθνικές και διεθνείς δραστηριότητες για τη στήριξη των ΑΠΕ, συμπεριλαμβανομένου του κινεζικού στόχου επέκτασης των ΑΠΕ στο 10% έως το 2010 και του στόχου των Φιλιππίνων για διπλασιασμό της χρήσης τους έως το 2013 [68].

Περίπου δέκα χρόνια αργότερα, το 2015 υπεγράφη η Συμφωνία του Παρισιού που έθετε τις προϋποθέσεις για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου παγκοσμίως. Στόχος της συγκεκριμένης συμφωνίας ήταν η διατήρηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη κάτω από τους $2^{\circ}C$. Αυτό βέβαια δημιούργησε πολύ ισχυρές πιέσεις για το μέλλον στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, λόγω του εξαναγκασμού πολλών βιομηχανιών να ακολουθήσουν συγκεκριμένες πολιτικές. Συνολικά, οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου υπολογίστηκαν σε $51,9GtCO_2e/έτος$ το 2016, αύξηση 0,5% σε σχέση με το 2015 [55].

Τα περισσότερα κράτη μέλη έχουν στόχο να επιτύχουν επίσης τους δικούς τους στόχους για τις ΑΠΕ, όπου με την ενσωμάτωση στα δίκτυά τους, θα καταφέρουν και να επιτύχουν τους περιβαλλοντικούς τους στόχους, αλλά επιπλέον να ενισχύσουν τα δίκτυά τους.

Παγκοσμίως, 8 έθνη είχαν θεσμοθετήσει την άμεση απεξάρτησή τους από τη χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, με τη συμμετοχή μόνο των ΑΠΕ [2]. Μελέτες αποδεικνύουν ότι το μερίδιο των ΑΠΕ στο ενεργειακό τομέα χρειάζεται να υπερδιπλασιασθεί, σε σύγκριση με τα τρέχοντα δεδομένα, έτσι ώστε η ηλιακή και αιολική ενέργεια να αντιπροσωπεύει το 60% της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι πολλές χώρες θα χρειαστεί να μετατρέψουν σταδιακά τα συστήματα ισχύος τους σε συστήματα που θα περιλαμβάνουν ηλιακά και αιολικά πάρκα, με σκοπό να γίνουν ραχοκοκαλιά παροχής ηλεκτρικής ενέργειας [4]. Οι βασικοί παράγοντες διείσδυσης των ΑΠΕ στα συστήματα ισχύος των περισσότερων κρατών παγκοσμίως, μεταξύ άλλων είναι η προστασία του περιβάλλοντος (μόλυνση περιβάλλοντος από τις εκπομπές αερίου άνθρακα) και η απεξάρτηση των χωρών από τη χρήση πυρηνικών αντιδραστήρων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Βέβαια, η τεράστια διείσδυση των ΑΠΕ στα συστήματα ισχύος απαιτεί σωστούς χειρισμούς από τα κράτη, με σωστή χάραξη πολιτικών και ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και αυτό διότι η αυξανόμενη διείσδυση άνω του 25% απαιτεί αυξημένη ευελιξία, ώστε οι χειριστές συστημάτων μεταφοράς και οι χειριστές

συστημάτων διανομής να αποφεύγουν τις διαταραχές του δικτύου, να διαχειρίζονται την τοπική ισχύ για να αποφύγουν απώλειες μεταφοράς και να είναι σε θέση ανά πάσα στιγμή να εξασφαλίζουν τη σταθερότητα και ασφάλεια του δικτύου [67].

Επίσης, δίνεται έμφαση στην ύπαρξη κοινής πολιτικής γραμμής – θέλησης από τα κράτη, διότι άλλα κράτη είναι οικονομικά ευημερή ενώ άλλα όχι, με αποτέλεσμα τα φτωχότερα κράτη, ενώ έχουν τις κατάλληλες προϋποθέσεις ενσωμάτωσης των ΑΠΕ στα δίκτυά τους, από την άλλη πλευρά δεν έχουν την οικονομική άνεση να επενδύσουν για την επέκταση των υπαρχόντων δικτύων τους.

Επομένως, στην προσπάθεια πολλών κρατών για μείωση των εκπομπών αερίου άνθρακα και απεμπλοκή τους από τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας, πολλές Κυβερνήσεις υιοθέτησαν τη χάραξη νέων πολιτικών στον τομέα της ενεργειακής πολιτικής. Βέβαια η ενσωμάτωση των ΑΠΕ στα ήδη υπάρχοντα συστήματα ισχύος θα έπρεπε να μελετηθεί με κατάλληλο τρόπο που θα διασφάλιζε την ασφαλή λειτουργία του συστήματος [36], αξιοποιώντας βιώσιμες φυσικές πηγές και μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις [69, 70].

2.4.1 Ευρώπη

Η μέση θερμοκρασία στον κόσμο έχει αυξηθεί κατά 0.8 βαθμούς κελσίου από τις αρχές του εικοστού αιώνα, λόγω της αύξησης των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει περιγράψει φιλόδοξους στόχους για τη μείωση αυτής της επικίνδυνης τάσης [65].

Στις περισσότερες χώρες της Ε.Ε, τα κτίρια ευθύνονται για το 40% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται και ταυτόχρονα για το 36% των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα [71]. Επομένως, είναι επιτακτική η ανάγκη για χάραξη πολιτικών με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και την ανάπτυξη καινοτόμων προγραμμάτων που μπορούν να επηρεάσουν τη μείωση της ενεργειακής ζήτησης.

Για αυτό το λόγο τα ευρωπαϊκά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας υφίστανται ριζικό μετασχηματισμό, με σημαντική μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, με τη

χρήση ΑΠΕ [55], (φωτοβολταϊκά πάνελ, αιολικά πάρκα, υδροηλεκτρικά εργοστάσια κ.λπ.), έτσι ώστε να αντιμετωπισθεί επιτυχώς η κλιματική αλλαγή [29].

Ειδικότερα, το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ιδίως στην Κεντρική Ευρώπη επηρεάζεται από δύο βασικές τάσεις. Πρώτον, οι πολιτικές κατάργησης των πυρηνικών αντιδραστήρων για παραγωγή ενέργειας και δεύτερον, η προαναφερθείσα απαλλαγή από τη χρήση ορυκτών καυσίμων [33], πολιτικές βασιζόμενες σε αποφάσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Ενέργειας, για απεμπλοκή της Ε.Ε από τη χρήση άνθρακα έως το 2030 [34].

Αυτές οι δύο βασικές τάσεις σε συνδυασμό με την προσπάθεια μεταρρύθμισης, δεν αποτελεί αντικείμενο συζήτησης – μελέτης μόνο των μηχανικών, αλλά και πολλών άλλων εμπλεκόμενων φορέων, όπως εκείνοι του οικονομικού κλάδου που μελετάνε τον τρόπο αυτής της ενεργειακής μετάβασης. Αυτό συμβαίνει διότι η ενέργεια συνδέεται άμεσα με το οικονομικό κόστος της κατανάλωσης, κάτι το οποίο επηρεάζει σε τελική φάση όλους τους καταναλωτές. Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη και η αναφορά της ενεργειακής κρίσης που έχει επηρεάσει τα οικονομικά πολλών Ευρωπαϊκών κρατών, λόγω της πολεμικής σύγκρουσης της Ρωσίας με την Ουκρανία.

Επομένως, ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη επιβάλλεται να εξελιχθεί γρήγορα με επιδίωξη πολλών στόχων, μεταξύ των οποίων είναι η μετάβαση σε καθαρότερη ενέργεια και η δημιουργία μιας μοναδικής Ευρωπαϊκής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία οδηγεί σε ασφαλή τρόπο διαχείρισης των υπαρχόντων δικτύων [72], με τις ελάχιστες δυνατές επενδύσεις.

Βέβαια, αυτή η ενεργειακή μετάβαση έκανε την εμφάνισή της λόγω της προαναφερθείσας διεύθυνσης στα συστήματα ισχύος των ΑΠΕ, απαιτώντας ταυτόχρονα μεγαλύτερη ευελιξία από τα συστήματα ισχύος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν μεταξύ αρκετών χωρών της Ε.Ε, η Γερμανία και Δανία, οι οποίες στοχεύουν στο να προμηθεύσουν τις αγορές τους με το 80% και 100% της συνολικής τους ενέργειας μόνο με τη χρήση των ΑΠΕ έως το 2050 [8], ενώ η

Πορτογαλία έχει θέσει ως απώτερο στόχο το 47% των ενεργειακών αναγκών να καλύπτεται έως το 2030 εξ' ολοκλήρου από ΑΠΕ [74, 75].

Ωστόσο, εκτός από αυτούς τους στόχους, το επίκεντρο του σχεδιασμού της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ, θα πρέπει να στραφεί στη διασφάλιση ότι τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι επίσης επαρκώς «ευέλικτα», ώστε να ενσωματώνουν τεχνολογίες παραγωγής χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα [29] και ταυτόχρονα να διατηρούν την ισορροπία μεταξύ ζήτησης και προσφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Η Ε.Ε, προσπαθώντας να ακολουθήσει μια κοινή πολιτική μεταξύ των μελών της, καθορίζοντας τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες Εξισορρόπησης [European Balancing Guidelines (EBGL) – Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2017], έχει αναλάβει την εκπόνηση υπερσύγχρονων σχεδίων για την ενσωμάτωση των Ευρωπαϊκών αγορών στο συγκεκριμένο όραμά της, δημιουργώντας ταυτόχρονα νέες ευκαιρίες και επιβάλλοντας νέους τεχνικούς περιορισμούς στους διαχειριστές των δικτύων.

Επισημαίνεται ότι στην Ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, ο όρος της ευελιξίας αναγνωρίζεται περισσότερο ως ένα εργαλείο που μπορεί να διαχειριστεί-αναβαθμίσει ικανοποιητικά τα υπάρχοντα δίκτυα, μειώνοντας έτσι το οικονομικό κόστος αναβάθμισης αυτών των δικτύων [73]. Δηλαδή, εστιάζει περισσότερο στην αναβάθμιση των υπαρχόντων υποδομών και λιγότερο στην επένδυση δημιουργίας νέων, πράγμα το οποίο διαφαίνεται να είναι ευνοϊκότερο για τους πολίτες, με την προϋπόθεση ότι αυτή η αναβάθμιση θα επιφέρει θετικά αποτελέσματα.

Τα ανωτέρω ώθησαν αρκετές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (μεταξύ αυτών η Αγγλία, Γερμανία και οι Σκανδιναβικές χώρες), να θέσουν φιλόδοξους στόχους με κύριο σκοπό την ενεργειακή τους απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και τους πυρηνικούς αντιδραστήρες παραγωγής ενέργειας.

Κάποιοι από τους βασικούς στόχους της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για το 2020, οι οποίοι και επιτεύχθηκαν, ήταν η παραγωγή του 20% της Ευρωπαϊκής ενέργειας να προέρχεται από τις ΑΠΕ, η μείωση της ετήσιας κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατά 20% και η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20%. [67]

• Σκανδιναβικές Χώρες

Οι Σκανδιναβικές χώρες, Δανία, Σουηδία, Νορβηγία μέσω μια αλληλέγγυας ενεργειακής υποστήριξης – συνεργασίας, έχουν κάνει τεράστια άλματα στη χρήση των ΑΠΕ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τρέχουσες ενεργειακές μεταβάσεις αυτών των χωρών αποτελούν μέρος της πράσινης επανάστασης προς ένα μέλλον με ένα ενεργειακό σύστημα απαλλαγμένο από άνθρακα που επικεντρώνεται στο κόστος ολοκλήρωσης του συστήματος, την αξιοπιστία και τη βιωσιμότητα [55]. Βέβαια μια τέτοια συνεργασία απαιτεί τη χάραξη κοινής ενεργειακής πολιτικής που πρέπει να ακολουθηθεί από κοινού και να συντονισθεί με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ενέργειας.

Σημειώνεται ότι η χρήση του άνθρακα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για το σκανδιναβικό σύστημα είναι κάτω από $60\text{gr CO}_2/\text{kWh}$, σε σύγκριση με τον παγκόσμιο μέσο όρο, άνω των $500\text{gr CO}_2/\text{kWh}$. Αυτό σημαίνει ότι ο σκανδιναβικός τομέας ηλεκτρικής ενέργειας πορεύεται της απαιτούμενης παγκόσμιας απαλλαγής από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων. Επομένως, η κύρια μελλοντική σκανδιναβική πρόκληση είναι η πλήρης αντικατάσταση της εναπομένουσας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα με τη χρήση ΑΠΕ [55].

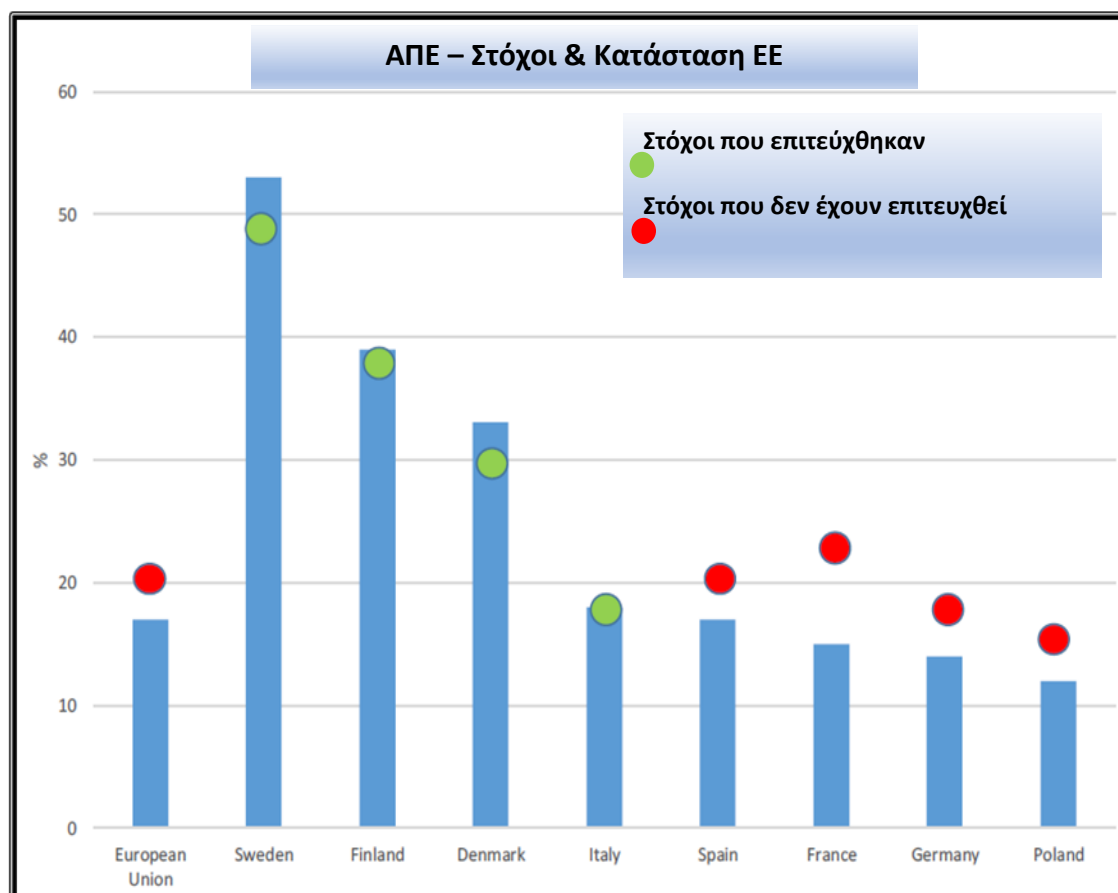
Επίσης, η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια αναπτυσσόμενη τεχνολογία που χρησιμοποιείται στα συγκεκριμένα κράτη. Η Δανία έχει το υψηλότερο ποσοστό αιολικής ενέργειας στον κόσμο, η οποία παρείχε το 43,4% της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας το 2017, το οποίο αποτέλεσε και παγκόσμιο ρεκόρ.

Επίσης, το μερίδιο των ΑΠΕ στη Δανία έχει αυξηθεί σε τουλάχιστον 35% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας, με το 50% να προέρχεται από την αιολική ενέργεια [50], ενώ η χώρα έχει θέσει ως στόχο, το 50% της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας να προέρχεται μόνο από τις ΑΠΕ έως το 2030 [71].

Η Νορβηγία, η χώρα με το μεγαλύτερο ποσό παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας έχει συνάψει μια συμφωνία ανταλλαγής ηλεκτρικής ενέργειας με την Γερμανία στην

οποία μεταφέρεται υδροηλεκτρική ενέργεια, μέσω καλωδίου στη Γερμανία και εν συνεχεία η Γερμανία παρέχει αιολική ενέργεια στη Νορβηγία.

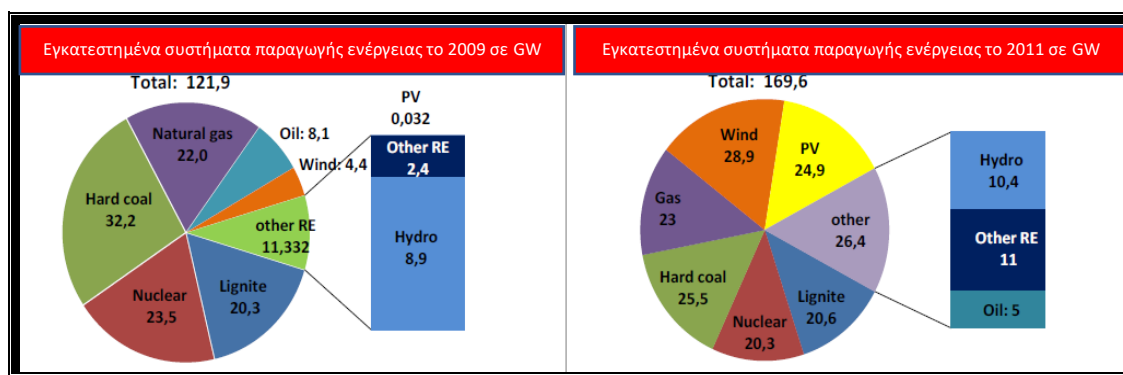
Επομένως, διαπιστώνεται ότι στη σκανδιναβική περιοχή η ύπαρξη πληθώρας επιλογών ηλεκτρικής ενέργειας με χαμηλές εκπομπές άνθρακα, παρέχει τη δυνατότητα για τον περιορισμό των εκπομπών άνθρακα σε τομείς όπως της θερμότητας, του φυσικού αερίου, των μεταφορών και της βιομηχανίας[76]. Βέβαια, αυτό θα απαιτήσει αλλαγές στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και στον τρόπο σύνδεσής της με τους άλλους τομείς. Το δίκτυο γίνεται πολυπλοκότερο και απαιτεί τη συμμετοχή πολλών φορέων που πρέπει να συντονισθούν. Στην **Εικόνα 8**, που ακολουθεί, τρεις σκανδιναβικές χώρες, η Σουηδία, η Φινλανδία και η Δανία, έχουν ήδη επιτύχει τους στόχους τους για τις ΑΠΕ για το 2020.



Εικόνα 8: Στόχοι κρατών – μελών της ΕΕ για την ανάπτυξη ΑΠΕ σε κράτη – μέλη της ΕΕ

- **Γερμανία**

Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ⁹στη Γερμανία βασίζεται σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα, όπως ο άνθρακας, ο λιγνίτης και το φυσικό αέριο, καθώς και σε πυρηνικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [77]. Κατόπιν του πυρηνικού ατυχήματος στην Fukushima η Γερμανική Κυβέρνηση αποφάσισε την πλήρη απενεργοποίηση όλων των πυρηνικών αντιδραστήρων της χώρας έως τα τέλη του 2022. Το 2000 ήταν η χρονιά ορόσημο για τη Γερμανία αναφορικά με τη χρήση των ΑΠΕ, όπου θεσμοθετήθηκε και ο πρώτος νόμος αναφορικά με τις ΑΠΕ. Μέχρι το 2011 οι ανεμογεννήτριες αύξησαν το μερίδιο παραγωγής ενέργειας από 4.4GW που ήταν το 1999 σε 28.9GW το 2011. Στην **Εικόνα 9** παρουσιάζονται τα εγκαταστημένα συστήματα παραγωγής ενέργειας για τα έτη 1999 και 2011 [77].



Εικόνα 9: Εγκατεστημένη ισχύς στη Γερμανία σύμφωνα με το φορέα πρωτογενούς ενέργειας το 1999 (αριστερά) και το 2011 (δεξιά)

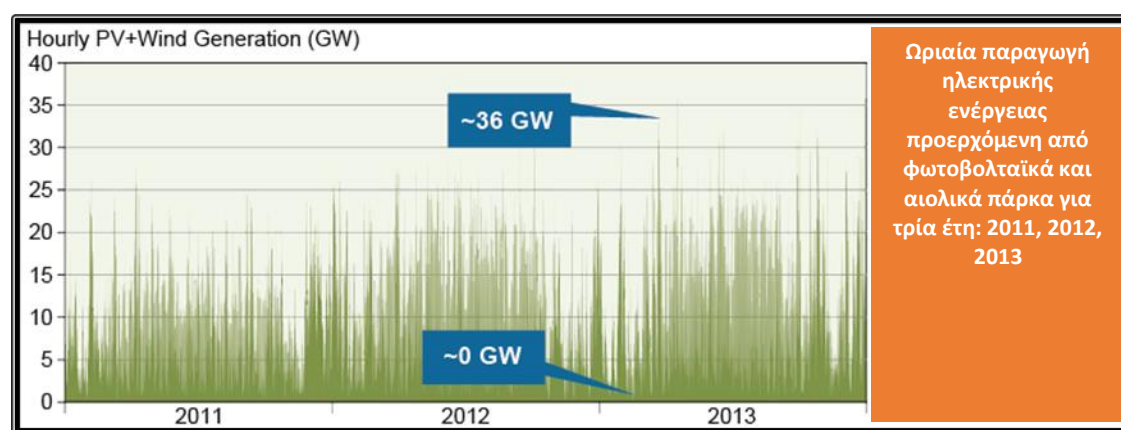
Η Γερμανία τα τελευταία χρόνια βλέπει ταχεία αλλαγή στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας έως το 2025, με την παραγωγή άνθρακα και φυσικού αερίου να μειώνεται στο 29%, τα πυρηνικά να καταργούνται σταδιακά και τις ΑΠΕ να ξεπερνούν το 70% της παραγωγής [78].

Επίσης, έχει αναπτύξει στην επικράτειά της περίπου 68GW τα οποία είναι κατανεμημένα σε φωτοβολταϊκά και αιολικά πάρκα και μέχρι τα τέλη του 2012 η

⁹Σημειώνεται, ότι η γερμανική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί μέρος του Ευρωπαϊκού Δικτύου Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ENTSO-E), [2].

ηλιακή ενέργεια τροφοδοτούσε περίπου 1.3 εκατομμύρια κατοικίες, επιχειρήσεις και μεγάλες βιομηχανίες, υπερβαίνοντας οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα [57].

Στην **Εικόνα 10**, απεικονίζεται η σημαντική μεταβλητότητα της ωριαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά και αιολικά πάρκα από τη μηδενική παραγωγή έως περίπου τα 36GW [57].



Εικόνα 10: Η ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προερχόμενη από φωτοβολταϊκά και αιολικά πάρκα σε διάστημα 3 ετών

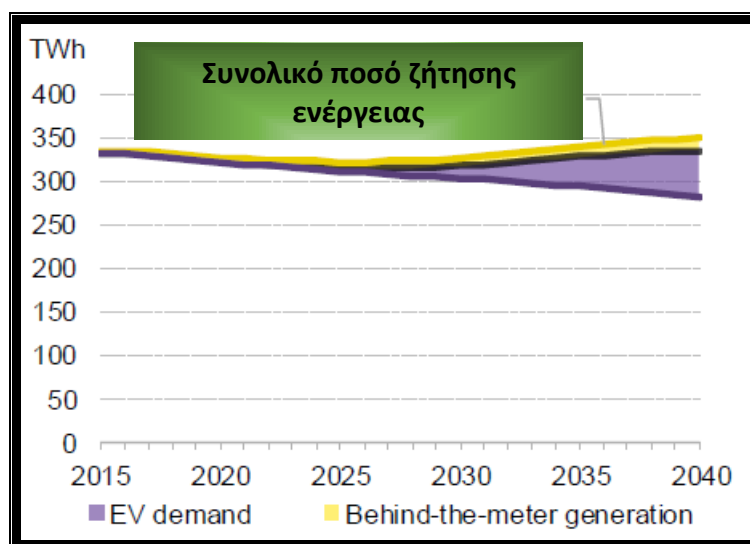
Επομένως, η ραγδαία αυτή ανάπτυξη της χώρας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια των ΑΠΕ, υπογραμμίζει την ύψιστη ανάγκη ενίσχυσης της ευελιξίας των συστημάτων ισχύος. Βέβαια, όπως έχει προαναφερθεί για την εύκολη ενσωμάτωση των ΑΠΕ, απαιτούνται συστήματα περισσότερο ευέλικτα. Μελέτες έχουν αναφέρει ότι έλλειψη ευελιξίας έως το 2040 θα απαιτούσε 19% περισσότερα ορυκτά καύσιμα προς χρήση για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα το δίκτυο να είναι ακριβότερο στις τιμές του κατά 8%, επομένως ακριβότερη ηλεκτρική ενέργεια στους τελικούς χρήστες [78].

Μελλοντικό όραμα του ενεργειακού κλάδου της χώρας, αποτελεί η ανάπτυξη ευέλικτων συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας, όπως είναι οι μπαταρίες αποθήκευσης και αυτό διότι στη Γερμανία, μέχρι το 2025 η χωρητικότητα αποθήκευσης που θα απαιτηθεί υπολογίζεται να πλησιάζει τα 5.1GW [78].

- **Ηνωμένο Βασίλειο**

Το Ηνωμένο Βασίλειο αποτελεί ένα από τα κράτη που έχει κάνει μεγάλη στροφή στη χρήση των ΑΠΕ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, κάνοντας χρήση και πολλών άλλων ευέλικτων συστημάτων όπως είναι τα ηλεκτρικά οχήματα. Η ΝΕΟ (New Energy Outlook) προέβλεψε ότι η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθεί κατά 4% μεταξύ 2017 και 2040, κυρίως λόγω της αύξησης της ζήτησης ηλεκτρικών οχημάτων (EV), η οποία πρόκειται να αυξηθεί στο 22% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας έως και το 2040, **Εικόνα 11 [79]**.

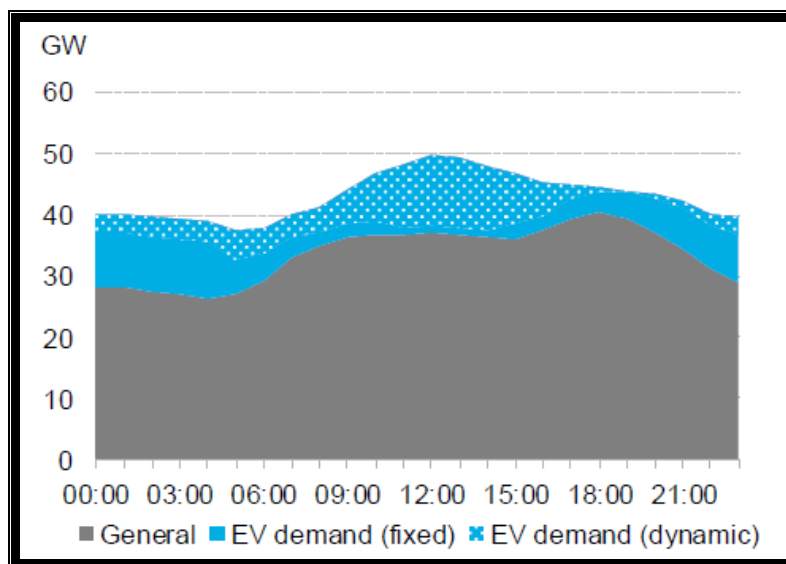
Μέχρι το 2035, προβλέπεται ότι περίπου τα μισά από τα ηλεκτρικά οχήματα στο δρόμο μπορούν να φορτίζουν, όποτε είναι συνδεδεμένα στην πρίζα και μπορούν να μετατοπίσουν το φορτίο τους σε ώρες χαμηλών τιμών ενέργειας. Βέβαια μια τέτοια ραγδαία ζήτηση-χρήση ηλεκτρικών οχημάτων θα απαιτήσει και ευέλικτα συστήματα ισχύος, ικανά να εξισορροπήσουν τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι η διαθεσιμότητα φορτιστών σε διάφορα σημεία της χώρας.



Εικόνα 11: Ανάλυση ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας [79]

Η χώρα έχοντας κατά νου ένα τέτοιο ενδεχόμενο, έχει προβεί σε μελέτες που θα μπορούν να υλοποιούν μια τέτοια απαίτηση. Μελέτες δείχνουν ότι μέχρι το 2035 ο μισός αριθμός αυτών των οχημάτων θα μπορούν να φορτίζουν οπουδήποτε στη χώρα και ταυτόχρονα, όση ώρα αυτά βρίσκονται συνδεδεμένα στο δίκτυο, τις ώρες χαμηλής ζήτησης ενέργειας, θα μπορούν να επιστρέφουν στο δίκτυο μέρος της

ενέργειάς τους. Ως αποτέλεσμα, το ημερήσιο προφίλ ζήτησης του Ηνωμένου Βασιλείου (**Εικόνα 12**) αλλάζει σημαντικά, το οποίο μετατοπίζεται στο μέσο της ημέρας, όταν διατίθεται φθηνή ηλιακή ενέργεια [79].



Εικόνα 12: Καθημερινό ωριαίο προφίλ ζήτησης, 2040 [79]

Επιπλέον, η χώρα δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στη χρήση ΑΠΕ. Έως το 2040 οι ΑΠΕ θα συμβάλλουν στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια της χώρας σε ποσοστό 55% της ζήτησης [79]. Επομένως, διαφαίνεται μια ραγδαία ανάπτυξη των ΑΠΕ με σκοπό την εξυπηρέτηση των καταναλωτών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμπλοκή πολλών φορέων, όπως είναι οι διαχειριστές διανομής και μεταφοράς, οι οποίοι αναλαμβάνουν το δύσκολο έργο διαχείρισης της επιπλέον προσφερόμενης ενέργειας.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το UK Power Network, ένας διαχειριστής διανομής που λειτουργεί στο Ηνωμένο Βασίλειο και ο οποίος ανακοίνωσε πρόσφατα το σχέδιό του, να δημιουργήσει τον πρώτο εικονικό σταθμό παραγωγής ενέργειας του Λονδίνου, που περιλαμβάνει ηλιακούς συλλέκτες και ένα σύνολο μπαταριών σε 40 σπίτια. Μια δοκιμή αυτής της ιδέας διεξήχθη το Φεβρουάριο του 2018, όπου 45 μπαταρίες χρησιμοποιήθηκαν για την κάλυψη της ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της υψηλότερης ζήτησης. Το έργο αναμένεται να προσφέρει μια εναλλακτική λύση στην παραδοσιακή προσέγγιση αύξησης της

χωρητικότητας του δικτύου για την κάλυψη των υψηλών αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας [42].

Επιπλέον, το Ηνωμένο Βασίλειο έχοντας κύριο σκοπό την απεξάρτηση του ενεργειακού κλάδου από τα ορυκτά καύσιμα, θέτει μέσω έργων το νέο αναβαθμισμένο ρόλο των διαχειριστών μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα τέτοιο έργο αποτελεί και το «The UK's Open Network Project» - που ξεκίνησε από την Ένωση Δικτύων Ηλεκτρικής Ενέργειας, μια εθνική εμπορική ένωση που εκπροσωπεί τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής - αναμένεται να θέσει τα θεμέλια για τη μετάβαση του νέου αναβαθμισμένου ρόλου των DSO's. Οι στόχοι της περιλαμβάνουν την ανάπτυξη βελτιωμένων διαδικασιών για τους διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς και διανομής, το σχεδιασμό και τις κοινές υπηρεσίες, καθώς και την αξιολόγηση των αναγκών για τους πελάτες – τελικούς χρήστες.

2.4.2 Αμερική

Η Αμερική είναι μια από τις χώρες με τη μεγαλύτερη μεταστροφή της στη χρήση των ΑΠΕ για παραγωγή ενέργειας. Οι ηλεκτρικές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας της χώρας, καθώς και οι διαχειριστές ενέργειας, διαχειρίζονται όλο και μεγαλύτερες διεισδύσεις ανανεώσιμης ενέργειας και συμμετέχουν σε όλο και ένα μεγαλύτερο περιφερειακό συντονισμό [80]. Η συγκεκριμένη διαδικασία ακολουθείται εξαιτίας:

- Της νέας πολιτικής χάραξης της χώρας για μείωση των ρύπων με τη χρήση ορυκτών καυσίμων
- Των οδηγιών της Ομοσπονδιακής Ρυθμιστικής Επιτροπής Ενέργειας της χώρας (Federal Energy Regulatory Commission)
- Των απαιτήσεων αξιοπιστίας των νέων συστημάτων ισχύος
- Οικονομικών λόγων (π.χ. μείωση παραγωγή ενέργειας με χρήση αιολικών και φωτοβολταϊκών πάρκων)

Για αυτούς τους λόγους η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στις ΗΠΑ, αυξήθηκε ραγδαία την τελευταία δεκαετία και σύμφωνα με τα δεδομένα αιτήσεων διασύνδεσης σε διάφορες περιοχές, αναμένονται πρόσθετες αναπτύξεις.

Τα οικονομικά κίνητρα, οι πολιτειακοί και ομοσπονδιακοί κανονισμοί των περιφερειών της χώρας και οι ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή, συνεχίζουν να οδηγούν στην κατασκευή περισσότερων ανανεώσιμων δυνατοτήτων, με το προτεινόμενο όμως σχέδιο καθαρής ενέργειας να προσθέτει ένα επιπλέον επίπεδο αβεβαιότητας στα συστήματα ισχύος [81].

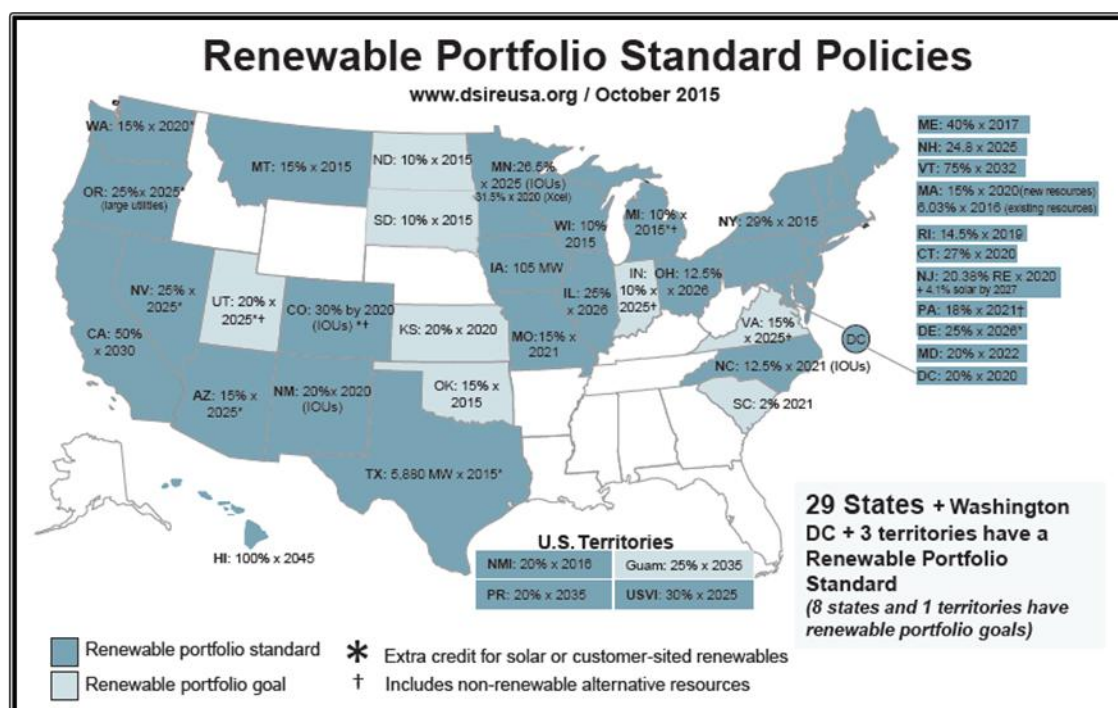
Εκτιμάται ότι μέχρι το τέλος του 2013, οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις των ΗΠΑ αυξήθηκαν σε 10 GW. Βέβαια, αν και πολλές περιοχές των ΗΠΑ έχουν μεγαλύτερη συμμετοχή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάρκα (ευνοϊκότερη γεωγραφική θέση), η ισχύς των 10GW αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 2% της συνολικά εγκατεστημένης δυναμικότητας της χώρας [57]. Επίσης, 29 πολιτείες έχουν θεσπίσει πρότυπα χαρτοφυλακίου ΑΠΕ για την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 13** [57].

Σημειώνεται, ότι οι αυτές οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις και γενικότερα όλες οι εν χρήσει ΑΠΕ της χώρας, απαιτούν το συντονισμό διαπεριφερειακών περιοχών, λόγω της μεγάλης έκτασης της χώρας, με σκοπό τη διασύνδεση μεγάλων γεωγραφικών περιοχών με μεγάλη συμμετοχή των ΑΠΕ σε αυτές [80]. Τέτοιες μελέτες σχεδιασμού συστημάτων ισχύος έχουν ολοκληρωθεί ήδη για διάφορες περιοχές στις ΗΠΑ.

Τέλος, χαρακτηριστικό παράδειγμα του ότι η χώρα στρέφει το ενδιαφέρον της στη χρήση ΑΠΕ αποτελεί το ενεργειακό μεταρρυθμιστικό πρόγραμμα που εφαρμόζεται σε μια από τις μεγαλύτερες πόλεις του κόσμου, τη Νέα Υόρκη.

Η Επιτροπή Δημόσιων Υπηρεσιών της Νέας Υόρκης έδωσε εντολή σε έξι μεγάλες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, να λάβουν διάφορα μέτρα για την ενσωμάτωση των DER's στο σύστημα ισχύος της πόλης. Αυτές περιλαμβάνουν τη δημιουργία συστημάτων φόρτισης για ηλεκτρικά οχήματα σε πολλά σημεία της πόλης, τη δημιουργία διαδικτυακών αγορών για ενεργειακά προϊόντα και υπηρεσίες, τη δημιουργία εικονικών σταθμών παραγωγής ενέργειας και τέλος τη δυνατότητα σύνδεσης των DER's με το δίκτυο. Το κόστος για αυτά τα προϊόντα και τις υπηρεσίες

θα ανακτηθεί μέσω αναθεωρημένων τιμολογιακών δομών και αυτά τα βοηθητικά προγράμματα έχουν επηρεάσει θετικά πολλές χώρες του κόσμου.



Εικόνα 13: Τα πρότυπα χαρτοφυλακίου ΑΠΕ απαιτούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες με τη σειρά τους απαιτούν μεγαλύτερη ευελιξία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας [57]

2.4.3 Συμπεράσματα

Επομένως διαπιστώνεται, λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση που υπάρχει μεταξύ του όρου της ευελιξίας και των ΑΠΕ, ότι το θέμα της ευελιξίας έχει αυξανόμενο ενδιαφέρον και σημασία σε ολόκληρη σχεδόν την ενεργειακή αλυσίδα και είναι απαραίτητη η διατύπωση μιας ολιστικής και ξεκάθαρης άποψης.

Οι παγκόσμιες ρυθμιστικές αρχές και διεθνή πανεπιστήμια έχουν δημοσιεύσει μια σειρά εγγράφων - ερευνών σχετικά με τον όρο της ευελιξία τα τελευταία χρόνια.

Βέβαια, όπως έχουμε προαναφέρει ήδη, ο όρος της ευελιξίας είναι αλληλένδετος με τα δίκτυα διανομής των συστημάτων ισχύος και τις ενεργειακές αγορές. Επομένως γίνεται κατανοητό ότι με το πέρασμα το χρόνων όλο και περισσότερες χώρες παγκοσμίως (ιδιαίτερα της Ευρωπαϊκής Ένωσης), θα εστιάζουν στην ολοένα και περισσότερο βελτίωση των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και στην αναβάθμιση των αγορών στο συγκεκριμένο τομέα.

Σε αυτό τον ενεργειακό μαραθώνιο απαιτείται ένας σωστός συντονισμός, μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων του ενεργειακού κλάδου (διαχειριστών ενέργειας, καταναλωτών κ.λπ.), ικανός να διατηρήσει την αποδοτικότητα και ασφάλεια του δικτύου σε επίπεδα υψηλά, έτσι ώστε όλοι οι καταναλωτές να μπορούν να εξυπηρετούνται με το χαμηλότερο δυνατό κόστος.

Βιβλιογραφία - Κεφάλαιο 2^ο

- [1] B. Pierpont, D. Nelson, A. Goggins, D. Posner, Energy Transitions Commission, Flexibility: The path to low-carbon, low-cost electricity grids, Climate Policy Initiative, 2017.
- [2] D. B. Yen, Bidding Strategies and Impacts of Flexible Variable Renewable Energy Sources in a Simulated German Electricity Market, Master Thesis, University of Freiburg, 2019.
- [3] O.M. Babatunde, J.L. Munda, Y. Hamam, Power system flexibility: A review, The 6th International Conference on Power and Energy Systems Engineering (CPESE 2019), Okinawa, Japan, 2019
- [4] E. Taibi, T. Nikolakakis, L. Guiterrez, C. F. del Valle, IRENA (International Renewable Energy Agency), Power System Flexibility for The Energy Transition, Part I: Overview for Policy Makers, 2018.
- [5] Council of European Energy Regulators / CEER Paper on DSO Procedures of Procurement of Flexibility/ Ref: C19-DS-55-05/ 16 July 2020
- [6] T. Leiskamo, Definition of flexibility for multilateral electricity markets, MSc. dissertation, School of Electrical Engineering, Aalto University, 2019.
- [7] Κ. Αλεξόπουλος, Ανάπτυξη Μεθόδου για την Εκτίμηση της Ευελιξίας Συστημάτων Παραγωγής, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2006.
- [8] A. Akrami, M. Doostizadeh, F. Aminifar, Power system flexibility: an overview of emergence to evolution, Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2019.
- [9] National Renewable Energy Laboratory: J. Cochran, M. Miller, O. Zinaman, M. Milligan, D. Arent, B. Palmintier, University College Dublin: M. O' Malley, International Energy Agency: S. Mueller, EPRI, Northwest Power and Conservation Council, Energinet.dk, VVT Technical Research Centre of Finland, Power System Operation Corporation (2014), Flexibility in 21st Century Power Systems.

- [10] Société Française d' EnergieNucléaire. Nuclear for climate [Internet]. 2017, Available from: <http://www.sfen.org/nuclear-for-climate>.
- [11] Lannoye E, Flynn D, O'Malley M (2012) Evaluation of power system flexibility. IEEE Trans Power Syst 27(2):922–931
- [12] International Energy Agency (2011) Harnessing variable renewables: a guide to the balancing challenge, Variable Renewables 2011, 18 March 2019
- [13] Bouffard F, Ortega-Vazquez M (2011) The value of operational flexibility in power systems with significant wind power generation. In: Proceedings of IEEE PES general meeting, San Diego, USA, 24–29 July 2011, p5.
- [14] Dvorkin Y, Kirschen DS, Ortega-Vazquez MA (2014) Assessing flexibility requirements in power systems. IET GenerTransmDistrib 8(11):1820–1830
- [15] Ma J, Silva V, Belhomme R et al (2013) Evaluating and planning flexibility in sustainable power systems. IEEE Trans Sustain Energy 4(1):200–209
- [16] Agora Energiewende, The European Power System in 2030: Flexibility Challenges and Integration Benefits, Analysis, June 2015
- [17] CIGRE Working Group 37.10, "Methods for planning under uncertainty - towards flexibility in power system development," Electra, vol. 161, pp. 143-163, 1995.
- [18] European Distribution System Operators for Smart Grids (EDSO), Flexibility: The role of DSOs in tomorrow's electricity market, 2014
- [19] EPRI, "Electric Power System Flexibility: Challenges and Opportunities," 2016.
- [20] ENTSO-E, "ENTSO-E Response to the CEER Public Consultation Guidelines of Good Practice for Flexibility Use at Distribution Level," 2017.
- [21] L. Šikšnys, T.B. Pedersen, M. Aftab, B. Neupane, e-Energy '19 Proceedings of the Tenth ACM International Conference on Future Energy Systems, Flexibility Modeling, Management, and Trading in Bottom-up Cellular Energy Systems, p.p. 170-180.

- [22] IEA, "Status of Power System Transformation 2018: Advanced Power Plant Flexibility," IEA, Paris, 2018.
- [23] International Renewable Energy Agency (IRENA), "Power System Flexibility for the Energy Transition, Part 1: Overview for policy makers," IRENA, Abu Dhabi, 2018.
- [24] H. Holttinen, A. Tuohy, M. Milligan, E. Lannoye, V. Silva, S. Müller and L. Söder, "The flexibility workout: managing variable resources and assessing the need for Page 45/47 power system modification," IEEE Power and Energy Magazine, vol. 11, p. 53–62, 2013.
- [25] R. Druce, S. Buryk, K. Borkowski, NERA Economic Consulting, Making Flexibility Pay: An Emerging Challenge in European Power Market Design, 2016
- [26] E. Lannoye, D. Flynn, M. O'Malley, IEEE Transaction on Power Systems, Evaluation of Power System Flexibility, Vol. 27, 2012.
- [27] D. Kiedanski, L. Kuntz, D. Kofman, Benchmarks for Grid Flexibility Prediction: Enabling Progress and Machine Learning Applications, HAL archives-ouvertes.fr, 2020.
- [28] P. Denholm, M. Hand, Energy Policy, Grid flexibility and storage required to achieve very high penetration of variable renewable electricity, Vol. 39, p.p. 1817-1830, 2011.
- [29] R. Druce, S. Buryk, K. Borkowski, NERA Economic Consulting, Making Flexibility Pay: An Emerging Challenge in European Power Market Design, 2016
- [30] J. Villar, R. Bessa, M. Matos, Flexibility products and markets: Literature review, Vol. 154, p.p. 329-340, 2018.
- [31] G. Powells, M. J. Fell, Energy Research & Social Science, Flexibility Capital and Flexibility Justice in Smart Energy Systems, Vol. 54, p.p. 56-59, 2019
- [32] K. Kottahaus, J. Hermanns, F. Paulat, S. Pack, J. Meese, M. Zdrallek, N. Neusel, T. Braje, F. Schweiger, R. Schweiger, Concrete Design of Local Flexibility Markets using the Traffic Light Approach, Workshop (WS0054) Ljubljana 2018.

- [33] M. Maeder, O. Weiss, K. Boulouchos, Assessing the need for flexibility technologies in decarbonized power systems: A new model applied to Central Europe, *Applied Energy*, Vol. 282, Part A, 2021.
- [34] European Commission Smart Grids Task Force Expert Group 3 - Regulatory Recommendations for Smart Grids Deployment, "Regulatory Recommendations for the Deployment of Flexibility," 2015.
- [35] K. Coninx, G. Deconinck, T. Holvoet, who gets my flex? An evolutionary game theory analysis of flexibility market dynamics, *Applied Energy*, Vol. 218, p.p. 104-113, 2018.
- [36] Council of European Energy Regulators/ CEER Paper on DSO Procedures of Procurement of Flexibility/ Ref: C19-DS-55-05/ 16 July 2020
- [37] P. Lund, J. Lindgren, J. Mikkola, J. Salpakari, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity, Vol. 45, p.p. 785-807, 2015
- [38] P. M. Dougall, B. Roussien, C. Warmer, K. Kok, 2013 IEEE Power & Energy Society General Meeting, Vancouver, BC, Canada, Quantifying Flexibility for Smart Grid Services, p.p 1-5, 2013
- [39] IRENA (International Renewable Energy Agency), "CO-OPERATION BETWEEN TRANSMISSION AND DISTRIBUTION SYSTEM OPERATORS, INNOVATION LANDSCAPE BRIEF, 2020
- [40] W. Alharbi, Flexibility Provisions from Energy Hubs for Sustainable Energy Systems, Thesis, University of Waterloo, Electrical and Computer Engineering, Canada 2018
- [41] R. Alves, F. Reis, C. Liang, TSOs and DSOs Collaboration: The Need for Data Exchange, 2015
- [42] IRENA (International Renewable Energy Agency), "FUTURE ROLE OF DISTRIBUTION SYSTEM OPERATORS, INNOVATION LANDSCAPE BRIEF, 2020
- [43] Knezovic, Katarina, Marinelli, Mattia, Codani, Paul, Perez, Yannick, 50th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Distribution Grid

Services and Flexibility Provision by Electric Vehicles: a Review of Options, Proceedings of UPEC 2015.

[44] EDSO for Smart Grids, European Distribution System Operators for Smart Grids, Response to ACER public consultation on Energy regulation: bridge to 2025, June 2014.

[45] Western Power Distribution, regen transformation energy, The shift from Distribution Network Operator (DNO) to Distribution System Operator (DSO).

[46] European Distribution System Operators, Shaping Smarter Grids for your Future, E.DSO feedback on the Roadmap of the Action Plan on Digitalization on the Energy Sector. Ποιαχρονιά;

[47] B. Arizui, W. Dunn, J.B.Tenenbaum, Transmission System Operators-Lessons From The Frontlines, Energy & Mining Sector Board Discussion Paper Series, Paper No.4, June 2002.

[48] Nordic Energy Regulators (NordREG), A Common Definition of The System Operators Core Activities, Report 4/2006.

[49] Renewables Grid Initiative, Transmission System Operators, Factsheet Transmission System Operators, December 2015.

[50] C. Zhang, N. C. Nordentoft, L.H. Hansen, A Flex Market Design for Flexibility Services through DERs, p.p. 1-5, Conference, IEEE PES ISGT Europe, 2013.

[51] SWECO, Study on the effective integration of Distributed Energy Resources for providing flexibility to the electricity system, Final Report to the European Commission, April 2015.

[52] U.S. Department of Energy, Federal Energy Management Program, Using Distributed Energy Resources, www.eren.doe.gov/femp/, May 2002.

[53] European Environment Agency, Trends and Projections in Europe 2021, EEA Report 2021, No 13/2021.

[54] C. Eid, P. Codani, Y. Chen, Y. Perez, R. Hakvoort, Aggregation of Demand Side Flexibility in a Smart Grid: A review for European Market Design, 12th International Conference on the European Energy Market (EEM), 2015.

- [55] K. Skytte and P.E. Morthorst, A Nordic Green Flexible Energy System: Barriers and Opportunities, Conference, Sweden 2018.
- [56] Office of Nuclear Energy, Technical Report, New Report Highlights Nuclear Flexibility in Clean Energy Systems, energy.gov, 2020.
- [57] Electric Power Research Institute, Electric Power System Flexibility, Challenges and Opportunities, EPRI, 2016.
- [58] Knezovic, Katarina, Marinelli, Mattia, Codani, Paul, Perez, Yannick, 50th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Distribution Grid Services and Flexibility Provision by Electric Vehicles: a Review of Options, Proceedings of UPEC 2015.
- [59] T. Schittekatte, L. Meeus, Flexibility markets: Q&A with pioneers, Utilities Policy, Vol. 63, 2020.
- [60] HM Government, Department for Business, Energy & Industrial Strategy and Ofgem, Upgrading Our Energy System, Smart Systems and Flexibility Plan, p.p. 32, 2017.
- [61] S. Aggarwal, R. Orvis, Grid Flexibility: Methods for Modernizing the Power Grid, Energy Innovation, Policy and Technology LLC, 2016.
- [62] P. Lund, J. Lindgren, J. Mikkola, J. Salpakari, Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 45, p.p. 785-807, 2015.
- [63] Α. Τσικαλάκης, Συμβολή στον Προγραμματισμό Λειτουργίας Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας με μεγάλη Διείσδυση Διεισπαρμένης και Ανανεώσιμης Παραγωγής και Συσκευών Αποθήκευσης, Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ, 2008.
- [64] M.R.M. Cruz, D.Z. Fitiwi, S.F. Santos, J.P.S. Catalão, Renewable & Sustainable Energy Reviews, A comprehensive survey of flexibility options for supporting the low-carbon energy future, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 97, pp. 338-353, 2018.

- [65] M. Badami, G. Fambri, S. Mancò, M. Martinno, I. Damousis, D. Agtzidis, D. Tzouvaras, *Econ Papers, A Decision Support System Tool to Manage the Flexibility in Renewable Energy-Based Power Systems*, Vol. 13, issue 1, 1-16, 2019.
- [66] A. Zegers, B. Herndler, S. Wong, J. Pompee, J. Bourmaud, S. Lehnhoff, G. Migliavacca, K. Uhlen, I. Oleinikova, H. Pihl, M. Norström, M. Persson, J. Rossi, G. Beccuti, *Flexibility needs in the future power system*, ISGAN (International Smart Grid Action Network, iea-isgan.org, ISGAN Annex 6 Power T&D Systems, CLEAN ENERGY MINISTERIAL, 2019.
- [67] S. O’Connell, S. Rivero, *Computer Science, Systems and Control*, Cornell University, *Flexibility Analysis for Smart Grid Demand Response*, United Technologies Research Centre, Ireland, 2017.
- [68] H. Lund, E. Munster, *Integrated energy systems and local energy markets*, *Energy Policy*, Vol. 34, No. 10, p.p. 1152-1160, 2006.
- [69] K. Trangbaek, M. Petersen, J. Bendtsen, J. Stoustrup, “Exact Power Constraints in Smart Grid Control”, *Proc.of the 50th IEE Conference on Decision and Control and European Control Conf.*, Orlando, 2011.
- [70] G. Romanovsky, G. Xydis and J. Mutale, “Participation of Smaller Size Renewable Generation in the Electricity Market Trade in UK: Analyses and Approaches”, *Proc.of IEEE Conference on Innovative smart grid technologies (Europe)*, Manchester, 2011.
- [71] E. Mlecnik, J. Parker, Z. Ma, C. Corchero, A. Knotzer, R. Perneti, *Policy challenges for the development of energy flexibility services*, *Energy Policy*, Vol. 137, 2020.
- [72] M. Girod, “Review of short-term congestion management techniques most suited to near real-time European balancing platforms.
- [73] T. Schittekatte, L. Meeus, *Utilities Policy, Flexibility markets: Q&A with pioneers*, Vol. 63, 2020.
- [74] A. Ulbig, *Operational Flexibility in Electric Power Systems*, ETH Zurich, DISS.ETH NO 21882, 2014.

- [75] Council of European Energy Regulators - Distribution Systems Working Group, "Flexibility Use at Distribution Level - A CEER Conclusions Paper, Ref: C18-DS-42- 04," 2018.
- [76] Nordic Energy Technology Perspectives 2016, Cities Flexibility and Pathways to carbon-neutrality May 2016.
- [77] INTELLIGENT ENERGY EUROPE, Overview of the electricity supply system and an estimation of future energy storage needs, March 2013.
- [78] Bloomberg NEF, EATON, Statkraft, Flexibility Solutions for High-Renewable Energy Systems, Germany, 2018.
- [79] Bloomberg NEF, EATON, Statkraft, Flexibility Solutions for High-Renewable Energy Systems, UK, 2018.
- [80] B. A. Frew, S. Becker, M. J. Dvorak, G. B. Andresen, M. Z. Jacobson, Energy, Flexibility mechanisms and pathways to a highly renewable US electricity future, 2016.
- [81] P. Jennings, F. Kreikebaum, J. Ham, Flexibility in wind power interconnection utilizing scalable power flow control, CIGRE US National Committee, 2015 Grid of the Future Symposium, 2015.
- [82] Μαρία Κανναβού, Διδακτορική Διατριβή με θέμα: Μοντελοποίηση και Ανάλυση της Ευελιξίας Ηλεκτροπαραγωγικών Συστημάτων με Μεγάλη Διείσδυση ΑΠΕ, ΕΜΠ, Αθήνα 2020.
- [83] ENTSO-E, Operational Reserve Ad Hoc Team Report, 2012.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΞΥΠΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΓΙΑ ΕΥΕΛΙΞΙΑ – ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ

3.1 Dynamic Line Ratings (DLR) vs Static Line Rating (SLR)

Όπως έχει προαναφερθεί, η μεγάλη διεύρυνση των ΑΠΕ στα συστήματα ισχύος έχει δημιουργήσει πολλές προκλήσεις για τους μηχανικούς του ενεργειακού κλάδου, επιφέροντας έτσι πολλούς ενεργειακούς μετασχηματισμούς. Οι ενεργειακοί αυτοί μετασχηματισμοί αποσκοπούν στην ενεργειακή κάλυψη όλων των καταναλωτών ενέργειας (απλοί οικιακοί χρήστες, βιομηχανίες κ.λπ.) με ταυτόχρονη εξισορρόπηση της ενεργειακής ζήτησης και προσφοράς, διαδικασία που απαιτεί τροποποίηση των δικτύων, ικανή να αντέξει μια τέτοια τεράστια απαίτηση.

Το βασικό ερώτημα που δημιουργείται είναι εάν χρειάζεται ολοκληρωτικός μετασχηματισμός των υπάρχοντων συστημάτων ισχύος ή μια μερική τροποποίηση των συστημάτων, με μικρές αλλαγές, έτσι ώστε το οικονομικό κόστος να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο, χωρίς την απαίτηση μεγάλων επενδύσεων.

Στα πλαίσια αυτής της αλλαγής, οι διαχειριστές μεταφοράς ενέργειας (TSO's) έχουν αρχίσει να διερευνούν ποια μέτρα είναι κατάλληλα για την επίτευξη αυτού του στόχου και ποια όχι. Επιπλέον, για τους TSO's η κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς δεν είναι μια απλή διαδικασία, διότι εμπλέκονται πολλοί περιβαλλοντικοί περιορισμοί [2], οι οποίοι δυσκολεύουν το έργο τους, απαιτώντας το συγχρονισμό των διαχειριστών μεταφοράς με θεσμικά πλαίσια των κρατών.

Γενικότερα, ο καθολικός μετασχηματισμός ενός δικτύου είναι οικονομικά ασύμφορος διότι απαιτείται η δημιουργία νέων διαδρόμων μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, κάτι που προϋποθέτει την κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς. Λιγότερο δαπανηρή είναι μια μικρή τροποποίηση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων με την εγκατάσταση νέων αγωγών και την αναβάθμιση εξοπλισμού των κρίσιμων σημείων των γραμμών μεταφοράς [3].

Επομένως, στα πλαίσια εκμετάλλευσης του υπάρχοντος δικτύου με τον μικρότερο δυνατό μετασχηματισμό του, η νέα τεχνολογία γραμμών DLR's (Dynamic Line Rating), αποτελεί μια πολύ καλή λύση που τα τελευταία χρόνια έχει βρει πρόσφορο έδαφος στον ενεργειακό τομέα.

Ορισμοί που αναφέρονται στην τεχνολογία DLR:

- δυνατότητα μεταβολής της θερμικής ικανότητας μιας εναέριας γραμμής (OL – Overhead line) μεταφοράς ή διανομής σε πραγματικό χρόνο, ανάλογα με τις διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία περιβάλλοντος, ηλιακή ακτινοβολία και ταχύτητα ανέμου και κατεύθυνση) που επικρατούν [6].
- τεχνική που επιτρέπει την αύξηση της χωρητικότητας του κατασκευαστικού στοιχείου του συστήματος ισχύος, χωρίς να παραβιάζεται η ασφάλεια του δικτύου [5].

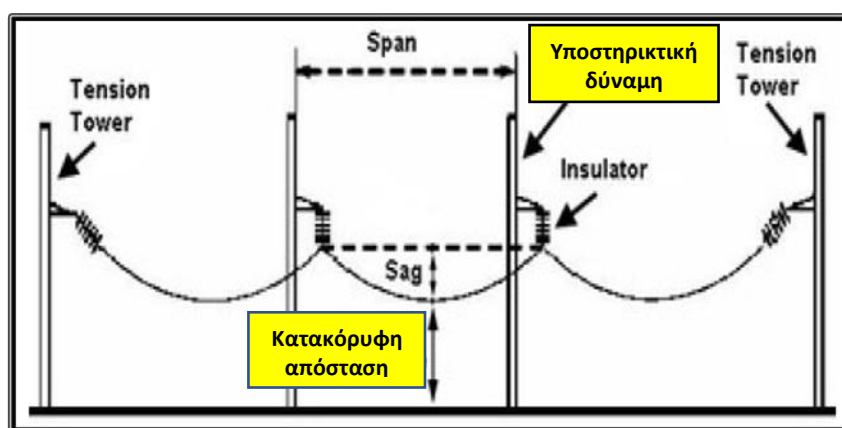
Βέβαια για να μπορούν να υπολογισθούν πολλές παράμετροι των γραμμών μεταφοράς (π.χ. θερμοκρασία και φορτίο αγωγού), καθώς και να προβλεφθούν σε ικανοποιητικό βαθμό οι καιρικές συνθήκες, απαιτούνται συστήματα ικανά να χρησιμοποιούν διάφορες διαθέσιμες τεχνικές μέτρησης και πρόβλεψης των γραμμών μεταφοράς [2], με σκοπό οι πραγματικές επικρατούσες συνθήκες να υπολογίζονται συνεχώς και άρα να προκύπτουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα αξιολόγησης της γραμμής [3].

Αρκετά χρόνια πριν, ο κλάδος της ηλεκτρικής ενέργειας, για τη μέτρηση της χωρητικότητας των γραμμών μεταφοράς δεν χρησιμοποιούσε την τεχνολογία γραμμών DLR, άγνωστη μέχρι τότε, αλλά την τεχνολογία Static Line Rating (SLR), υπολογίζοντας με αυτό τον τρόπο το «στατικό» ρεύμα. Δηλαδή, τα παραδοσιακά λειτουργικά όρια μιας γραμμής μεταφοράς καθορίζονταν μέσω μεθοδολογιών αξιολόγησης της «στατικής» γραμμής μεταφοράς. Η αξιολόγηση της γραμμής μεταφοράς με αυτή την τεχνολογία ήταν αρκετά συντηρητική, λόγω του ότι λαμβάνονταν υπόψη οι ιδανικές επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες¹⁰

¹⁰Η τεχνολογία SLR εκτελεί τους υπολογισμούς με ένα θερμικό μοντέλο ισορροπίας θερμότητας αγωγού, χρησιμοποιώντας χαμηλή ταχύτητα ανέμου (π.χ. 0,61 m/s), σχεδόν μέγιστη εποχιακή

(χαμηλές-υψηλές θερμοκρασίες, χιόνια, έντονοι άνεμοι κ.λπ.) και όχι οι πραγματικές [12].

Χαρακτηριστικό στοιχείο μιας γραμμής μεταφοράς, πέραν της θερμοκρασία του αγωγού είναι και η κλίση της γραμμής, αναφερόμενη ως sag. Τόσο η θερμοκρασία του αγωγού όσο και η κλίση της γραμμής (sag^{11})-(Εικόνα 14) [7], συσχετίζονται ντετερμινιστικά, δηλαδή η υπόθεση αυτή έχει βάση μόνο σε κατάλληλες ιδανικές συνθήκες, δηλαδή συνθήκες ελεγχόμενου εργαστηριακού περιβάλλοντος [1,3,12]. Επομένως, διαπιστώνεται έντονα ότι οι επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες αποτελούν καθοριστικό παράγοντα, ο οποίος συνδέεται άμεσα με τη χωρητικότητα του αγωγού μεταφοράς ενέργειας.



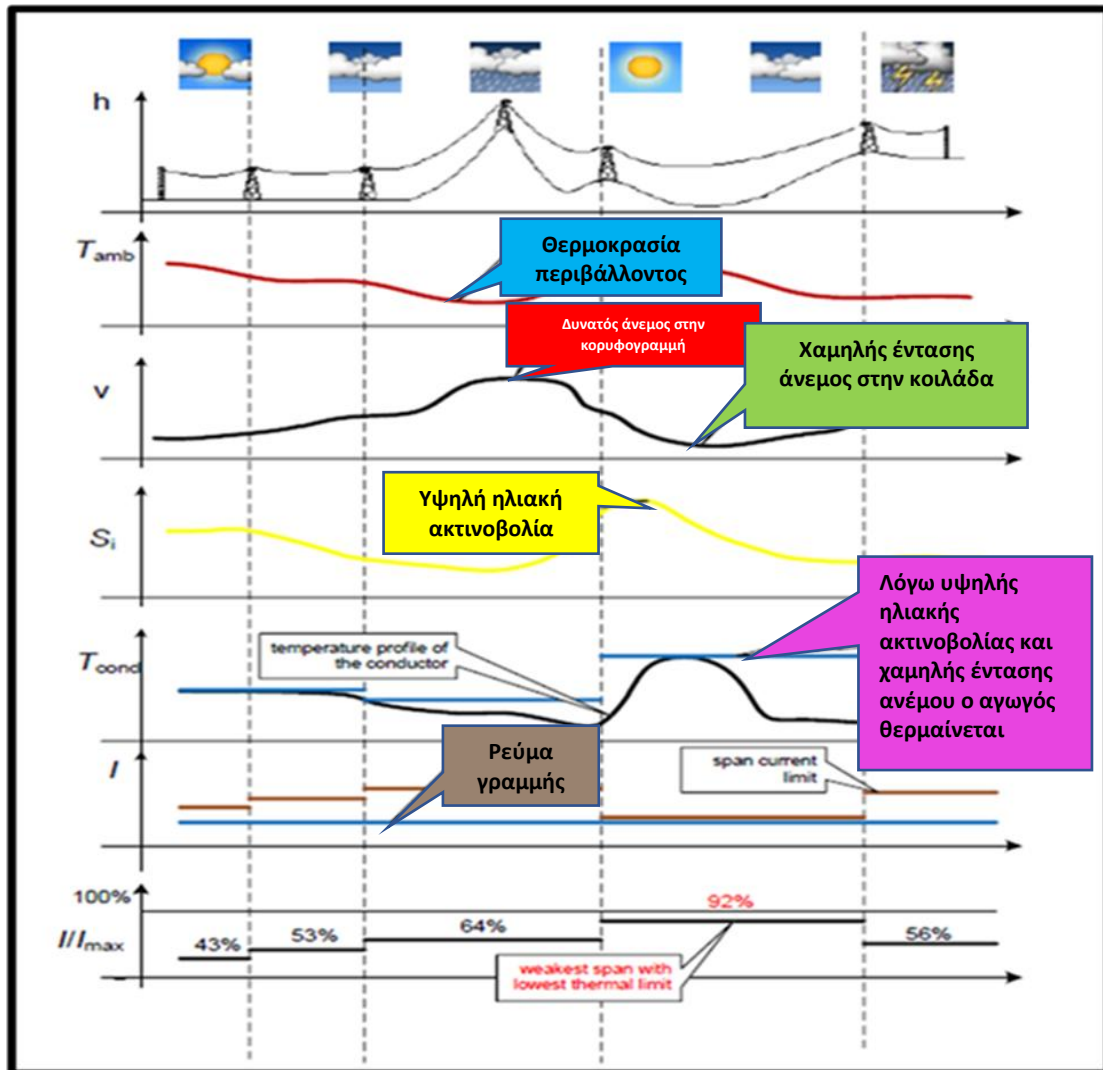
Εικόνα 14: Απεικόνιση Sag

Σημειώνεται ότι η τεχνολογία SLR, καθορίζεται σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο IEEE 738, «Πρότυπο για τον υπολογισμό της σχέσης τρέχουσας θερμοκρασίας των εναέριων αγωγών – Overhead Conductors» [4]. Με βάση αυτό το πρότυπο, οι θερμικές εκτιμήσεις υπολογίζονται συνήθως χρησιμοποιώντας συντηρητικές υποθέσεις σχετικά με το περιβάλλον λειτουργίας της γραμμής μεταφοράς, όπως οι καιρικές συνθήκες, η ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου, η μέση θερμοκρασία

θερμοκρασία αέρα (π.χ. 35 °C ή περισσότερο το καλοκαίρι), με πλήρη ηλιακή θέρμανση (π.χ. 1000 watt/m²) [7].

¹¹Στις εναέριες γραμμές μεταφοράς, η διαφορά στο επίπεδο μεταξύ σημείων στήριξης και του χαμηλότερου σημείου στον αγωγό ονομάζεται sag. Επομένως, sag είναι η διαφορά επιπέδου μεταξύ των σημείων στήριξης και του χαμηλότερου σημείου ενός αγωγού. Χαμηλό sag σημαίνει τεντωμένος αγωγός και υψηλότερη τάση, ενώ υψηλότερο sag συνεπάγεται όχι αρκετά τεντωμένος αγωγός και χαμηλή τάση

του περιβάλλοντος και οι ηλιακές συνθήκες για τις καλοκαιρινές και χειμερινές περιόδους, **Εικόνα 15**, [4].



Εικόνα 15: Η μεταβλητότητα των παραγόντων που επηρεάζουν την αξιολόγηση της γραμμής μεταφοράς

Ενώ αυτές οι παραδοχές αντιπροσωπεύουν ιδανικές συνθήκες (π.χ. με βάση τις μέγιστες θερμοκρασίες περιβάλλοντος, τη μηδενική ταχύτητα ανέμου ή την πλήρη ηλιακή έκθεση), μπορεί να υπάρξουν περιπτώσεις όπου οι πραγματικές αξιολογήσεις της γραμμής μεταφοράς να είναι χαμηλότερες από εκείνες των ιδανικών τιμών που προβλέπει η συγκεκριμένη τεχνολογία SLR. Σε μια τέτοια περίπτωση ο αγωγός τίθεται σε κίνδυνο θερμικής βλάβης [4].

Επομένως, μια βασική παραδοχή της τεχνολογίας (SLR), είναι ότι χρησιμοποιείται συνήθως από τους διαχειριστές των συστημάτων για τη διατήρηση ασφαλών

συνθηκών λειτουργίας [4], λαμβάνοντας όμως υπόψη ιδανικές – εργοστασιακές τιμές.

Στον αντίποδα, η νέα τεχνολογία γραμμής DLR, η οποία χρησιμοποιώντας διάφορους αλγορίθμους μετρήσεων και της επιστήμης της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής, ακολουθώντας κάποια βήματα, επιλύει το πρόβλημα που προκύπτει από τη μέτρηση του «στατικού» ρεύματος μέσω της μεθόδου SLR.

Μια βασική διαφορά των δύο μεθόδων SLR και DLR, είναι ότι το «στατικό ρεύμα» υπολογίζεται με βάση κάποιες υποθετικές ατμοσφαιρικές συνθήκες, ενώ με την τεχνολογία DLR λαμβάνονται υπόψη οι πραγματικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Για παράδειγμα, όταν είναι χειμώνας και η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι χαμηλή, αυτό προκαλεί καλύτερη ψύξη της, επιτρέποντας να διαρρέει τη γραμμή υψηλότερο «δυναμικό» ρεύμα, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στη βελτίωση της ασφάλειας της γραμμής μεταφοράς. Δηλαδή, οι γραμμές DLR έχουν την ικανότητα να διαφοροποιούν δυναμικά τη θερμική χωρητικότητα μιας γραμμής μεταφοράς ή διανομής σε πραγματικό χρόνο, ανάλογα με τις επικρατούσες κάθε χρονική στιγμή περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία περιβάλλοντος, ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου κ.λπ.).

Ο βασικός στόχος αυτής της νέας τεχνολογίας είναι η μεγιστοποίηση του ωφέλιμου κάθε φορά φορτίου. Τόσο η θέρμανση όσο και η ψύξη μιας εναέριας γραμμής μεταφοράς είναι σε θέση να επηρεάσει τη θερμική της ικανότητα με σημαντική διακύμανση, είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω, αντίστοιχα. Επομένως, η θερμική χωρητικότητα μιας γραμμής μπορεί να αυξηθεί όταν η γραμμή ψύχεται λόγω των αέριων ρευμάτων ή όταν μειώνεται η θερμοκρασία της, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο τη διέλευση μεγαλύτερου ποσού ηλεκτρικής ενέργειας.

Επισημαίνεται, ότι όλοι οι αγωγοί ισχύος, όπως οι εναέριες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος (Overhead line), έχουν τη δυνατότητα μεταφοράς συγκεκριμένης ποσότητας φορτίου για δεδομένη θερμοκρασία. Η διέλευση μεγαλύτερου, από το επιτρεπτό ποσό ρεύματος οδηγεί σε υπερθέρμανση του καλωδίου με αποτέλεσμα απώλειας ισχύος.

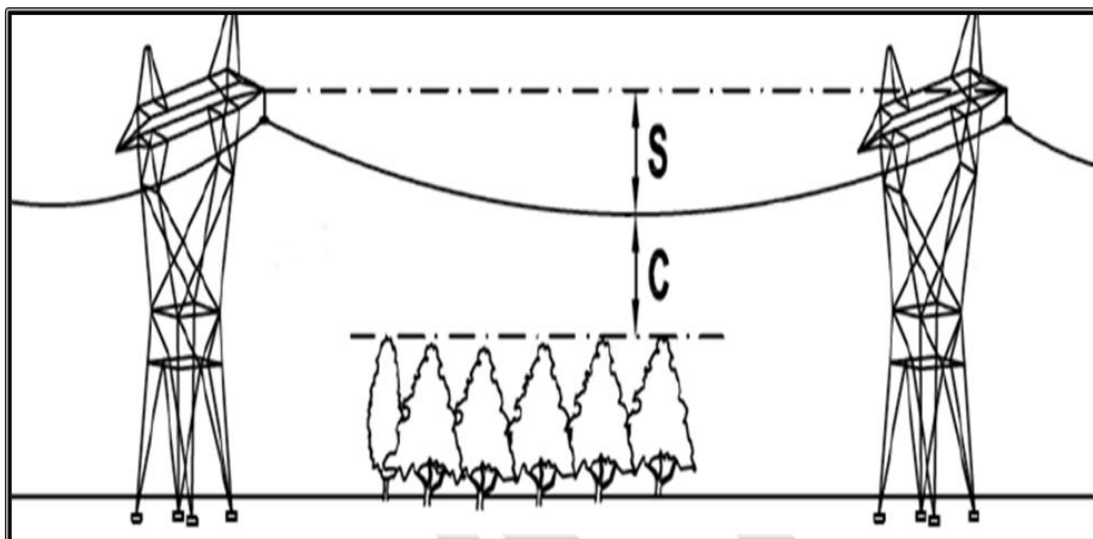
Οι παράγοντες που δύναται να επηρεάσουν τη χωρητικότητα ενός αγωγού¹² είναι οι παρακάτω [12]:

α. Φυσικοί και ηλεκτρικοί παράγοντες

1. ρεύμα γραμμής
2. sag¹³ και τάση της γραμμής
3. φυσικές και ηλεκτρικές ιδιότητες του υλικού κατασκευής του καλωδίου
4. μόνωση

β. Καιρικές συνθήκες

1. ταχύτητα ανέμου
2. κατεύθυνση ανέμου
3. ηλιακή ακτινοβολία
4. θερμοκρασία αέρα



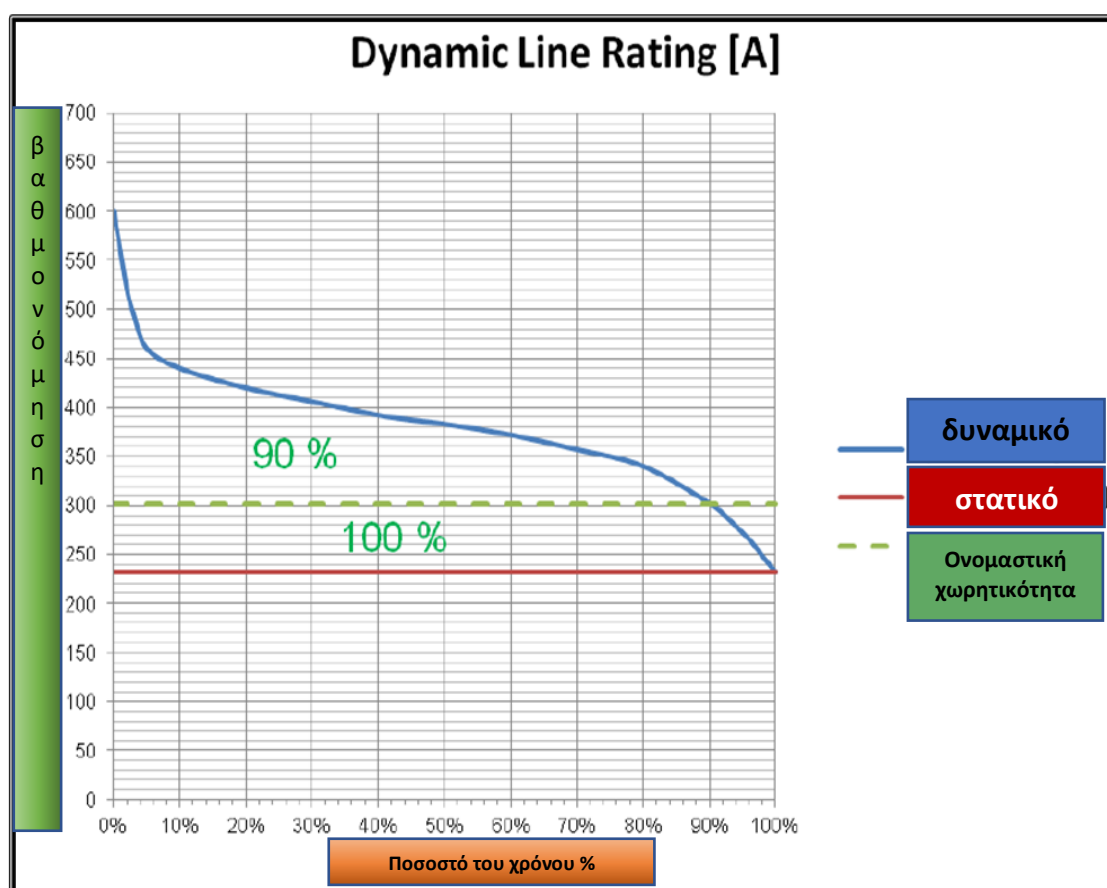
Εικόνα 16: Sketch of Sag (S) and Clearance (C) ενός εναέριου αγωγού γραμμής μεταφοράς

Κατά τη μελέτη του ενεργειακού κλάδου και της βιομηχανίας της ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν εξαχθεί αρκετά στοιχεία που αποδεικνύουν ότι πολλές γραμμές

¹² Η χωρητικότητα ενός αγωγού ορίζεται ως το μέγιστο σταθερό ρεύμα που θα πληροί τα κριτήρια σχεδιασμού, ασφάλειας και ασφάλειας μιας συγκεκριμένης γραμμής στην οποία χρησιμοποιείται ο αγωγός [8].

¹³ Η αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού προκαλεί αύξηση του sag, που πολλές φορές εγκυμονεί κινδύνους, όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 3** [8].

μεταφοράς θα μπορούσαν να εφοδιάσουν τα δίκτυα με ασφάλεια έως και το 130% της στατικής ονομαστικής χωρητικότητας για το 90% του έτους (Εικόνα 17). Όταν η αχρησιμοποίητη χωρητικότητα της γραμμής μπορεί να ενεργοποιηθεί μέσω της νέας τεχνολογίας DLR, περισσότεροι πελάτες μπορούν να συνδεθούν στα υπάρχοντα δίκτυα, χωρίς να απαιτείται η κατασκευή νέων εγκαταστάσεων [3]. Μελέτες έχουν δείξει ότι μια γραμμή DLR είναι κατά 10-25% πιο αποδοτική από μια γραμμή SLR, κάτι το οποίο αποτυπώνεται στις τσέπες των καταναλωτών καθώς και στην ασφάλεια του δικτύου [1].



Εικόνα 17: Κοινές βιομηχανικές προσδοκίες

3.1.1 Θερμοκρασιακή Μεταβολή ενός Αγωγού

Εάν υποθέσουμε ότι ο αγωγός είναι σωστά σχεδιασμένος μηχανικά και το sag δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για θερμοκρασίες κάτω από τη μέγιστη επιτρεπόμενη μόνιμη θερμοκρασία του αγωγού, τότε οι καιρικές συνθήκες έχουν την κυρίαρχη επίδραση στη χωρητικότητα της γραμμής μεταφοράς, επηρεάζοντας άμεσα την ισχύ ψύξης του αγωγού.

Η κατά προσέγγιση διαφορική εξίσωση που περιγράφει την αλλαγή της θερμοκρασίας του αγωγού είναι η εξής:

$$C_p m \frac{dT}{dt} = p_{joul} + p_{sol} + p_{mag} - p_{con} - p_{rad} \quad \text{Εξίσωση 1}$$

, όπου:

$$p_{joul} = \text{joule heating}$$

$$p_{mag} = \text{magnetic heating}$$

$$p_{sol} = \text{solar heating}$$

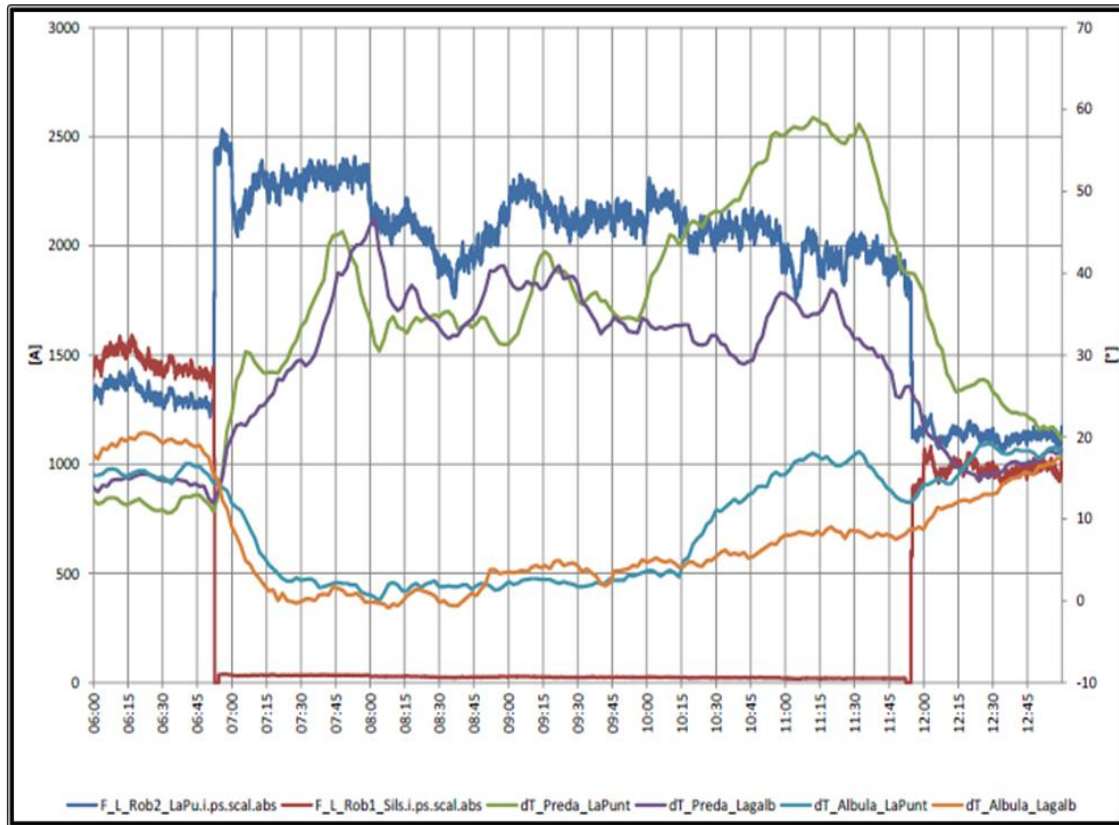
$$p_{con} = \text{convective cooling}$$

$$p_{rad} = \text{radiative cooling}$$

Η **Εξίσωση 1** μας δείχνει ότι όταν η θέρμανση είναι μεγαλύτερη από την ψύξη, η θερμοκρασία θα αυξηθεί αναλογικά με τη μάζα και τη συγκεκριμένη θερμότητα του αγωγού και αντίστροφα. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες γύρω από τον αγωγό και το φορτίο του αγωγού, μεταβάλλονται συνεχώς καθώς η θερμοκρασία του αγωγού ποικίλλει επίσης ανάλογα [2].

Η **Εικόνα 18** δείχνει ένα παράδειγμα της μεταβλητότητας της θερμοκρασίας του αγωγού σε χρονικό διάστημα 6 ωρών. Το συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι ο κύριος αντίκτυπος προέρχεται φυσικά από το ρεύμα που διαρρέει τη γραμμή μεταφοράς, αλλά και ότι οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν σημαντικά.

Πιο συγκεκριμένα, ένα κύκλωμα μιας διπλής διαδρομής γραμμών άνοιξε λόγω μιας βλάβης (κόκκινη γραμμή). Το δεύτερο κύκλωμα έχει φθάσει σε ένα ρεύμα που υπερβαίνει τα 2000 A (μπλε γραμμή). Οι καμπύλες με πράσινο και κυανό χρώμα δείχνουν τη θερμοκρασία του αγωγού σε δύο διαφορετικές τοποθεσίες, ενώ οι καμπύλες με γαλάζιο και πορτοκαλί χρώμα αντιπροσωπεύουν την αντίστοιχη εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος [2].



Εικόνα 18: Μετρήσεις θερμοκρασίας αγωγού και ρεύματος γραμμής για διάστημα 6 ωρών

Επισημαίνεται ότι οι διαχειριστές μεταφοράς ενέργειας (TSO's), οι οποίοι εμπλέκονται άμεσα με τα χαρακτηριστικά – ικανότητες της γραμμής και είναι εκείνοι που διαχειρίζονται το δίκτυο, πρέπει να γνωρίζουν ποια είναι η μέγιστη ένταση ή το επιτρεπόμενο φορτίο της γραμμής και όχι ποια είναι η θερμοκρασία της γραμμής. Η θερμοκρασία είναι μόνο το αποτέλεσμα ορισμένων συνθηκών λειτουργίας (φορτίο και ατμοσφαιρικές συνθήκες), ενώ η πραγματική αιτία είναι το ρεύμα του διαρρέει τον αγωγό και ότι μέσω των απωλειών θερμαίνεται ο αγωγός [2].

3.1.2 Πλεονεκτήματα, Εφαρμογές και Σχετιζόμενες Έννοιες της τεχνολογίας DLR

• Πλεονεκτήματα

Έως και το 2013 υπήρχαν περισσότερες από 2000 εγκαταστάσεις συστημάτων DLR παγκοσμίως και πάνω από εκατό βοηθητικά προγράμματα έχουν χρησιμοποιήσει τη νέα αυτή τεχνολογία. Περισσότεροι από 32 προμηθευτές παγκοσμίως, προσφέρουν τα δικά τους προϊόντα DLR στην αγορά με βάση διαφορετικές αρχές, διαφορετικά

επίπεδα πολυπλοκότητας, διαφορετικές τιμές. Τα προϊόντα χρησιμοποιούν μια ποικιλία φυσικών ιδιοτήτων και αισθητήρων τόσο για τη γραμμή μεταφοράς όσο και για το περιβάλλον, με σκοπό να βοηθήσουν στον καθορισμό ενός ορίου πραγματικού χρόνου που είναι πιο κατάλληλο από την κοινώς χρησιμοποιούμενη «στατική» αξιολόγηση γραμμής (SLR) [3].

Σημειώνεται ότι κάποια από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας DLR είναι [3]:

- η μείωση της συμφόρησης στις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας
- η βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας του συστήματος
- η μείωση του κόστους για επιπλέον κατασκευές
- καλύτερη πρόσβαση των αγορών στη χρήση ΑΠΕ
- ταχύτερη ενσωμάτωση των Κατανεμημένων Ενεργειακών Πόρων (DER)
- βελτιωμένη αξιοπιστία και ασφάλεια δικτύου

Όλα τα παραπάνω πλεονεκτήματα βοηθούν σε μεγάλο βαθμό στην ενσωμάτωση της ηλιακής και αιολικής ενέργειας και γενικότερα όλων των μεταβλητών πηγών ανανεώσιμης ενέργειας (VRE – Variability Renewable Energy), καθιστώντας την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πιο αποδοτική και οικονομικά πιο συμφέρουσα για τους καταναλωτές [6].

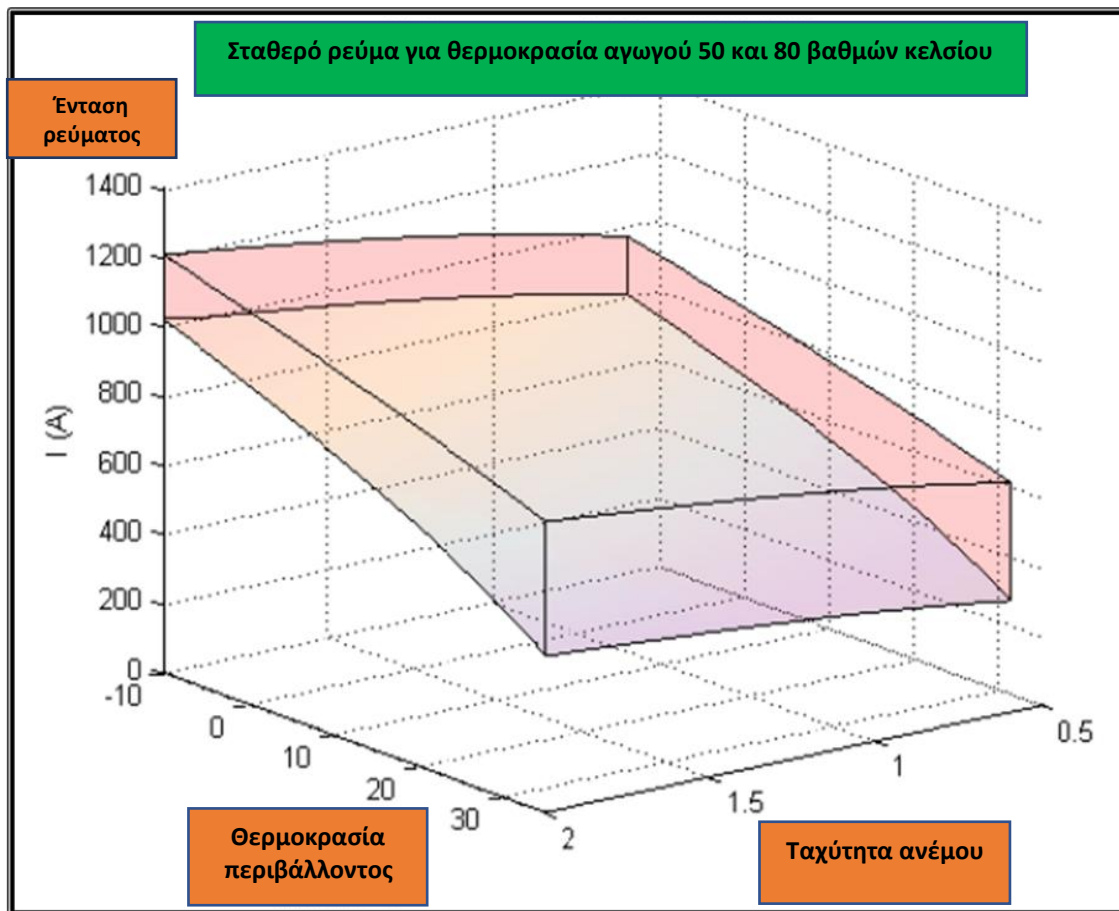
Η χρήση των συστημάτων με τεχνολογία DLR, δίνει τη δυνατότητα στις εταιρείες κοινής ωφέλειας να έχουν πολλαπλά λειτουργικά και οικονομικά οφέλη [3], κάτι το οποίο έχει οικονομικό αντίκτυπο στους καταναλωτές. Η μη χρήση αυτών των νέων μεθόδων μπορεί να προβεί ζημιογόνα για πολλά κράτη παγκοσμίως, χάνοντας πολλά εκατομμύρια ευρώ. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες όπως:

- Η αχρησιμοποίητη επιπλέον χωρητικότητα των γραμμών μεταφοράς
- Ο απρόβλεπτος αντίκτυπος έκτακτων περιστατικών
- Ο μη αναγκαίος περιορισμός κατά τη διάρκεια αναγκαστικών διακοπών ρεύματος

Επομένως, διαπιστώνεται ότι η ανάπτυξη και εφαρμογή της τεχνολογίας DLR δεν αποτελεί μια απλή υπόθεση. Απαιτείται όμως να αποφευχθούν πολλά εμπόδια προκειμένου να επιτευχθεί με επιτυχία ένα τέτοιο εγχείρημα. Ταυτόχρονα όμως, δίνεται η δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων που σχετίζονται με την ακρίβεια των μετρήσεων της τεχνολογία SLR [3], με ταυτόχρονη εκμετάλλευση της δυναμικότητας της γραμμής. Δηλαδή η εφαρμογή της τεχνολογίας DLR είναι αρκετά ελπιδοφόρα, επειδή αντικαθιστά τη «στατική» αξιολόγηση των γραμμών μεταφοράς που εδώ και χρόνια χρησιμοποιούνταν.

Ποιος είναι όμως ο βασικός σκοπός λειτουργίας και δημιουργίας αυτής της νέας τεχνολογίας; Ο σημαντικότερος στόχος της τεχνολογίας DLR, είναι η ασφαλής αξιοποίηση της υφιστάμενης χωρητικότητας των γραμμών μεταφοράς με βάση τις πραγματικές επικρατούσες συνθήκες (μετεωρολογικές ή μη), υπό τις οποίες λειτουργούν οι γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας [2], με ταυτόχρονη ενίσχυση της ανθεκτικότητας του δικτύου [1]. Η ανθεκτικότητα του δικτύου αποτελεί βασικό επιχειρησιακό θέμα για τις περισσότερες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας. Σε περίπτωση απώλειας ενός ή περισσότερων υποσταθμών ή γραμμών μεταφοράς από φυσικές ή ανθρωπογενείς καταστροφές, ένα ανθεκτικό δίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει εναλλακτικές διαδρομές μεταφοράς ενέργειας γύρω από το κατεστραμμένο τμήμα του δικτύου. Η ικανότητα αντιμετώπισης ενός τέτοιου σεναρίου εξαρτάται από τη χωρητικότητα των εν λόγω γραμμών μεταφοράς που εξακολουθούν να βρίσκονται σε λειτουργία.

Για να γίνει περισσότερο αντιληπτή η σχέση που υπάρχει μεταξύ χωρητικότητας μιας γραμμής μεταφοράς και των μετεωρολογικών συνθηκών, παρουσιάζεται η **Εικόνα 19**.



Εικόνα 19: Ρεύμα σταθερής κατάστασης που απαιτείται για τη θέρμανση του αγωγού στους 50 και 80 °C σε διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος

Η **Εικόνα 19** δείχνει την απαραίτητη αλλαγή της έντασης του ρεύματος για διαφορετικές ατμοσφαιρικές συνθήκες (θερμοκρασία περιβάλλοντος και ταχύτητα ανέμου), για έναν συγκεκριμένο αγωγό, για αύξηση της αρχικής του θερμοκρασίας από 50°C στη μέγιστη θερμοκρασία του στους 80°C [2]. Η απαιτούμενη αλλαγή του ρεύματος ποικίλει αναλόγως της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της ταχύτητας του ανέμου. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες και ταχύτητες ανέμου, απαιτούν μεγαλύτερη αλλαγή ρεύματος για να φθάσει ο αγωγός στους 80°C , κάτι που σημαίνει ότι η χωρητικότητα είναι μεγαλύτερη απ’ ότι σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος και ταχύτητας ανέμου [2].

Την τελευταία δεκαετία έχουν γίνει σημαντικές βελτιώσεις στους τρόπους μετρήσεων των γραμμών μεταφοράς και τις τηλεπικοινωνίες, επιτρέποντας τη δοκιμή των DLR’s γραμμών σε πραγματικό χρόνο λειτουργίας. Ένας αρκετά σημαντικός αριθμός των διαχειριστών μεταφοράς προσέγγισε το ζήτημα αυτό με

διαφορετικούς τρόπους και όμως δεν κατάφερε να επιβεβαιώσει ποιος συνδυασμός μετρήσεων και αλγορίθμων αντιπροσωπεύει τη βέλτιστη λύση [2].

• Εφαρμογές

Όπως έχει προαναφερθεί η θερμική κατάσταση ενός αγωγού και μιας γραμμής μεταφοράς, αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την ασφάλεια του δικτύου. Η τεχνολογία DLR δίνει τη δυνατότητα ελέγχου του δικτύου κάθε χρονική στιγμή, μέσω κατάλληλων αισθητήρων τοποθετημένων στις εναέριες γραμμές μεταφοράς. Βέβαια, θα πρέπει να συλλέγονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την παρακολούθηση της τρέχουσας κατάστασης του αγωγού και των περιβαλλοντικών παραμέτρων (ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία περιβάλλοντος κ.λπ.) κατά μήκος της γραμμής. Οι σημαντικότερες παράμετροι που απαιτείται να είναι μετρούμενες κάθε στιγμή είναι η θερμοκρασία του αγωγού και το φορτίο της γραμμής μεταφοράς. Επίσης, εξίσου σημαντική παράμετρος αποτελεί και η ποσότητα πάγου¹⁴ που μπορεί να υπάρχει στην εναέρια γραμμή, όταν επικρατούν άσχημες καιρικές συνθήκες και αυτό διότι η παρουσία πάγου αυξάνει το sag της εναέριας γραμμής.

Όλα τα ανωτέρω απαιτούν την ύπαρξη-τοποθέτηση κατάλληλων αισθητήρων στη γραμμή. Δηλαδή, ένα κατάλληλο σύστημα DLR θα πρέπει να περιέχει κατάλληλους τοποθετημένους αισθητήρες, καθώς και απαραίτητα λειτουργικά προγράμματα (κατάλληλους αλγόριθμους) τα οποία θα χρησιμοποιούν και θα επεξεργάζονται τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, θα εκτελούν πρόγνωση καιρού και θα επεξεργάζονται συνεχώς δεδομένα για την κατάσταση του αγωγού [9]. Η χρονική ανάλυση μιας καιρικής πρόγνωσης είναι πολύ σημαντική παράμετρος επιλογής του κατάλληλου μοντέλου, διότι οι καιρικές παράμετροι μπορεί να τροποποιούνται με μεγάλη συχνότητα, κάτι το οποίο προκαλεί ανακρίβεια στους υπολογισμούς [9].

Η δημιουργία πάγου στις εναέριες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας «γεννά» πολλές προκλήσεις των διαχειριστών μεταφοράς και διανομής ενέργειας,

¹⁴Σε πολλές χώρες με ψυχρό κλίμα, ο ατμοσφαιρικός πάγος μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές σε υποδομές, συμπεριλαμβανομένου του εξοπλισμού του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, όπως πύργοι εναέριων γραμμών και ηλεκτροφόρα καλώδια, γεγονός που προκαλεί ζήτηση για συστήματα ανίχνευσης πάγου με την βοήθεια ειδικών αισθητήρων [9].

παγκοσμίως. Το βασικό πρόβλημα του παγώματος των γραμμών, είναι η εμφάνιση ενός πρόσθετου μηχανικού φορτίου στον αγωγό, κάτι που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη μηχανική συμπεριφορά των δομών της γραμμής. Τα προβλήματα που μπορεί να προκληθούν από αυτή τη μηχανική συμπεριφορά, είναι η αύξηση του sag καθώς και η πρόκληση σοβαρότερης ζημιάς λόγω κατάρρευσης των πυλώνων υψηλής τάσης, με αποτέλεσμα την πρόκληση προβλημάτων ασφάλειας του δικτύου, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε διακοπή παροχής ενέργειας στους καταναλωτές.

Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα παγοποίησης γραμμής μεταφοράς συνέβη το 2014 στην Σλοβενία. Λόγω μιας βλάβης στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω παγοποίησης της γραμμής μεταφοράς, περίπου 200.000 πολίτες έμειναν για αρκετές ώρες χωρίς ηλεκτρικό ρεύμα για αρκετές ώρες, κάτι που δημιούργησε τεράστια προβλήματα στο διαχειριστή μεταφοράς [11]. Εκείνη τη χρονιά, σχεδόν όλη η χώρα επλήγη από έντονα καιρικά φαινόμενα με αποτέλεσμα την κατάρρευση των γραμμών διανομής με πρόκληση τεράστιων προβλημάτων.

Τα αποτελέσματα αποδείχθηκαν πολύ καταστροφικά στη γραμμή μεταφοράς μεταξύ των μετασχηματιστών στην περιοχή της Λιουμπλιάνας και της Ντιβάτσα, καθόσον καταστράφηκαν γραμμές των 220kV και 400kV. Επίσης έσπασε, λόγω του πάγου ένας πύργος, καταστρέφοντας έτσι τον αγωγό. Οι καταστροφές αυτές αποτέλεσαν το κίνητρο για την τοποθέτηση αισθητήρων στη γραμμή μεταφοράς, εφαρμόζοντας ταυτόχρονα ένα πλήρες σύστημα διαχείρισης της γραμμής, βασισμένο στην τεχνολογία DLR [11].

Η Σλοβενία αποτελεί ένα φωτεινό παράδειγμα ανάπτυξης της τεχνολογίας DLR. Η εφαρμογή της νέας αυτής τεχνολογίας σκοπό είχε να αποδείξει:

- τη σημαντικότητα χρήσης κατάλληλων αισθητήρων στις εναέριες γραμμές μεταφοράς, στις περιπτώσεις που υπάρξει ξαφνική διακοπή παροχής ενέργειας και γενικότερης κατάρρευσης του δικτύου, ειδικά στις περιπτώσεις παγοποίησης του αγωγού.
- την αύξηση της ασφάλειας του συστήματος και της αποδοτικότητας του δικτύου σε φαινόμενα παγοποίησης των αγωγών.

Για τους παραπάνω λόγους μια περίπλοκη κατασκευή εφαρμόστηκε στη γραμμή διανομής Kleče – Logatec (KLLO) 110 kV, **Εικόνα 20**.



Εικόνα 20: Εγκατάσταση συσκευών OLTM στη γραμμή μεταφοράς Kleče – Logatec

Κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου έργου, δύο μετεωρολογικοί σταθμοί εγκαταστάθηκαν στους πυλώνες της εναέριας γραμμής με σκοπό τη συλλογή και επεξεργασία καιρικών παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο. Επιπρόσθετα τοποθετήθηκαν 4 επιπλέον αισθητήρες παρακολούθησης της χωρητικότητας του αγωγού, καθώς και του φορτίου που διαρρέει τον αγωγό κάθε χρονική στιγμή, καθώς επίσης και ειδικές κάμερες απεικόνισης της λειτουργικής κατάστασης του αγωγού.

Στο συγκεκριμένο εγχείρημα μετείχε και ο Εθνικός Μετεωρολογικός Οργανισμός της χώρας (MNRSP – Ministry of Natural Resources and Spatial Planning, ARSO – National Weather Agency), με σκοπό την παροχή στοιχείων πρόγνωσης καιρού και ειδικά πρόγνωση παγοποίησης. Όλα τα παρεχόμενα στοιχεία από τους αισθητήρες και το μετεωρολογικό οργανισμό, συλλέγονται σε έναν κεντρικό διακομιστή, όπου επεξεργάζονται, ψηφιακά απεικονίζονται και παρέχονται τα τελικά αποτελέσματα προς περεταίρω μελέτη [11].

Για την επεξεργασία και μελέτη των στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν δύο ξεχωριστά λειτουργικά προγράμματα. Το *OLTМ smart center* σύστημα και το *BME's complex grid management model*.

OLTМ smart center:

Το OLTМ smart center, προσφέρει μια πλατφόρμα απεικόνισης των αποτελεσμάτων των μετρήσεων που προσφέρουν οι τέσσερις εγκατεστημένοι αισθητήρες, λειτουργώντας ως ένα πρόγραμμα εξομοίωσης. Το συγκεκριμένο μοντέλο περιέχει επίσης ένα σύστημα ανίχνευσης πάγου που αναπτύχθηκε από την C&G d.o.o. και OTLM d.o.o. Επιπλέον, η συσκευή OTLM είναι εξοπλισμένη με κάμερα που παρέχει εικόνες σχετικά με την πραγματική κατάσταση του αγωγού [11].

BME's complex grid management model:

Το σύστημα διαχείρισης δικτύου της BME's, βασίζεται σε μια δυναμική μέθοδο αξιολόγησης των γραμμών, η οποία είναι ένας πολλά υποσχόμενος και οικονομικά αποδοτικός τρόπος για να ρυθμιστεί η χωρητικότητα μεταφοράς της γραμμής στις συνεχώς μεταβαλλόμενες μετεωρολογικές-ατμοσφαιρικές συνθήκες. Αυτή η τεχνολογία, ωστόσο, μπορεί να ενισχυθεί και με άλλα χαρακτηριστικά, όπως το υποσύστημα παρακολούθησης θερμοκρασίας αγωγού, υποσύστημα πρόβλεψης πάγου. Το σύστημα BME αξιολογεί τη γραμμή σε πραγματικό χρόνο κάθε 5 λεπτά, καθώς είναι διαθέσιμα τα δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών. Επίσης, για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας του αγωγού το σύστημα διαχείρισης BME βασίζεται στην τεχνολογία των νευρωνικών δικτύων, ενώ το υποσύστημα πρόβλεψης πάγου χρησιμοποιεί μια πρόγνωση καιρού 24 ωρών για να προσδιορίσει τον αναμενόμενο τύπο πάγου και τις φυσικές του ιδιότητες, όπως η διάμετρος του και το πρόσθετο μηχανικό του φορτίο.

• Σχετιζόμενες Έννοιες

Κάποιες βασικές έννοιες που εμπλέκονται με την νέα τεχνολογία DLR είναι:

- ***Thermal current limit (current carrying capacity / ampacity)***

Το όριο θερμικού ρεύματος (τρέχουσα φέρουσα χωρητικότητα), ορίζεται ως η μέγιστη ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος που μπορεί να μεταφέρει αγωγός ή συσκευή πριν από τη διατήρηση άμεσης ή προοδευτικής φθοράς.

- **Static thermal current**

Ένα στατικό θερμικό ρεύμα είναι ένα ρεύμα που προκαλεί αυτόν τον αγωγό, να λειτουργεί κάτω από ορισμένες εικονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες¹⁵, σχεδιασμένες για ορισμένη μέγιστη διάρκεια λειτουργίας και μέγιστη κάμψη της γραμμής μεταφοράς (sag), φτάνοντας έτσι σε ένα από τα δύο όρια: τη μέγιστη θερμοκρασία αγωγού ή το μέγιστο sag.

- **Dynamic thermal current**

Ένα δυναμικό θερμικό ρεύμα¹⁶, είναι ένα ρεύμα κατά το οποίο ο αγωγός λειτουργεί υπό πραγματικές ατμοσφαιρικές συνθήκες, σχεδιασμένος για ορισμένη μέγιστη διάρκεια λειτουργίας και μέγιστη κάμψη της γραμμής μεταφοράς (sag), φτάνοντας σε ένα από τα δύο όρια: τη μέγιστη θερμοκρασία αγωγού ή το μέγιστο sag.

Οι μεθοδολογίες εκτίμησης στατικών γραμμών μεταφοράς εξαρτώνται από διάφορες περιβαλλοντικές μεταβλητές. Αυτές οι μεταβλητές σχετίζονται με την ποσότητα θερμότητας που παράγεται στη γραμμή (αντίσταση και ρεύμα)¹⁷, τη θερμότητα που προστίθεται στη γραμμή (ηλιακή ακτινοβολία)¹⁸ και τη θερμότητα που αφαιρείται από τη γραμμή¹⁹[1].

- **Current carrying capacity of conductor**

¹⁵ Σημειώνεται ότι οι σταθερές ατμοσφαιρικές συνθήκες μπορούν να καθοριστούν μόνο σε ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες, με αποτέλεσμα η επιβεβαίωση σταθερού θερμικού ρεύματος περιορίζεται σε αυτό το περιβάλλον και συνήθως δεν περιλαμβάνει όλες τις λεπτομερείς μηχανικές συμπεριφορές ολόκληρης της γραμμής.

¹⁶ Δεδομένου ότι οι πραγματικές ατμοσφαιρικές συνθήκες ποικίλλουν σημαντικά ακόμη και σε «σταθερές ατμοσφαιρικές συνθήκες», το δυναμικό θερμικό ρεύμα ποικίλλει επίσης ανάλογα. Το δυναμικό θερμικό ρεύμα μπορεί να προσδιορίζεται σε ειδικές εγκαταστάσεις δοκιμών.

¹⁷ Το ρεύμα που διαρρέει μια γραμμή μεταφοράς είναι μια κίνηση ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια κατά την κίνησή τους συγκρούονται με τα τοιχώματα του αγωγού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας εντός του αγωγού

¹⁸ Η ηλιακή ακτινοβολία εκπέμπει προς την Γη τεράστια ποσά θερμικής και όχι μόνο, ενέργειας. Αυτό προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας της περιοχής που είναι τοποθετημένες οι γραμμές μεταφοράς και κατ' επέκταση της ίδιας της γραμμής μεταφοράς.

¹⁹ Όταν επικρατούν άσχημες καιρικές συνθήκες (χιόνια, άνεμοι κτλ.) στις περιοχές που είναι τοποθετημένες οι γραμμές μεταφοράς έχει ως αποτέλεσμα να προκαλεί επιπλοκές και στην λειτουργία της.

Η τρέχουσα φέρουσα χωρητικότητα ενός αγωγού, ορίζεται για μια ορισμένη κατασκευή και συνεπάγεται ορισμένες συνθήκες περιβάλλοντος και συνήθως παρέχεται από τον κατασκευαστή του αγωγού. Επομένως, η τρέχουσα φέρουσα χωρητικότητα²⁰ σχετίζεται άμεσα με το υλικό κατασκευής του αγωγού καθώς επίσης και με την κατασκευή του αγωγού σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες.

- ***Transmission line design temperature***

Η θερμοκρασία σχεδιασμού της γραμμής μεταφοράς²¹, είναι μια μέγιστη θερμοκρασία που μπορεί να φτάσει ο αγωγός σε οποιοδήποτε χρονικό διάστημα.

3.1.3 Τεχνολογίες αισθητήρων για τον έλεγχο των ηλεκτρικών παραμέτρων του δικτύου

Όπως προαναφέρθηκε, ο έγκαιρος έλεγχος της γραμμής μεταφοράς, με τη χρήση κατάλληλων αισθητήρων, παρέχει ασφάλεια στο δίκτυο. Σε αυτό βασίζεται και η τεχνολογία DLR, μια βασική απαίτηση της οποίας είναι η συνεχής λειτουργία ειδικών αισθητήρων [10]. Για αυτό το σκοπό οι περισσότεροι κατασκευαστές αυτών των ειδικών αισθητήρων χρησιμοποιούν ενσωματωμένες μπαταρίες, οι οποίες προσφέρουν χρόνο λειτουργίας από 5 έως 10 έτη χωρίς καμιά συντήρηση.

Βέβαια, ο καλύτερος τρόπος λειτουργίας είναι ο συνδυασμός του μετασχηματιστή ρεύματος της γραμμής μαζί με τη χρήση μπαταριών. Αυτή η επιλογή δίνει τη δυνατότητα στους αισθητήρες να είναι σε θέση να λειτουργήσουν ακόμη και όταν η γραμμή μεταφοράς είναι απενεργοποιημένη από το δίκτυο [10].

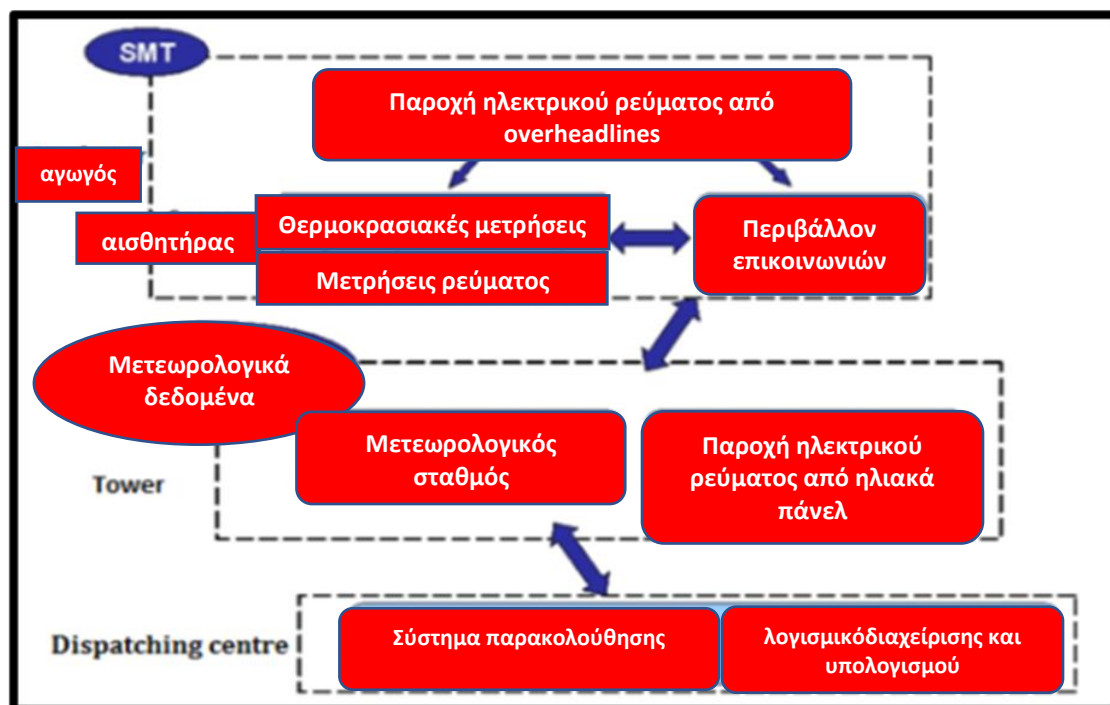
Οι αισθητήρες τοποθετούνται σε ιδιαίτερα σημεία των γραμμών μεταφοράς, όπου πιθανολογείται η εμφάνιση προβλημάτων, με σκοπό την αποδοτικότερη διαχείριση του δικτύου. Επομένως είναι απαραίτητος ένας αρχικός έλεγχος της γραμμής και ιδιαίτερα κρίσιμων σημείων της. Τα συγκεκριμένα κρίσιμα σημεία μιας εναέριας

²⁰ Πρέπει να σημειωθεί ότι η μηχανική εφαρμογή ενός συγκεκριμένου αγωγού μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερη τρέχουσα φέρουσα χωρητικότητα από εκείνες των προδιαγραφών, λόγω της χαμηλότερης μέγιστης θερμοκρασίας σχεδιασμού της γραμμής.

²¹ Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία σχεδιασμού μπορεί να είναι χαμηλότερη από τη μέγιστη θερμοκρασία του αγωγού.

γραμμής επιλέγονται κάθε φορά, λαμβάνοντας διαφορετικές συνθήκες, κάτι το οποίο απαιτεί μια εκτεταμένη ανάλυση²² [9].

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται ποικίλουν, αναλόγως με το ποια παράμετρο υπολογίζουν. Οι πιο σημαντικές παράμετροι που απαιτείται να ελέγχονται στη διάρκεια λειτουργίας ενός αγωγού, είναι η θερμοκρασία του αγωγού, το φορτίο που τον διαρρέει καθώς και το ποσοστό ανίχνευσης πάγου²³ πάνω στη γραμμή. Κατά τη συλλογή όλων των πληροφοριών μέσω των αισθητήρων, απαιτείται η ύπαρξη διακομιστή που θα συλλέγει τα δεδομένα από όλους τους αισθητήρες και θα εκτελεί ανάλογους αλγορίθμους σχετικούς με τις μετρήσεις που θα εκτελούνται. Ο διακομιστής υποστηρίζεται με στοιχεία λογισμικού, όπως λειτουργικά συστήματα, βάσεις δεδομένων. Ταυτόχρονα εκτελείται και ένα φιλτράρισμα της ροής όλων των δεδομένων. Ο απαιτούμενος εξοπλισμός για τη συλλογή των απαραίτητων στοιχείων και την ασφάλεια του δικτύου, με τη βοήθεια των αισθητήρων, φαίνεται στην **Εικόνα 21**.



Εικόνα 21: Απαιτούμενος εξοπλισμός μέτρησης κοντά στην περιοχή της γραμμής μεταφοράς κατά την εφαρμογή της τεχνολογία DLR, με την χρήση αισθητήρων

²² Διερευνώνται πιθανά εμπόδια κάτω από την εναέρια γραμμή μεταφοράς και οι υψομετρικές διαφορές μεταξύ των πυλώνων και τα μεγάλα μήκους κρίσιμα σημεία της γραμμής.

²³ Ο σχηματισμός πάγου μπορεί να ανιχνευθεί με την μέτρηση καιρικών παραμέτρων και μέτρηση του sag.

3.2 Τεχνολογίες αποθήκευσης και ευέλικτου ελέγχου για παροχή υπηρεσιών δικτύου

3.2.1 Μπαταρίες

Οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μηχανικές, ηλεκτροχημικές, χημικές, ηλεκτρικές ή θερμικές συσκευές, ανάλογα με την τεχνολογία αποθήκευσης που εφαρμόζεται κάθε φορά (Εικόνα 22) [2].



Εικόνα 22: Ταξινόμηση τεχνολογιών αποθήκευσης κατά τύπο ενέργειας

Σημειώνεται ότι η μηχανική τεχνολογία, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας με αντλία, αποτελεί περίπου το 95% της υπάρχουσας χωρητικότητας αποθήκευσης. Ο βασικός περιορισμός αυτής της τεχνολογίας είναι η ανάγκη για μεγάλα ποσά υδάτινων πόρων [2].

Οι συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, αναλόγως της τεχνολογίας που χρησιμοποιούν, αποτελούν αναπόσπαστο στοιχείο για την ευελιξία των σύγχρονων συστημάτων ισχύος.

Επειδή η προσφορά και ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα σύστημα ισχύος, πρέπει να βρίσκονται πάντοτε σε ισορροπία, προς αποφυγή κατάρρευσης του δικτύου, η παραγόμενη ενέργεια που προσφέρεται στο δίκτυο θα πρέπει πάντοτε να συμβαδίζει με τα συνεχώς μεταβαλλόμενα φορτία. Εκείνα τα συστήματα που είναι ικανά να συμβάλλουν σε αυτή τη διαδικασία εξισορρόπησης είναι τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπαταρίας [Battery Energy Storage Systems – (BESS)][1].

3.3 Ενεργοί Καταναλωτές Ηλεκτρικής Ενέργειας – (Prosumers Customers or Active Energy Customers)

Τα τελευταία χρόνια, η διείσδυση των ΑΠΕ στα συστήματα ισχύος δημιούργησε την ανάγκη ενεργής συμμετοχής στον ενεργειακό κλάδο και των απλών καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενεργή αυτή συμμετοχή μεταφράζεται με το να μην είναι απλοί μόνο καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας αλλά να συμμετέχουν, σε μικρό ή μεγάλο επίπεδο στην αλυσίδα τροφοδοσίας του δικτύου. Ειδικότερα, η Ευρωπαϊκή Ένωση το 2015 έθεσε τους πολίτες της ως κινητήριοι δύναμη της επονομαζόμενης Ενεργειακής Ένωσης, καθιστώντας τους ως ο πυρήνας του ενεργειακού τομέα, στον οποίο θα μπορούν να μειώσουν τους λογαριασμούς ηλεκτρικής ενέργειας και ταυτόχρονα θα συμμετέχουν ενεργά στις αγορές [4].

Η παραπάνω διαδικασία οδήγησε στην έρευνα νέων τεχνολογιών (φωτοβολταϊκών πάνελ, μπαταρίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας κ.λπ.), οι οποίες είναι ικανές να εκμεταλλευτούν την επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια, ενώ ταυτόχρονα, από την πλευρά της αυξανόμενης ζήτησης ηλεκτροδότησης, λόγω αύξησης των αναγκών, οι περισσότερες χώρες ανά τον κόσμο επέτρεψαν τον αυξανόμενο ρόλο των καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας [1]. Ο νέος ρόλος των καταναλωτών εισήγαγε στον ενεργειακό κλάδο έναν νέο χαρακτηρισμό για τους ενεργούς καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας. Ο χαρακτηρισμός των νέων αυτών καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας είναι prosumers ή active customers. Βέβαια, ο νέος όρος του ενεργού καταναλωτή (prosumers) στην πραγματικότητα δεν εμφανίσθηκε τα τελευταία χρόνια. Ο όρος prosumers πρωτοαναφέρθηκε το 1980 από τον Alvin Toffler για να

καλύψει περιστατικά όπου οι άνθρωποι ενεργούσαν ως παραγωγοί των δικών τους αγαθών [5].

Ο νέος ρόλος των ενεργών καταναλωτών (active energy consumers ή prosumers) έχει τη δύναμη να αλλάξει προς το καλύτερο το ενεργειακό σύστημα. Συγκεκριμένα, ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας [International Energy Agency (IEA)], θεωρεί ότι τα φωτοβολταϊκά πάνελ ιδιαιτέρως μπορούν να κάνουν την επανάσταση στον ενεργειακό κλάδο, όπως πραγματοποίησαν παλαιότερα οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και τα κινητά τηλέφωνα [4]. Αναφέρεται ότι οι prosumers, οι οποίοι επενδύουν στις ανανεώσιμες τεχνολογίες θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην οικονομική ενεργειακή μετάβαση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με την αύξηση της συνεισφοράς των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας [Renewable Energy Sources–(RES)].

Ένας ορισμός των ενεργών καταναλωτών (active customers) ή prosumers είναι ο ακόλουθος:

«Ενεργοί καταναλωτές ορίζονται οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας που παράγουν μέρος των ενεργειακών τους αναγκών από τη δική τους μονάδα παραγωγής (φωτοβολταϊκά πάνελ, τουρμπίνες κ.λπ.) για τη δική τους ενεργειακή αυτονομία, αλλά ταυτόχρονα πουλώντας περίσσεια ενέργειας στο δίκτυο διανομής» [3, 5].

Η νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης δεν αναγνωρίζει τον ορισμό των prosumers, αλλά κάνει χρήση του όρου «self-consumption». Συγκεκριμένα, το άρθρο 2 της παραγράφου 1 της Ευρωπαϊκής οδηγίας 2018/2001 ορίζει ως «self-consumption» τον τελικό πελάτη ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργεί εντός των ορίων της εγκατάστασής του ή εκείνον που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από τις δικές του εγκαταστάσεις των ΑΠΕ προς ίδια εκμετάλλευσή του, που μπορεί επίσης να αποθηκεύει ή και να πουλάει τη δική του παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Όμως ένας σημαντικός περιορισμός που τίθεται από τη συγκεκριμένη Ευρωπαϊκή οδηγία αναφορικά με τον ορισμό του ενεργού καταναλωτή, είναι στο να μην αποτελεί η συγκεκριμένη διαδικασία την κύρια εμπορική ή επαγγελματική του δραστηριότητα [3].

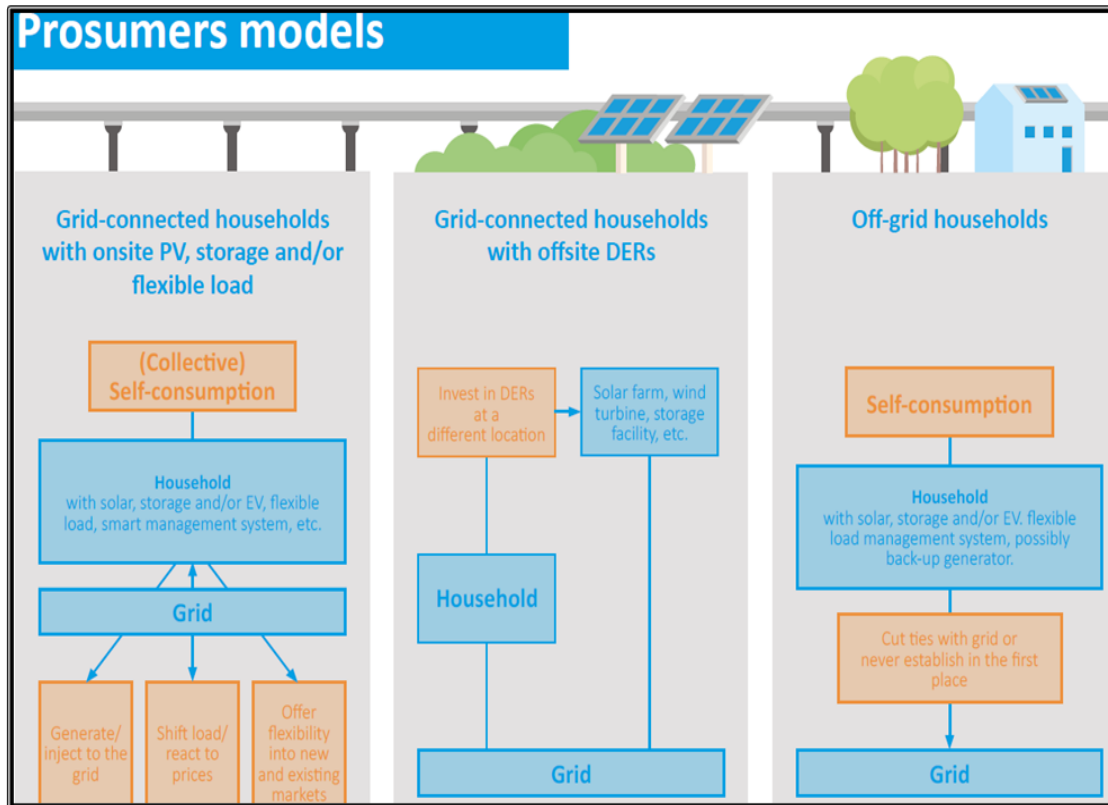
Επισημαίνεται όμως ότι για τα περισσότερα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο ορισμός του όρου «self-consumption» είναι διαφορετικός, ενώ ταυτόχρονα κάποια κράτη-μέλη έχουν είτε διαφοροποιήσει τις έννοιες «self-consumption» και «prosumers», είτε έχουν έναν κοινό ορισμό. Συγκεκριμένα, η Ελλάδα, βάσει νομοθεσίας έχει δώσει δύο ξεχωριστούς ορισμούς. Πιο συγκεκριμένα ο νόμος 3468/2006 ορίζει ως «self-producer» τον παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει ενέργεια από τις ΑΠΕ, κυρίως για τη δική του χρήση, διοχετεύοντας τυχόν πλεονάζουσα ισχύ στο δίκτυο. Επίσης, ο νόμος 4001/2011 ορίζει ως «self-producer» τον παραγωγό που παράγει ηλεκτρική ενέργεια κυρίως για δική του χρήση και διοχετεύει κάθε πλεόνασμα αυτής στο σύστημα μεταφοράς ή διανομής [3]. Τέλος, ο νόμος 3468/2006 ορίζει τον «autonomous producer» ως τον παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει ενέργεια επίσης από τις ΑΠΕ, του οποίου όμως η μονάδα παραγωγής δεν είναι συνδεδεμένη στο κεντρικό δίκτυο.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι «prosumers». Ενδεικτικά αναφέρονται οι ακόλουθοι:

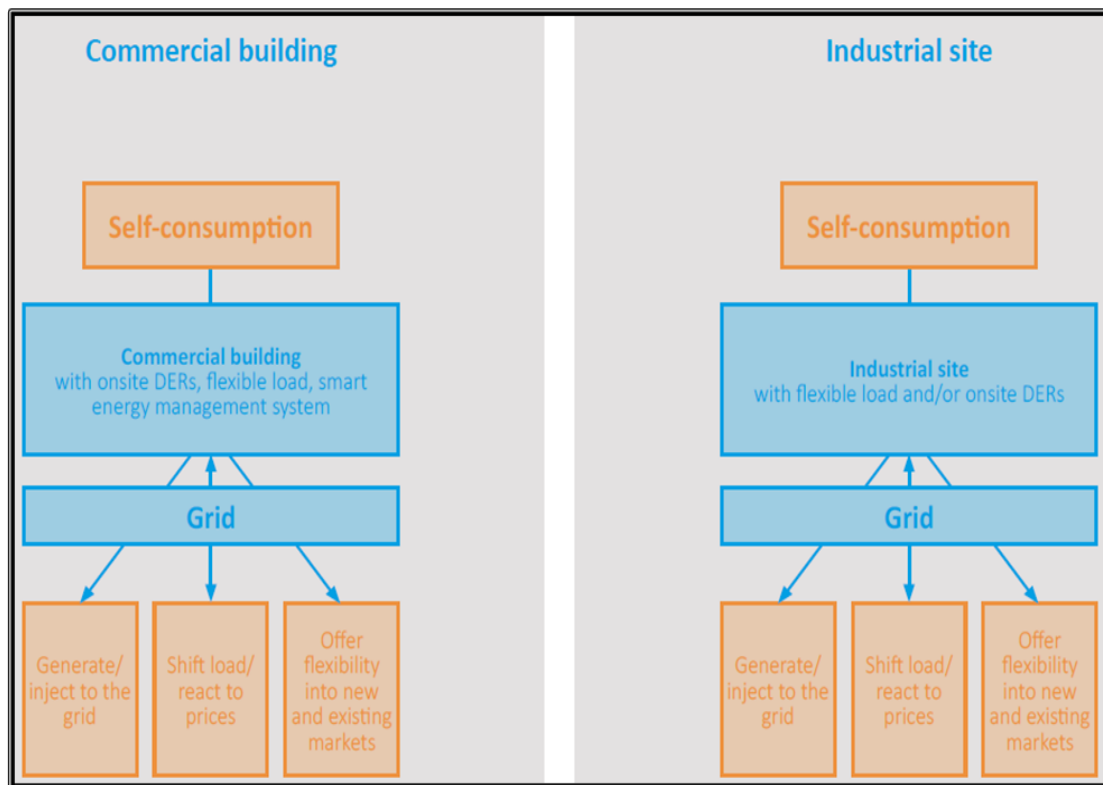
- **Residential prosumers:** μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από δικές τους κατασκευές στις κατοικίες τους, ιδιαίτερα με τη βοήθεια φωτοβολταϊκών πάνελ που είναι τοποθετημένα στις οροφές των κατοικιών ή μέσω μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού - θερμότητας micro combined heat and power (micro-CHP).
- **Commercial prosumers:** αποτελούν πολυκαταστήματα, κτίρια γραφείων, εργοστάσια και επιχειρήσεις των οποίων η κύρια επιχειρηματική δραστηριότητα δεν είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν (ενεργειακή αυτονομία), κυρίως με την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πάνελ, στις οροφές των κτιρίων, κάτι που τους αποφέρει μεγάλη εξοικονόμηση κόστους.
- **Public institutes – prosumers:** αποτελούν σχολεία, νοσοκομεία και άλλα δημόσια κτίρια-ινστιτούτα, τα οποία αυτοεξυπηρετούνται ενεργειακά.
- **Citizen-led energy cooperatives or housing gas sociations:** αποτελούν συνεταιρισμούς, ιδρύματα, φιλανθρωπικά ιδρύματα, και γενικά μη εμπορικές οργανώσεις που παράγουν ενέργεια για ιδιοκατανάλωση για την

ενεργειακή τους αυτονομία, με τη χρήση τοποθετημένων φωτοβολταϊκών πάνελ ή ανεμογεννήτριες που τοποθετούνται στις οροφές των κτιρίων [4,7].

Στις **Εικόνες 23&24** απεικονίζονται τα μοντέλα του όρου prosumers [1].



Εικόνα 23: Μοντέλα ενεργών καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας (prosumers), [1]



Εικόνα 24: Μοντέλα ενεργών καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας (prosumers), [1]

Με βάση τους παραπάνω ορισμούς που δόθηκαν για τις διάφορες κατηγορίες του όρου prosumer, επισημαίνεται ότι η έννοια της αυτοπαραγωγής (self-generation) ηλεκτρικής ενέργειας δεν αποτελεί πάντοτε χαρακτηριστικό στοιχείο των prosumers. Μια ευρύτερη κατανόηση του συγκεκριμένου όρου (self-generation) καλύπτει όλους τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, που όχι μόνο καταναλώνουν αλλά συμμετέχουν ενεργά στην αγορά, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο αξία τόσο για τους ίδιους αλλά και για όλους τους συμμετέχοντες στην αγορά του ενεργειακού κλάδου.

Οι prosumers έχουν την ικανότητα να εξοικονομούν ηλεκτρική ενέργεια μέσω μέτρων ενεργειακής απόδοσης και ανταπόκρισης από την πλευρά της ζήτησης (δηλαδή τη μετατόπιση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε εποχή που η προσφορά είναι άφθονη). Επομένως, αυτή η μειωμένη ζήτηση προσδίδει αξία στην αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας, όπου για την οποία οι καταναλωτές (prosumers) θα μπορούσαν να αποζημιωθούν. Τέλος, θα μπορούσαν και να πουλήσουν το ενεργειακό πλεόνασμα που θα προέκυπτε από την αποθήκευσή της [4].

Γενικότερα, υπάρχουν αρκετοί λόγοι για τους οποίους κάποιος καταναλωτής επιθυμεί να διαδραματίσει ενεργό ρόλο στον ενεργειακό τομέα, γίνοντας έτσι «prosumer». Κάποιοι τέτοιοι παράγοντες είναι η ενεργειακή ανεξάρτησή του από το δίκτυο (έχει κατά κάποιο τρόπο ενεργειακή ανεξάρτηση σε ένα ευμετάβλητο ενεργειακό περιβάλλον), καθιστώντας τον σε μεγάλο βαθμό ενεργειακά αυτόνομο. Επίσης, ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας είναι η προώθηση μετάβασης από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων σε πιο καθαρότερες μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι οι ΑΠΕ, οι οποίες την τελευταία δεκαετία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, κάτι το οποίο προωθούν επίμονα και τα περισσότερα Ευρωπαϊκά κράτη. Οι παραπάνω λόγοι που ελκύουν απλούς καταναλωτές να μεταμορφωθούν σε prosumers ενισχύονται και από το γεγονός του χαμηλού κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχουν οι ΑΠΕ και ιδιαίτερα τα φωτοβολταϊκά πάνελ που τοποθετούνται στις οροφές των κατοικιών [4], κίνηση που έχει θετικό αντίκτυπο στις τσέπες των prosumers.

3.4 Υπολογιστικές πλατφόρμες και καινοτόμες τεχνολογίες από τα ερευνητικά προγράμματα «Horizon 2020»

3.4.1 Θέματα κατανομής φορτίου και εφεδρειών

Το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα σύστημα που απαιτεί από τους σταθμούς παραγωγής να παράγουν, σε πραγματικό χρόνο τη σωστή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, την κατάλληλη χρονική στιγμή για να καλύπτουν με συνέπεια και αξιοπιστία τη ζήτηση φορτίου. Για να υλοποιηθεί αυτός ο στόχος, μια ορισμένη ποσότητα ενεργού ισχύος που ονομάζεται εφεδρεία²⁴ ελέγχου (control reserve)

²⁴ Ο διαχειριστής συστήματος μεταφοράς ενέργειας (TSO) παραθέτει του βασικούς κανόνες που διέπουν την συμμετοχή όλων των Παρόχων Υπηρεσιών Εξισορρόπησης στην Αγορά Ενέργειας εξισορρόπησης. Τα προϊόντα της Αγοράς Ενέργειας Εξισορρόπησης είναι η ανοδική και καθοδική Ενέργεια Εξισορρόπησης, τα οποία ενεργοποιούνται μέσω της εκτέλεσης της διαδικασίας χειροκίνητης Εφεδρείας Αποκατάσταση της Συχνότητας (χΕΑΣ) και της αυτόματης Εφεδρείας Αποκατάσταση της Συχνότητας (αΕΑΣ). Οι Εφεδρείες Αποκατάστασης Συχνότητας (ΕΑΣ) προσφέρονται από τους εξουσιοδοτημένους παρόχους εξισορρόπησης, οι οποίοι εκπροσωπούν και διαχειρίζονται τις Οντότητες Υπηρεσιών Εξισορρόπησης στο Σύστημα προκειμένου αυτό να λειτουργεί με γνώμονα την ασφάλεια αλλά και την οικονομικότητα. Στα πλαίσια της Αγοράς Εξισορρόπησης προσδιορίζονται οι ποσότητες και τιμές για την ενεργοποίηση Ενέργειας Εξισορρόπησης από τις Οντότητες Υπηρεσίας Εξισορρόπησης, με σκοπό την εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τα Προγράμματα Αγοράς και την κατάσταση του Συστήματος σε πραγματικό χρόνο. Μέσω της ενεργοποίησης των διαδικασιών αυτόματης και χειροκίνητης ΕΑΣ, γίνεται κατάλληλη ενεργοποίηση των προϊόντων

αποθηκεύεται στο σύστημα και τα σχετικά σήματα ελέγχου κατηγοριοποιούνται σε τρεις κατηγορίες: πρωτογενής, δευτερογενής και τριτογενής έλεγχος. Ο αυτόματος έλεγχος παραγωγής (Automatic Generation Control - AGC²⁵) στο σύστημα ισχύος, αποτελείται από τον πρωτεύοντα και το δευτερεύοντα έλεγχο και η σχετική εφεδρεία ονομάζεται εφεδρεία-αποθεματικό AGC ή αποθεματικό απόκρισης συχνότητας.

Ο πρωτεύων έλεγχος (primary control) παρέχεται από περιστρεφόμενες γεννήτριες, οι οποίες ανταποκρίνονται άμεσα στις αποκλίσεις συχνότητας του συστήματος ισχύος. Εν τω μεταξύ, ο στόχος του δευτερεύοντος ελέγχου είναι να βοηθήσει τον πρωτεύοντα έλεγχο να επαναφέρει τη συχνότητα στην ονομαστική της τιμή το συντομότερο δυνατό. Γενικότερα, ο δευτερεύων έλεγχος είναι υπεύθυνος για τη διατήρηση της ισχύος στις προκαθορισμένες τιμές.

Οι εφεδρείες κατά τη διάρκεια του τριτεύοντα ελέγχου συνήθως ενεργοποιούνται χειροκίνητα, έτσι ώστε οι χρησιμοποιούμενες εφεδρείες από τον πρωτεύοντα και δευτερεύοντα έλεγχο να απελευθερώνονται άμεσα μετά από μεγάλη διαταραχή του συστήματος ισχύος. Οι εφεδρείες που σχετίζονται με αυτόν τον έλεγχο ονομάζονται αποθεματικό-εφεδρείες έκτακτης ανάγκης (contingency reserve) ή αποθεματικό-εφεδρείες αντικατάστασης (replacement reserve). Αυτός ο

ανοδικής/καθοδικής αυτόματης και χειροκίνητης Ενέργειας Εξισορρόπησης. Οι Εφεδρείες Αποκατάστασης Συχνότητας αποτελούν δηλαδή εφεδρείες ενεργού ισχύος που είναι διαθέσιμες για να αποκαταστήσουν τη συχνότητα του Συστήματος στην ονομαστική της τιμή και, για συγχρονισμένη περιοχή που αποτελείται από περισσότερες από μία περιοχές ελέγχου φορτίου - συχνότητας, ώστε να αποκαταστήσουν το ισοζύγιο ισχύος στην προγραμματισμένη τιμή. Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει οι Οντότητες Υπηρεσιών Εξισορρόπησης που έχουν επιλεγεί από την αγορά εξισορρόπησης να μπορέσουν να διαθέσουν τα απαιτούμενα ποσά εφεδρείας ισχύος και ενέργειας εξισορρόπησης είτε προς την κατεύθυνση αύξησης είτε μείωσης της παραγωγής τους, ώστε να μπορέσει να ανακατανεμηθεί η απαιτούμενη παραγωγή σε αυτές και να εξισορροπηθεί η απόκλιση παραγωγής-φορτίου σε πραγματικό χρόνο με αξιοπιστία και οικονομικότητα.

²⁵ Το AGC είναι μια σημαντική διαδικασία ελέγχου που λειτουργεί συνεχώς για να εξισορροπεί την παραγωγή και το φορτίο σε συστήματα με ελάχιστο κόστος. Το σύστημα AGC πραγματοποιεί αλλαγές - ελέγχους παραγωγής στέλνοντας σήματα στις υπό έλεγχο μονάδες παραγωγής. Η απόδοση ενός συστήματος AGC εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πόσο γρήγορα και αποτελεσματικά οι μονάδες παραγωγής ανταποκρίνονται στις εντολές. Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά απόκρισης της μονάδας παραγωγής σχετίζονται με πολλούς παράγοντες, όπως ο τύπος της μονάδας, το καύσιμο κτλ. Δεδομένου ότι η συχνότητα που παράγεται στο δίκτυο του συστήματος ισχύος είναι ανάλογη με την ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας, το πρόβλημα του ελέγχου συχνότητας μπορεί να μετατραπεί άμεσα σε πρόβλημα ελέγχου ταχύτητας του στροβίλου της γεννήτριας.

συνδυασμός ελέγχων λαμβάνει χώρα 10–15 λεπτά μετά από ένα σοβαρό πρόβλημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Επισημαίνεται, ότι στη φάση του τρίτου ελέγχου (tertiary control), μπορούν να χρησιμοποιηθούν εφεδρείες από συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, από υδροηλεκτρικούς σταθμούς, καθώς επιτρέπει μεγαλύτερη χρονική καθυστέρηση πριν από την ανάπτυξή τους. Η συγκεκριμένη παράγραφος της διατριβής εστιάζεται στο βέλτιστο προγραμματισμό των εφεδρειών που είναι ικανές να επιλύσουν μια ξαφνική αστοχία στο σύστημα ισχύος.

Η **Εικόνα 25** δείχνει την ισχύ εξόδου της γεννήτριας που συμμετέχει στη διαδικασία του αυτόματου ελέγχου (AGC) και τις εφεδρείες σε κανονικές συνθήκες (Normal Conditions) και συνθήκες (N- 1 Conditions), όπου υπάρχει διαταραχή στο δίκτυο.

Σε κανονικές συνθήκες (Normal Conditions) απαιτείται να ικανοποιούνται οι παρακάτω περιορισμοί:

$$\begin{aligned} P_{Gi,t} + U_{Gi,t} &\leq \min (P_{Gi,max}, A_{Gi,max}) \\ P_{Gi,t} - D_{Gi,t} &\geq \max (P_{Gi,min}, A_{Gi,min}) \end{aligned}$$

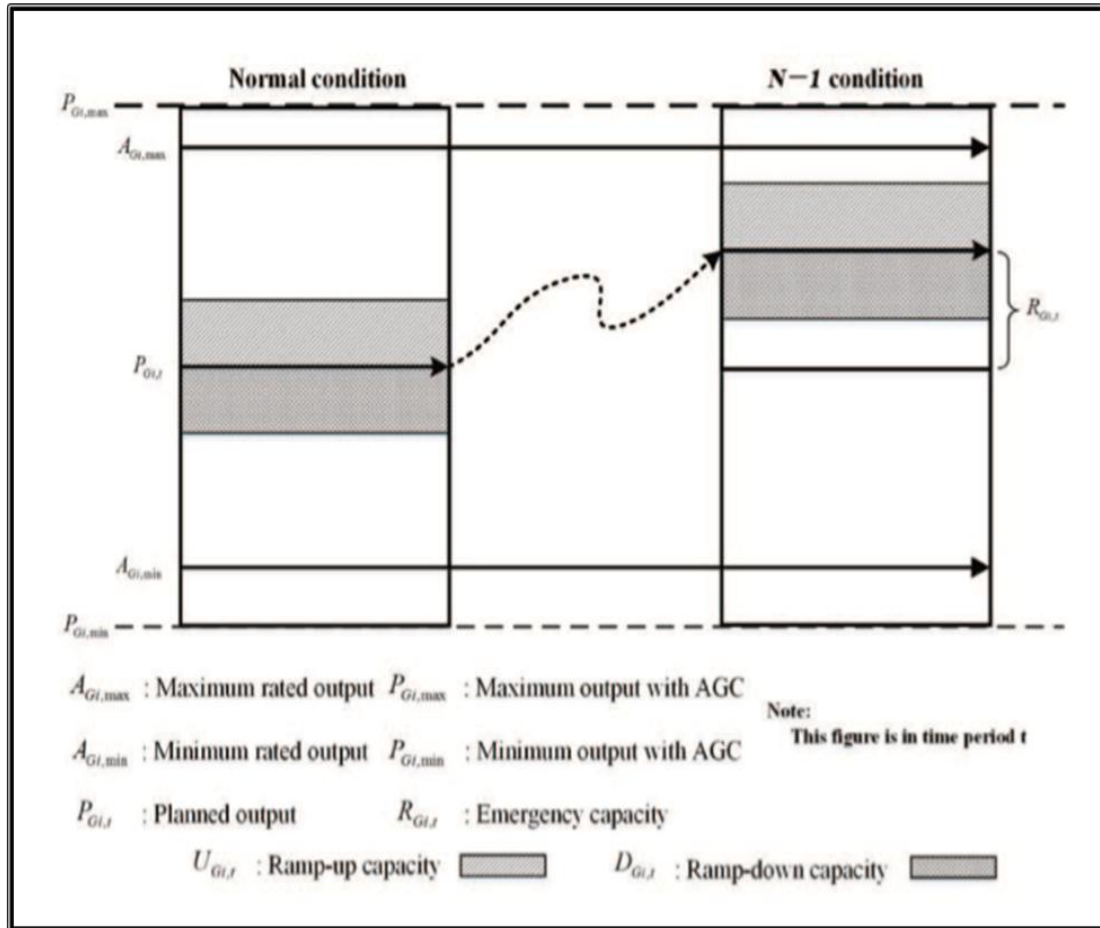
Στην περίπτωση όπου ένα από όλα τα στοιχεία του συστήματος ισχύος πάθει κάποια βλάβη [π.χ. κάποια γεννήτρια αποσυνδέθηκε από το δίκτυο - (N- 1 διαταραχή)], τότε για την επιτυχή συνέχιση λειτουργίας του συστήματος ισχύος, θα πρέπει να ικανοποιείται ο ακόλουθος περιορισμός:

$$P_{Gi,t} + U_{Gi,t} + R_{Gi,t} \leq \min (P_{Gi,max}, A_{Gi,max})$$

Το κύριο μέλημα αναφορικά με την κατανομή των εφεδρειών σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, υπόκειται στην ικανότητα αύξησης ή μείωσης της λειτουργίας των γεννητριών, κάτι το οποίο μπορεί να μοντελοποιηθεί ως εξής:

$$\begin{aligned} U_{Gi,t} &\leq T_{1i}r_{ui} \\ D_{Gi,t} &\leq T_{1i}r_{di} \\ R_{Gi,t} &\leq T_{2i}r_{di} \end{aligned}$$

όπου r_{ai} και r_{di} ο ρυθμός αύξησης ή μείωσης της λειτουργίας της i γεννήτριας. Ενώ, T_{1i} και T_{2i} είναι ο χρόνος ανύψωσης και πτώσης της i γεννήτριας αντίστοιχα.



$A_{Gi,max}$	Maximum rated output
$A_{Gi,min}$	Minimum rated output
$P_{Gi,t}$	Planned output
$P_{Gi,max}$	Maximum output with AGC
$P_{Gi,min}$	Minimum output with AGC
$R_{Gi,t}$	Emergency capacity
$U_{Gi,t}$	Ramp-up capacity
$D_{Gi,t}$	Ramp-down capacity

Εικόνα 25: Ισχύ εξόδου γεννήτριας που συμμετέχει στην διαδικασία του αυτόματου ελέγχου (AGC) και τις εφεδρείες σε κανονικές συνθήκες (Normal Conditions) και συνθήκες (N-1 Conditions)

- **Εφεδρείες Αυτόματου Ελέγχου Παραγωγής (Automatic Generation Control-AGC)**

Προτού διατυπωθεί ο βέλτιστος προγραμματισμός των εφεδρειών βάσει του AGC, γίνεται αρχικά μια εισαγωγή ενός στοχαστικού μοντέλου παραγωγής με τη βοήθεια του ανέμου (παραγωγή ενέργειας μέσω αιολικού πάρκου) και αντίστοιχο μοντέλο της ζήτησης φορτίου.

Η ταχύτητα του ανέμου θεωρείται ότι δίδεται από τη σχέση:

$$u_t = u_{f,t} + e_{W,t}$$

όπου $\overline{u_{f,t}}$ είναι η προβλεπόμενη ταχύτητα ανέμου τη χρονική στιγμή t και $e_{W,t}$ είναι το σφάλμα πρόβλεψης της ταχύτητας του ανέμου, το οποίο αντιπροσωπεύεται από μια Γκαουσιανή κατανομή $N(0, \sigma_{W,t})$. Με βάση αυτό το μοντέλο ταχύτητας ανέμου, η ισχύς εξόδου του αιολικού πάρκου υπολογίζεται ως:

$$P_{W,t} = \begin{cases} P_{Wr}, & u_r < u_t < u_{out} \\ \frac{u_t^3 - u_{in}^3}{u_r^3 - u_{in}^3} \cdot P_{Wr}, & u_{in} < u_t < u_r \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

όπου $\overline{u_{in}}, u_r$ και $\overline{u_{out}}$ είναι η ονομαστική ταχύτητα διακοπής και διακοπής ανέμου, αντίστοιχα και $\overline{P_{Wr}}$ είναι η ονομαστική ισχύς του αιολικού πάρκου.

Με παρόμοιο τρόπο η συνολική ζήτηση του φορτίου διατυπώνεται ως εξής:

$$P_{L,t} = P_{L,f,t} + e_{L,t}$$

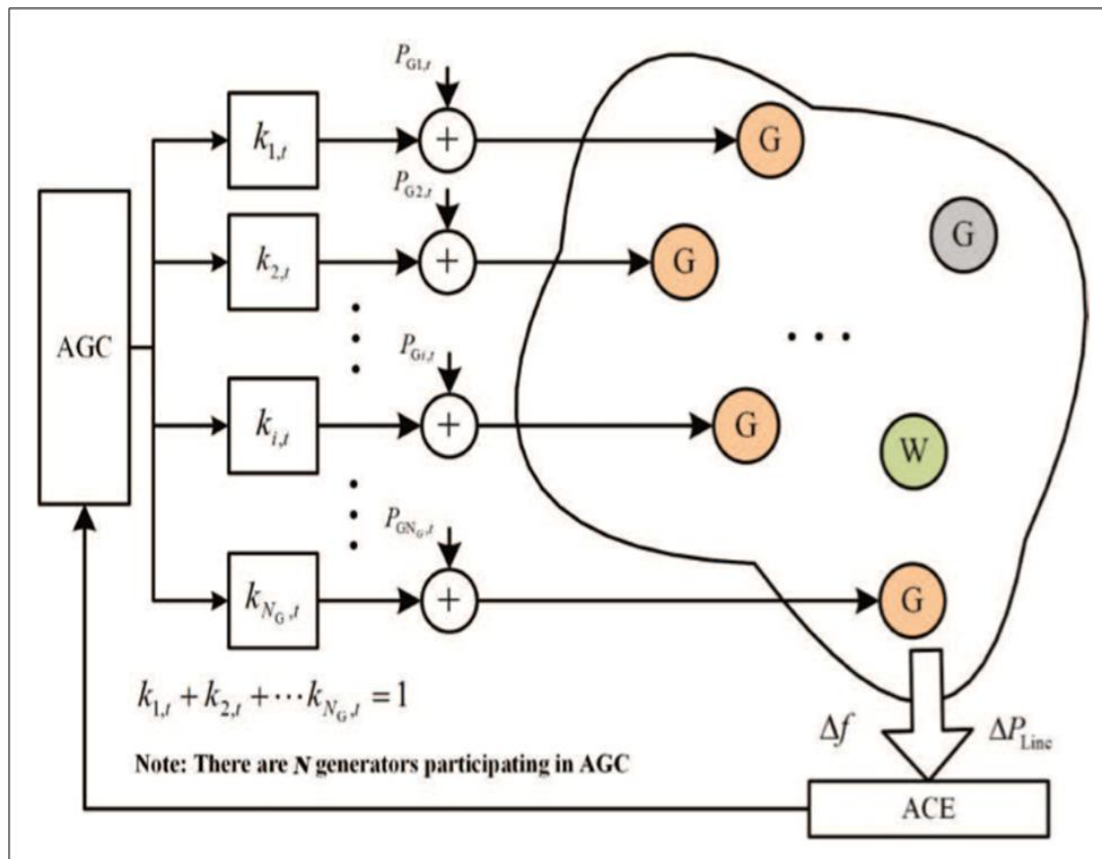
όπου $\overline{P_{L,f,t}}$ είναι η προβλεπόμενη ζήτηση φορτίου τη χρονική στιγμή t και $e_{L,t}$ αποτελεί το σφάλμα πρόβλεψης φορτίου που αντιπροσωπεύεται από μια Γκαουσιανή κατανομή $N(0, \sigma_{L,t})$.

Για κάθε ζυγό του συστήματος, το συνολικό φορτίο κατανέμεται σε αυτόν ως ακολούθως:

$$P_{L,s,t} = d_s \cdot P_{L,t}, \quad 1 \leq s \leq N_s$$

όπου $\overline{d_s}$ είναι ο συντελεστής φορτίου του s δρόμου και $\overline{N_s}$ είναι ο συνολικός αριθμός των δρόμων.

Το σφάλμα πρόβλεψης του φορτίου και το σφάλμα πρόβλεψης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα, αποτελώντας τις πηγές που προκαλούν αστάθεια στο σύστημα, και πρέπει να αντισταθμιστούν με τη βοήθεια του συστήματος αυτόματου ελέγχου (AGC), απεικονίζονται στην **Εικόνα 26**.



Εικόνα 26: Συνολική αρχιτεκτονική εξισορρόπησης ισχύος συστήματος που βασίζεται στο AGC

Σε ένα σύστημα ισχύος υπάρχουν πολλές γεννήτριες που συμμετέχουν στο σύστημα αυτόματου ελέγχου (AGC). Επομένως, για να υπάρξει εξισορρόπηση της ισχύος συμμετέχουν όλες αυτές οι γεννήτριες. Η συμμετοχή τους απεικονίζεται με την εξίσωση:

$$P'_{Gi,t} = P_{Gi,t} + k_{i,t} \left(P_{L,t} - P_{W,t} - \sum_{j=1}^{N_G} P_{Gj,t} \right)$$

όπου $\overline{P'_{Gi,t}}$ είναι η i th πραγματική έξοδος της γεννήτριας τη χρονική στιγμή t , $\overline{N_G}$ είναι ο συνολικός αριθμός των γεννητριών και $\overline{k_{i,t}}$ ονομάζεται συντελεστής κατανομής. Ο συντελεστής κατανομής υπόκειται στον παρακάτω περιορισμό:

$$\overline{k_{1,t}} + \overline{k_{2,t}} + \overline{k_{3,t}} + \dots + \overline{k_{N_G,t}} = 1, \quad 0 \leq \overline{k_{i,t}} \leq 1$$

Όταν το σύστημα βρίσκεται στην κατάσταση N-1, οι εφεδρείες έκτακτης ανάγκης στις υπόλοιπες γεννήτριες (εκείνες που δεν έχουν κάποια βλάβη) ενεργοποιούνται στον τριτογενή έλεγχο με την πραγματική έξοδο της ισχύος κάθε γεννήτριας να είναι:

$$\overline{P'_{Gi,t}} = \overline{P_{Gi,t}} + \frac{\overline{r_{i,t}}}{1 - \overline{r_{i,t}}} \cdot \overline{P_{Gl,t}} + \frac{\overline{k_{i,t}}}{1 - \overline{k_{i,t}}} \cdot \left(\overline{P_{L,t}} - \overline{P_{W,t}} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{\overline{N_G}} \overline{P_{Gj,t}} \right)$$

όπου $\overline{k_{i,t}}$ η εκτός λειτουργίας γεννήτρια με αποτέλεσμα η χαμένη ισχύς $\overline{P_{Gl,t}}$ να κατανέμεται μεταξύ των υπολοίπων γεννητριών με το διάνυσμα διανομής $\overline{r_t}$. Όπως και ο συντελεστής κατανομής $\overline{k_{i,t}}$ υπόκειται στον ανωτέρω περιορισμό, έτσι και το διάνυσμα διανομής $\overline{r_t}$ υπόκειται στον ακόλουθο περιορισμό:

$$\overline{r_{1,t}} + \overline{r_{2,t}} + \overline{r_{3,t}} + \dots + \overline{r_{N_G,t}} = 1, \quad 0 \leq \overline{r_{i,t}} \leq 1$$

Στην αγορά όλων των βοηθητικών υπηρεσιών υποθέτουμε ότι ο διαχειριστής μεταφοράς (TSO) αγοράζει τις εφεδρείες για το αυτόματο σύστημα ελέγχου (AGC) και τις εφεδρείες έκτακτης ανάγκης σύμφωνα με τα διανύσματα $\overline{r_{i,t}}$ και $\overline{k_{i,t}}$ για κάθε γεννήτρια.

Επομένως, σε κάθε χρονική στιγμή t επιβάλλονται οι ακόλουθοι περιορισμοί:

$$\begin{cases} \overline{U_{Gi,t}} = \overline{k_{i,t}} \overline{U_t} \\ \overline{D_{Gi,t}} = \overline{k_{i,t}} \overline{D_t} \\ \overline{R_{Gi,t}} = \overline{r_{i,t}} \overline{R_t} \end{cases}$$

όπου $\overline{U_t}$, $\overline{D_t}$ και $\overline{R_t}$ είναι οι συνολικές εφεδρείες του συστήματος αυτόματου ελέγχου (AGC), καθώς και οι έκτακτες εφεδρείες τη χρονική στιγμή t .

3.4.2 Συμφωνία συνεργασίας μεταξύ ερευνητικών προγραμμάτων CoordiNET και INTERFACE

Τα δύο projects (CoordiNET και INTERFACE), τα οποία αποτελούν τη βάση συνεργασίας μεταξύ των διαχειριστών μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας (TSO's και DSO's) με σκοπό την ομαλή λειτουργία ενός συστήματος ισχύος, ανταποκρίνονται στην ίδια ενεργειακή πρόκληση, έχοντας την ίδια χρονική αφετηρία.

Οι κύριοι βασικοί τους στόχοι είναι οι ακόλουθοι:

- Την επίδειξη-προώθηση οικονομικά αποδοτικών μοντέλων για υπηρεσίες δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, διαδικασία η οποία:
 - Μπορεί να κλιμακωθεί ώστε να περιλαμβάνει δίκτυα που λειτουργούν από διαφορετικούς διαχειριστές μεταφοράς και διανομής.
 - Επιτρέπει την εφαρμογή των δύο αυτών projects σε ολόκληρο το ενεργειακό σύστημα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ).
 - Θα αποτελέσει τη βάση-θεμέλιο για τη δημιουργία νέων δρόμων επικοινωνίας-συνεργασίας μεταξύ των διαχειριστών.
- Τη βοήθειά τους στο άνοιγμα νέων σημαντικών εσόδων για τους καταναλωτές για την παροχή υπηρεσιών δικτύου.
- Την αύξηση του μεριδίου συμμετοχής των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό σύστημα ισχύος.

Λόγω της μεγάλης σημασίας του θέματος στο οποίο ανταποκρίνονται, τα δύο projects έχουν δεσμευτεί από την αρχή του έτους 2019 για συνεχόμενη συνεργασία, με βασικό σκοπό να εξασφαλισθεί η ανταλλαγή γνώσεων και δεδομένων αμφότερα, καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης τους και όχι μόνο στο τέλος των αποτελεσμάτων (το αποτέλεσμα της συνεργασίας αποτελεί ένα κοινό έγγραφο κοινής θέσης). Σημειώνεται ότι το CoordiNet project ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 2022, ενώ το INTERFACE ολοκληρώθηκε στα τέλη του έτους 2022.

Τα κύρια σημεία του κοινού παραδοτέου εγγράφου προσδιορίστηκαν, από την αρχή της συνεργασίας τους να περιλαμβάνουν τα ακόλουθα κομβικά σημεία:

- Μια κοινή άποψη σχετικά με τις καθορισμένες και τυποποιημένες υπηρεσίες & προϊόντα δικτύου, με ιδιαίτερη έμφαση στον καθορισμό των βασικών παραμέτρων για τη ενσωμάτωση στο δίκτυο διαφόρων στοιχείων ευελιξίας.
- Σύγκλιση των μοντέλων για το συντονισμό της αγοράς που αναλύονται στην έκθεση ASM και επιπλέον προτεινόμενες εναλλακτικές που προκύπτουν από τα δύο συγκεκριμένα projects.
- Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των προαναφερόμενων υπηρεσιών & προϊόντων και μοντέλων συντονισμού, τονίζοντας τις συνθήκες αγοράς που ευνοούν την υιοθέτησή τους. Ιδιαίτερη προσοχή έπρεπε να δοθεί και από τα δύο projects στα ακόλουθα:
 - Επεκτασιμότητα και δυνατότητα αναπαραγωγής σε επίπεδο ΕΕ των ακόλουθων στοιχείων: μεθοδολογίες για φορείς εκμετάλλευσης δικτύου και τρίτα μέρη για ασφαλή σύνδεση, διαχείριση και συντονισμό παροχών ευελιξίας.
 - Συστάσεις για απαιτήσεις και προδιαγραφές των πλατφόρμων που αναπτύχθηκαν για τον μεταξύ τους σωστό συντονισμό.
 - Συστάσεις για κανονισμούς και πρότυπα της ΕΕ, σχετικά με τους ρόλους και τις διαδικασίες των διαφόρων παραγόντων της αγοράς.

Στα πλαίσια της μεταξύ τους συνεργασίας, συμφωνήθηκε, ότι για λόγους ενημέρωσης, το CoordiNET θα πρέπει να καταστήσει διαθέσιμη στο INTERRFACE όλη την ορολογία που ανέπτυξε.

3.4.3 CoordiNET

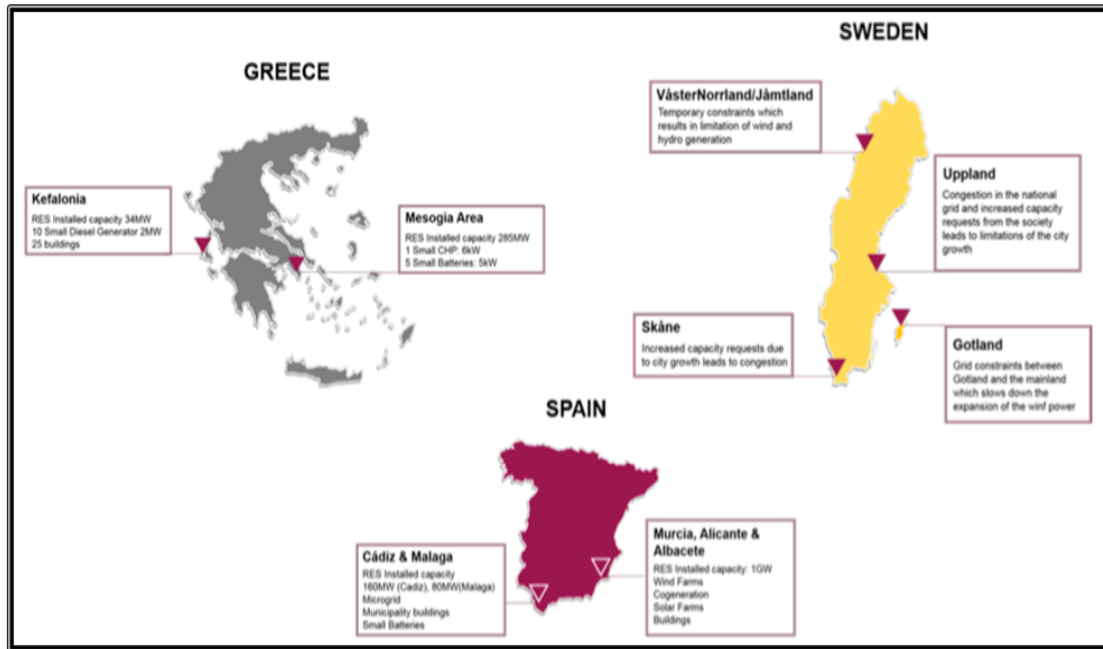
Ο κύριος σκοπός του CoordiNet είναι να δημιουργήσει καινούργιους δρόμους συνεργασίας μεταξύ των TSO's, DSO's και των καταναλωτών για να συμβάλει στην

ανάπτυξη ενός έξυπνου, ασφαλούς και πιο ανθεκτικού ενεργειακού συστήματος. Το project δίνει έμφαση στην ανάλυση και τον ορισμό της ευελιξίας στο δίκτυο για κάθε επίπεδο τάσης, που κυμαίνεται από την περιοχή του TSO έως τον τομέα ενός DSO με την ταυτόχρονη συμμετοχή των ενεργών καταναλωτών.

Στόχος είναι να αποδειχθεί πώς οι διαχειριστές ενέργειας, ενεργώντας συντονισμένα, μπορούν να παρέχουν ευνοϊκές συνθήκες συνεργασίας για όλους τους παράγοντες της αγοράς του ενεργειακού κλάδου και ταυτόχρονα να άρουν τα εμπόδια με σκοπό την ενεργό συμμετοχή των καταναλωτών και των μικρότερων παραγόντων της αγοράς.

Επίσης, το συγκεκριμένο project αξιολόγησε μια σειρά προϊόντων για υπηρεσίες δικτύου σε επίπεδο ΕΕ, με σκοπό να κατανοηθεί σε ποιο βαθμό θα είναι εφικτή η τυποποίηση προϊόντων στον τομέα της ενέργειας. Επιπρόσθετα, σκοπός του είναι να καθορίσει και να προσδιορίσει λεπτομερώς μηχανισμούς για την παροχή όλων των απαραίτητων υπηρεσιών δικτύου σε επίπεδο τόσο διανομής όσο και μεταφοράς.

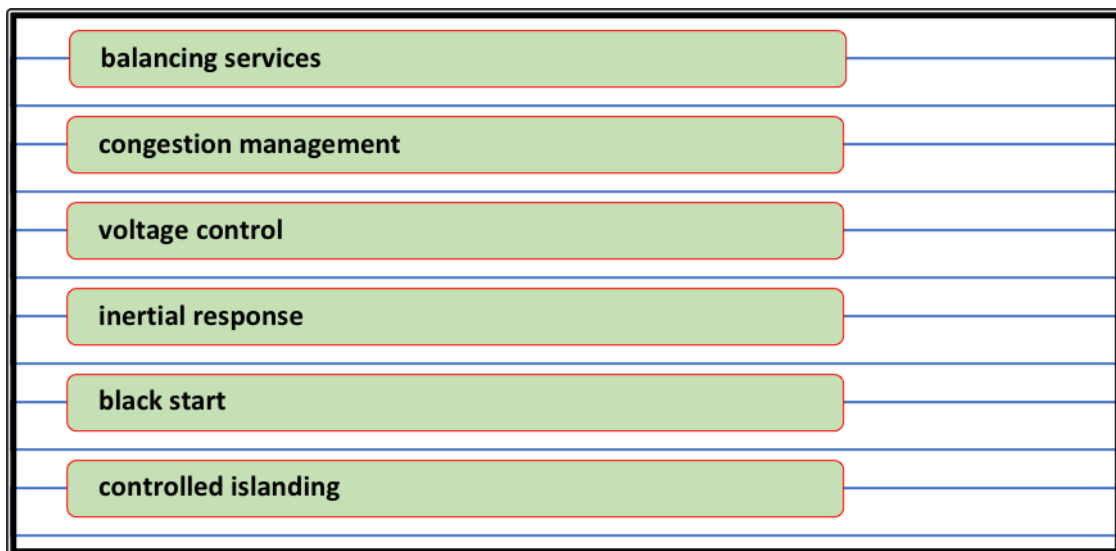
Οι προτεινόμενοι μηχανισμοί του project CoordiNet δοκιμάστηκαν σε τρία έργα μεγάλης κλίμακας σε 10 διαφορετικές τοποθεσίες στην Ισπανία, τη Σουηδία και την Ελλάδα, **Εικόνα 27**, [13]. Εφαρμόστηκαν διάφορα σχήματα συντονισμού μεταξύ των TSOs και DSOs και χρησιμοποιήθηκαν για αυτό το σκοπό προϊόντα για υπηρεσίες δικτύου, που είχαν προκαθοριστεί κατά την έναρξη του project. Τα αποτελέσματα (lessons learnt) που εξήχθησαν ήταν σημαντικότερα και χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό της ενεργειακής δομής μιας ενοποιημένης πανευρωπαϊκής πλατφόρμας συντονισμού μεταξύ των διαχειριστών (TSO's και DSO's).



Εικόνα 27: Τοποθεσίες εφαρμογής project COORDINET, [13]

3.4.4 Συμφωνία συνεργασίας μεταξύ ερευνητικών προγραμμάτων CoordiNET και INTERFACE

Στο project CoordiNet, οι υπηρεσίες δικτύου (Εικόνα 28), σύμφωνα με την έκθεση ASM (Active System Management) νοούνται ως «οι υπηρεσίες που παρέχονται σε διαχειριστές συστημάτων διανομής και διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς (TSO's και DSO's) για τη διατήρηση της λειτουργίας του δικτύου εντός αποδεκτών ορίων ασφάλειας εφοδιασμού και παρέχονται κυρίως από τρίτους».



Εικόνα 28: Υπηρεσίες δικτύου προγράμματος COORDINET

Οι σημαντικότερες από τις ανωτέρω υπηρεσίες είναι:

Balancing services

Για τη συγκεκριμένη υπηρεσία εξισορρόπησης, το project CoordiNet προσάρμοσε τον ορισμό βάσει της κατευθυντήριας οδηγίας της ΕΕ για την εξισορρόπηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Ως εξισορρόπηση καλούνται οι ενέργειες και διαδικασίες, σε όλα τα χρονοδιαγράμματα, μέσω των οποίων οι TSO's διασφαλίζουν, με συνεχή τρόπο, τη διατήρηση της συχνότητας του συστήματος εντός ενός προκαθορισμένου εύρους σταθερότητας με το ποσό των απαιτούμενων αποθεμάτων σε σχέση με την απαιτούμενη ποιότητα ηλεκτρικής ενέργειας.

Congestion management

Στο Coordinet, η διαχείριση συμφόρησης ορίζεται ως μια κατάσταση όπου ένας ή περισσότεροι περιορισμοί (θερμικά όρια, όρια τάσης, όρια σταθερότητας) περιορίζουν τη φυσική ροή ισχύος μέσω του δικτύου. Η υπηρεσία διαχείρισης συμφόρησης αναφέρεται στη διαδικασία μετριασμού των προβλημάτων συμφόρησης του δικτύου.

Voltage control

Ο έλεγχος τάσης χρησιμοποιείται για τη διευκόλυνση της μεταφοράς αέργου ισχύος με οικονομικό, αποδοτικό και ασφαλή τρόπο σε όλο το σύστημα ισχύος. Η τάση είναι μια ιδιότητα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που αλλάζει από τόπο σε τόπο και, ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να μην υπερβαίνει ένα ορισμένο επίπεδο τοπικά για τη διατήρηση της ασφάλειας του δικτύου. Οι διακυμάνσεις της τάσης, ωστόσο, είναι αναπόφευκτες καθώς παράγονται από αλλαγές στο δίκτυο. Αυτό σημαίνει επίσης ότι η παρουσία τους έχει «τοπικό» χαρακτήρα και ότι οι απαιτήσεις τάσης ποικίλλουν στο σύστημα ισχύος.

3.4.5 INTERRFACE

Ο σκοπός του project INTERRFACE είναι να αναπτύξει μια γραμμή επικοινωνίας μεταξύ των διαχειριστών ενέργειας (TSO's και DSO's) και εκείνων των φορέων που

συμμετέχουν στις αγορές του ενεργειακού κλάδου, με το ρόλο του να είναι παρόμοιος με εκείνον του project COORDINET.

Το INTERFACE σκοπό έχει να καταδείξει τη σημαντική αξία της κοινής χρήσης δεδομένων μεταξύ όλων των συμμετεχόντων στην ενεργειακή αλυσίδα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (πελάτες, δίκτυα, αγορά), από τοπικό, περιφερειακό έως και το ευρωπαϊκό επίπεδο. Επιτρέπει, επίσης στους διαχειριστές ενέργειας και τους πελάτες να συντονίσουν τις προσπάθειές τους με σκοπό τη μεγιστοποίηση του δυναμικού των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (DER) και των πόρων του δικτύου, για την προμήθεια ενεργειακών υπηρεσιών με οικονομικά αποδοτικό τρόπο και τη δημιουργία πλεονεκτημάτων για τους καταναλωτές. Ως εκ τούτου, διευκολύνει την εύκολη ενσωμάτωση των ΑΠΕ, επιδεικνύοντας έτσι την παγκόσμια ηγετική θέση του τομέα ηλεκτρικής ενέργειας, με τρόπο οικονομικά αποδοτικό και ασφαλή.

Τέλος, προσομοιάζει μια ολοκληρωμένη αγορά χονδρικής και λιανικής σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο, με τη συμμετοχή τόσο των απλών καταναλωτών όσο και των ενεργών καταναλωτών, ώστε να εκμεταλλευτούν τη χωρητικότητα των Κατανεμημένων Ενεργειακών Πόρων (DER) και να τη διοχετεύσουν στην κοινή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ.

- **Στόχοι προγράμματος *INTERFACE***

Το INTERFACE σχεδιάζει, αναπτύσσει και αξιοποιεί μια Πανευρωπαϊκή Αρχιτεκτονική Υπηρεσιών Δικτύου (IEGSA – Inter operable European Grid Architecture) που λειτουργεί ως ενδιάμεσος κρίκος μεταξύ του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (TSO και DSO) και των πελατών, επιτρέποντας την απρόσκοπτη και συντονισμένη λειτουργία όλων των ενδιαφερομένων για την προμήθεια κοινών υπηρεσιών. Σημειώνεται ότι τα υπερσύγχρονα ψηφιακά εργαλεία που βασίζονται σε διαχείριση μεγάλων δεδομένων (Big Data), θα παρέχουν νέες ευκαιρίες για συμμετοχή στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι βασικοί στόχοι του απορρέουν από τη γενική ιδέα ύπαρξης του προγράμματος και εστιάζονται στις παρακάτω κατευθύνσεις ως εξής:

- Να δημιουργηθεί μια κοινή αρχιτεκτονική που συνδέει τις πλατφόρμες της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, για τη δημιουργία ενός απρόσκοπτου πανευρωπαϊκού «ανταλλακτηρίου-ταμείου» ηλεκτρικής ενέργειας, που θα συνδέει τις αγορές χονδρικής και λιανικής και θα επιτρέπει σε όλους τους παράγοντες της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας να εμπορεύονται και να προμηθεύονται ενεργειακές υπηρεσίες με διαφανή, αμερόληπτο και ασφαλή τρόπο.
- Να ορίσει και να επιδείξει τυποποιημένα προϊόντα ηλεκτρικής ενέργειας.
- Να προωθήσει τη συνεργασία στην προμήθεια υπηρεσιών δικτύου από τους TSO's και DSO's και να δημιουργήσει ισχυρά κίνητρα σε συνδεδεμένους πελάτες, επιτρέποντάς τους να προμηθεύονται υπηρεσίες που είναι συμβατές σε όλη την ΕΕ.
- Προώθηση ψηφιακών τεχνολογιών αιχμής με τις οποίες είναι εξοικειωμένοι οι καταναλωτές σε άλλες καθημερινές συναλλαγές (π.χ. ηλεκτρονικές δημοπρασίες, ηλεκτρονικό εμπόριο, ηλεκτρονικές τραπεζικές συναλλαγές, κοινωνικά δίκτυα κ.λπ.), δημιουργώντας έτσι ασύγκριτα οικονομικά οφέλη.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι καθορισμένοι στόχοι, σχεδιάστηκαν **τρεις** περιοχές demo (και επτά επίδειξης) εστιάζοντας στα ακόλουθα ζητήματα:

Περιοχή demo 1: Θέματα διαχείρισης συμφόρησης και εξισορρόπησης, τοπικά με τη συμμετοχή: DSOs, μηχανισμών απόκρισης ζήτησης, αποθήκευση και ΑΠΕ μικρής κλίμακας, ενσωματώνοντας TSOs/DSOs και ενεργοποιώντας τοπικούς πόρους για την παροχή υπηρεσιών ευελιξίας με σκοπό την εξισορρόπηση του συστήματος. Το αναμενόμενο αποτέλεσμα αυτής της περιοχής είναι ο προσδιορισμός της αποτελεσματικότητας της χρήσης δυναμικής τιμολόγησης (dynamic pricing) για να υλοποιηθεί η ανάγκη για ένα σύνολο ψηφιακών εργαλείων που προσφέρουν τη βέλτιστη ζήτηση πηγών ευελιξίας με σκοπό την επίλυση συμφορήσεων και εξισορρόπησης και τη βελτιστοποίηση της χρήσης διασυνδέσεων μεταξύ όλων των παραγόντων του ενεργειακού συστήματος .

Περιοχή demo 2: Σε αυτήν την περιοχή αναπτύχθηκαν και δοκιμάστηκαν περιπτώσεις χρήσης για τη διαχείριση και την εξισορρόπηση της συμφόρησης, για

την αξιολόγηση του ρόλου των συναλλαγών στο μελλοντικό σχεδιασμό της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και την εκτίμηση της οικονομικής απόδοσης που μπορούν να αποφέρουν.

Περιοχή demo 3: Η αναγκαιότητα μιας ολοκληρωμένης αγοράς λιανικής και χονδρικής που θα βασίζεται στην υπάρχουσα πανευρωπαϊκή αγορά χονδρικής και θα εξετάζει τις DER/προμηθευτές/αποθήκευση/άλλα περιουσιακά στοιχεία για να τα συνδέσει με τη λιανική αγορά, με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας κόστους και τη δημιουργία οφελών στους καταναλωτές.

- ***Υπηρεσίες δικτύου και προϊόντα στο project INTERRFACE***

Τα προϊόντα και υπηρεσίες που προσδιόρισε το project INTERRFACE έχουν κατηγοριοποιηθεί σύμφωνα με την ακόλουθη ταξινόμηση:

Balancing services

Οι υπηρεσίες εξισορρόπησης αποτελούν μέρος της ευθύνης του διαχειριστή μεταφοράς. Όπως αναφέρεται στον «*KANONISMOS THΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ (ΕΕ) 2017/2195 της 23ης Νοεμβρίου 2017, για τη θέσπιση κατευθυντήριας γραμμής για την εξισορρόπηση ηλεκτρικής ενέργειας*», η εξισορρόπηση συνίσταται στη λήψη δράσεων και διαδικασιών, μέσω των οποίων οι TSO's διασφαλίζουν, με συνεχή τρόπο, τη διατήρηση της συχνότητας του συστήματος μέσα σε ένα προκαθορισμένο εύρος σταθερότητας

Congestion management

Η διαχείριση συμφόρησης ενεργοποιεί μια διορθωτική δράση για την τήρηση των επιχειρησιακών ορίων ασφαλείας. Στο πλαίσιο αυτό, η συμφόρηση ορίζεται ως «*οποιαδήποτε κατάσταση δικτύου, όπου οι προβλεπόμενες ή πραγματοποιηθείσες ροές ισχύος παραβιάζουν τα θερμικά όρια των στοιχείων του δικτύου και τη σταθερότητα τάσης ή τα όρια γωνιακής ευστάθειας του συστήματος ισχύος*».

Non-frequency ancillary services

Σύμφωνα με την οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, σχετικά με κοινούς κανόνες για την

εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, ως βοηθητική υπηρεσία μη συχνότητας (non-frequency ancillary service), νοείται η υπηρεσία που χρησιμοποιείται από τους TSO's και DSO's για έλεγχο σταθερής τάσης, αδράνεια για σταθερότητα τοπικού δικτύου, ρεύμα βραχυκυκλώματος.

Η ανάλυση αυτών των υπηρεσιών δείχνει τη σημασία του συντονισμού που πρέπει να υπάρχει μεταξύ των διαχειριστών μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, για τη διαχείριση των προϊόντων, ακόμη και όταν η υπηρεσία δεν χρησιμοποιείται και από τους δύο διαχειριστές συστημάτων ταυτόχρονα. Είναι επίσης σημαντικό να επισημανθεί ότι ορισμένα προϊόντα (όπως η άεργος ισχύς – reactive power) μπορούν να παρέχουν διαφορετικές υπηρεσίες ανάλογα με το επίπεδο τάσης: για παράδειγμα, ο TSO συνήθως ενεργοποιεί προϊόντα αέργου ισχύος (reactive power products) για βοηθητικές υπηρεσίες μη συχνότητας (non-frequency ancillary services), ενώ ο DSO χρησιμοποιεί άεργο ισχύ για τοπική διαχείριση συμφόρησης.

3.4.6 Ρόλοι και Ευθύνες των projects INTERFACE και CoordiNET

Η διαδικασία αναδιάρθρωσης και εκσυγχρονισμού προς μια ολοκληρωμένη αγορά ενέργειας σε ευρωπαϊκό επίπεδο ως μέρος της τρέχουσας ενεργειακής μετάβασης, απαιτεί ταυτόχρονη εναρμόνιση ρόλων, τομέων και πόρων σε όλες τις χώρες της ΕΕ. Ο καθορισμός σαφών και ενοποιημένων ευθυνών για καθέναν από τους εμπλεκόμενους φορείς αναδεικνύεται ως θεμελιώδης, για να επιτρέψει το διαφανή και αμερόληπτο συντονισμό μεταξύ των συμμετεχόντων στην αγορά και των εθνικών αρχών, καθώς και για να καταστεί δυνατή η εμφάνιση νέων επιχειρηματικών μοντέλων.

• Ρόλος και Ευθύνες του project INTERFACE

Το Εναρμονισμένο Μοντέλο Ρόλου Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Harmonized Electricity Market Role Model – HEMRM) που αναπτύχθηκε από το (European Network of Transmission System Operators for Electricity-ENTSO-E), προτείνεται για τη διευκόλυνση του διαλόγου μεταξύ των συμμετεχόντων στην αγορά από διάφορες χώρες της ΕΕ. Το project INTERFACE συμβάλλει σε αυτόν το στόχο μέσω

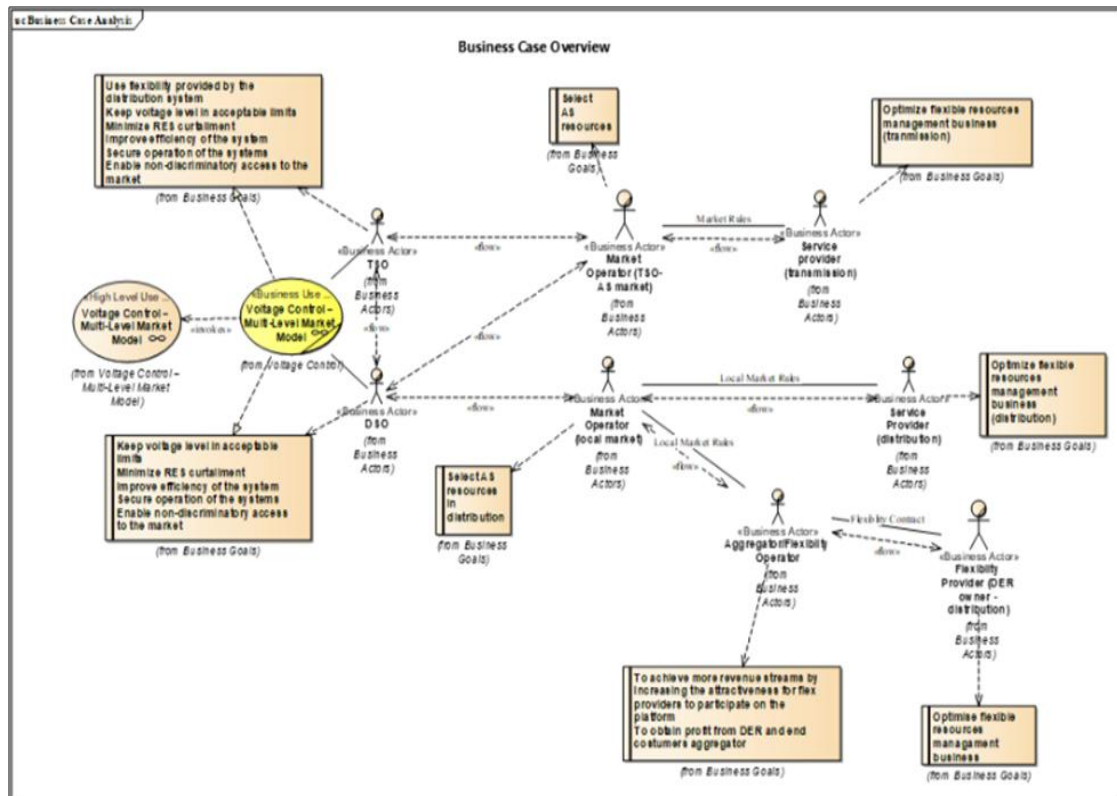
της πρότασης νέων ρόλων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, για να διασφαλιστεί ότι οι περιπτώσεις χρήσης καλύπτουν όλες τις ανάγκες που απαιτεί η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και να διασφαλιστεί ότι η προσπάθεια βελτίωσης της αγοράς ευελιξίας προτείνεται με επιστημονική βάση.

Υπάρχουν τρεις ρόλοι που το project INTERRFACE παρουσίασε:

- **Διαχειριστής Πλατφόρμας Συντονισμού TSO-DSO (TDCPO):** Υπεύθυνος για την εκτέλεση της πιστοποίησης δικτύου και προϊόντων των FSPs (Flexibility Service Providers) και για την παροχή στο Διαχειριστή του Συστήματος πρόσβαση στην αγορά ευελιξίας.
- **Single Interface to Market Operator:** Επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων για ανάγκες ευελιξίας μεταξύ του TDCPO και του Διαχειριστή Αγοράς (Market Operator-MO) και την ανταλλαγή δεδομένων για τα αποτελέσματα της αγοράς μεταξύ του MO και του Φορέα Ευελιξίας Μητρώου (flexibility register operator-FRO).
- **Flexibility Register Operator:** Μεταξύ άλλων αρμοδιοτήτων, επιτρέπει στους FSPs να παρέχουν τις υπηρεσίες ευελιξίας τους στην αγορά.

• ***Ρόλος και Ευθύνες του project CoordiNET***

Στο CoordiNet, εξετάστηκε το θέμα των Ρόλων και των ευθυνών, όπου προσδιορίστηκαν οι διάφοροι παράγοντες και οι ρόλοι που εμπλέκονται στα BUCs (Business Use Case) για καθέναν από τους χώρους επίδειξης (demo). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα μια οπτική αναπαράσταση αυτών των παραγόντων, **Εικόνα 29**.



Εικόνα 29: Έλεγχος τάσης - Μοντέλο αγοράς πολλαπλών επιπέδων [13]

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 30, στο project coordiNet ορίστηκαν επτά διαφορετικοί συνδυασμοί συντονισμού, καθένας από τους οποίους επιτρέπει έναν ή περισσότερους συνδυασμούς για την ανάθεση ρόλων και ευθυνών σε ενδιαφερόμενους φορείς της αγοράς.

	CM separated from other markets	CM combined with other markets over subset or by overlapping MOs	CM fully integrated in other markets
TSO	1A	1B	1C
DSO	1A	---	---
TSO & DSO Combined by subset or overlapping	2A	3A	3B
2TSO & DSO fully integrated	2B	3C	3D

Εικόνα 30: Επιλογές αγοράς για το project COORDINET

Οι δραστηριότητες που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε επίδειξη επέτρεψαν την απόκτηση περαιτέρω γνώσεων σχετικά με τις ευθύνες των παραγόντων της αγοράς

στο πλαίσιο των διαφορετικών σχημάτων συντονισμού που επιλέχθηκαν για κάθε BUC. Τα αποτελέσματα συγκεντρώθηκαν για τη διαμόρφωση των κύριων συστάσεων για δράση σε επίπεδο ΕΕ. Το συγκεκριμένο project (CoordiNet) εστίασε στην ασφαλή ανταλλαγή πληροφοριών και την αποφυγή διπλών δαπανών.

3.4.7 Κοινές συστάσεις από τα projects CoordiNET & INERRFACE

Με βάση τις εμπειρίες των δύο projects CoordiNet και INTERRFACE και λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα, εκπονήθηκαν κάποιες συστάσεις-οδηγίες αναφορικά με το θέμα των ρόλων και των αρμοδιοτήτων όλων των εμπλεκόμενων φορέων.

Δεδομένων των διαφορών μεταξύ των δύο projects και των διαφορετικών περιπτώσεων χρήσης αυτών, δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί ένα ενιαίο σύστημα συντονισμού για την ανάθεση ρόλων και ευθυνών στους ενδιαφερόμενους φορείς για την αποτελεσματική λειτουργία των αγορών ευελιξίας. Ωστόσο, η εναρμόνιση των ορισμών που υιοθετήθηκαν για τον προσδιορισμό των ευθυνών σε μια αγορά ευελιξίας, θα μπορούσε να παράσχει το κοινό έδαφος μεταξύ των δύο projects που απαιτείται για να επιτραπούν νέες επιχειρηματικές διαδικασίες για αποτελεσματικές προμήθειες ευελιξίας, υιοθέτηση αγορών ευελιξίας σε επίπεδο ΕΕ και αποτελεσματική λειτουργία αυτών.

Επίσης, θα πρέπει να διερευνηθεί η διευκόλυνση νέων ρόλων για την υποστήριξη της αγοράς και των υποκείμενων επικοινωνιών, λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη ενσωμάτωσης των ΑΠΕ στο σύστημα ισχύος. Αυτό περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της απόκτησης ευελιξίας σε διάφορα επίπεδα τάσης. Οι εμπειρίες από τις δραστηριότητες επίδειξης των δύο projects υπογράμμισαν τη σημασία της έγκαιρης και ασφαλούς ανταλλαγής πληροφοριών και της αποφυγής διπλών δαπανών. Ως εκ τούτου, κατά την απόδοση νέων ρόλων και ευθυνών σε μια νέα αγορά ευελιξίας, τα αναφερόμενα σημεία θα πρέπει να αξιολογούνται με τη διεξαγωγή ενδελεχών αναλύσεων όλων των επιπτώσεων.

Εν μέσω της αυξανόμενης πολυπλοκότητας των αγορών ευελιξίας, η κατανομή του κόστους μεταξύ των διαχειριστών πρέπει να αποτελεί βασικό στοιχείο για το

μελλοντικό σχεδιασμό. Η κατανομή του κόστους για τις παρεχόμενες υπηρεσίες μεταξύ των SOs (System Operators), είναι μια βασική πρόκληση συντονισμού που πρέπει να επιλυθεί.

Βιβλιογραφία - Κεφάλαιο 3^ο

- [1] J. C. McCall, B. Servatius, CIGRE US National Committee 2016 Grid of the Future Symposium, Enhanced Economic and Operational Advantages of Next Generation Dynamic Line Rating Systems, 11T-007 CIRGE NEXT DLP, October 2016
- [2] ENTSO-E, Dynamic Line Rating for Overhead Lines – V6, CE TSOs current practice, RGCE SPD WG, 30 March 2015
- [3] D. Kladar, Dynamic Line Rating in the World – Overview, Available Online: <http://www.linkedin.com/in/daliborkladar>, 19 February 2014
- [4] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, Dynamic Line Rating, Report to Congress, Washington, DC 20585, June 2019
- [5] K. Morozovska, P. Hilber, Study of the Monitoring Systems for Dynamic Line Rating, The 8th International Conference on Applied Energy – ICAE2016, Energy Procedia, 105 (2017) 2557 – 2562, Available Online at www.sciencedirect.com
- [6] IRENA, Dynamic Line Rating, Innovation Landscape Brief, ISBN 978-92-9260-182-9, 2020
- [7] Oluwajobi F.I., Ale O. S. and Ariyanniuola A., Effect of Sag on Transmission Line, Department of Electrical and Electronic Engineering Technology, Scholarlink Research Institute Journals, 2012 (ISSN: 2141-7016)
- [8] S. Alessandrini, Forecasting for dynamic line rating, ResearchGate, Available Online: <https://www.researchgate.net/publication/281349878>
- [9] Flexitranstore, Innovation Action, LCE-04-2017, D7.1 Data structure and information of the selected power lines and scenarios for DLR demonstrator, project Horizon 2020, No 774407
- [10] Flexitranstore, Innovation Action, LCE-04-2017, D7.2 Data structure and information of the selected power lines and scenarios for DLR demonstrator, project Horizon 2020, No 774407

[11] Flexitranstore, Innovation Action, LCE-04-2017, D7.3 Data structure and information of the selected power lines and scenarios for DLR demonstrator, project Horizon 2020, No 774407

[12] Y. Liu, J. R. Riba, Analysis of a smart Sensor Based Solution for Smart Grids Real – Time Dynamic Thermal Line Rating, MDPI, Published 6 November 2021

[13] S. Liverani, K. Glennung, Joint Paper coordiNET, INTERFACE, Available Online: CoordiNet project website: <https://coordinet-project.eu/>, INTERRFACE project website: <http://www.interrface.eu/>

Σελίδα κενή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΞΙΣΣΟΡΟΠΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ – ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΣΤΙΣ ΕΥΡΩΠΙΚΕΣ ΑΓΟΡΕΣ

4.1 Η μελέτη των Ευρωπαϊκών Οργανισμών ASM για τη διαχείριση συμφόρησης και εξισορρόπησης

Η συνεχής αύξηση της κατανεμημένης παραγωγής των ΑΠΕ, της αποθήκευσης ενέργειας και της ραγδαίας αύξησης των ενεργών πελατών με την άμεση συμμετοχή τους σε αυτό που ονομάζουμε κλάδο ηλεκτρικής ενέργειας, έχει γεννήσει ένα βασικό ερώτημα, το οποίο θα πρέπει να απαντηθεί με σκοπό να είναι ευκολότερη η ενεργειακή μετάβαση από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων στην ενσωμάτωση μεγαλύτερων ποσών ενέργειας, προερχόμενα από τις ΑΠΕ.

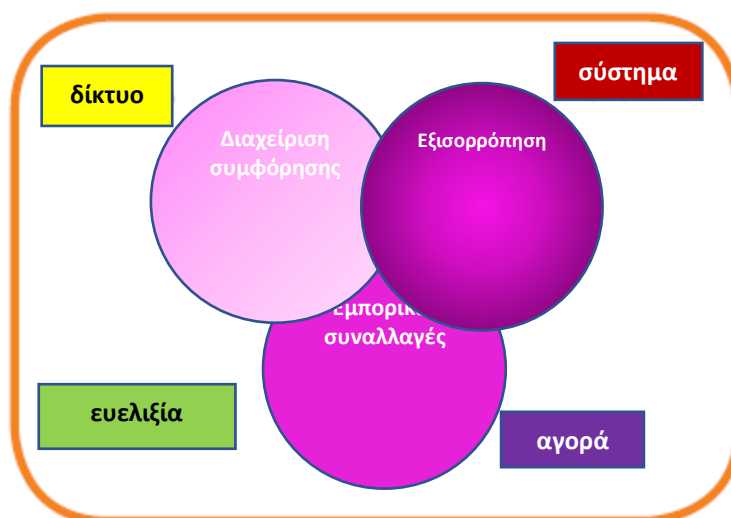
Το ερώτημα βασίζεται στο πως μπορούν να ενσωματωθούν οι υπηρεσίες ευελιξίας στη νέα αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό την εύκολη διαχείριση συμφόρησης για περαιτέρω εξισορρόπηση, διασφαλίζοντας με αυτό τον τρόπο την αποτελεσματική και αξιόπιστη λειτουργία του δικτύου. Η σωστή λειτουργία και ο συντονισμός μεταξύ των διαχειριστών μεταφοράς και διανομής αποτελεί κομβικό σημείο για την απάντηση του παραπάνω ερωτήματος.

Οι κώδικες και οι κατευθυντήριες γραμμές δικτύου, παρέχουν την πρώτη βάση για τη διαχείριση και την εξισορρόπηση της συμφόρησης. Επιπλέον, αναμένεται ότι το Clean Energy Package (Οδηγία για την ηλεκτρική ενέργεια, άρθρο 32.1), δίνει τη δυνατότητα στους ΔΣΔ (DSO) να προμηθεύονται βοηθητικές υπηρεσίες για τη διαχείριση της συμφόρησης του δικτύου, μεταξύ άλλων φορέων. Οι ΔΣΔ προμηθεύονται αυτές τις υπηρεσίες με διαφανή και βασισμένη στην αγορά προσέγγιση, όταν αυτό αντιπροσωπεύει τον πιο οικονομικό τρόπο για να γίνει αυτό.

4.1.1 Ενεργή Διαχείριση Συστήματος – ASM (Active System Management)

Η Ενεργή Διαχείριση Συστήματος (ASM), είναι ένα βασικό σύνολο στρατηγικών και εργαλείων που εκτελούνται και χρησιμοποιούνται από τους ΔΣΔ και τους ΔΣΜ για την οικονομικά αποδοτική και ασφαλή διαχείριση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Περιλαμβάνει τη χρήση και τη βελτίωση των έξυπνων και ψηφιακών δικτύων, των διαδικασιών επιχειρησιακού σχεδιασμού και πρόβλεψης και της ικανότητας ρύθμισης, σε διαφορετικά χρονικά πλαίσια και διαφορετικούς τομείς, της παραγωγής και της ζήτησης που περιλαμβάνουν όργανα ευελιξίας (εργαλειοθήκη) για την αντιμετώπιση προκλήσεων που επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος, διασφαλίζοντας έτσι τη ενσωμάτωση των ΑΠΕ.

Οι υπηρεσίες για διαφορετικούς σκοπούς που μπορούν να παρασχεθούν με ευελιξία, που αποτελεί μέρος του ASM, απεικονίζονται στην **Εικόνα 31**. Επιπλέον, αναμένεται ότι το Πακέτο Καθαρής Ενέργειας (Οδηγία για την ηλεκτρική ενέργεια, άρθρο 32.1), δίνει τη δυνατότητα στους ΔΣΔ να προμηθεύονται non frequency ancillary services για τη διαχείριση, μεταξύ άλλων, της συμφόρησης στο δίκτυό τους. Επισημαίνεται ότι οι ΔΣΔ προμηθεύονται αυτές τις υπηρεσίες με διαφανή και βασισμένη στην αγορά προσέγγιση, όταν αυτό αντιπροσωπεύει τον πιο οικονομικό τρόπο για να γίνει αυτό.



Εικόνα 31: Υπηρεσίες ευελιξίας

Η μεγάλη συμμετοχή των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο επιφέρει ή πιθανότατα μπορεί να επιφέρει, μεγάλη συμφόρηση του δικτύου. Επίσης, η αυξανόμενη ηλεκτροδότηση και το μερίδιο των DER's συνεπάγεται την ανάγκη επέκτασης και ενίσχυσης των δικτύων διανομής και μεταφοράς για την αποφυγή των ανωτέρω συμφορήσεων. Οι κατανεμημένοι ενεργειακοί πόροι (Distributed Energy Resources) μπορούν επίσης να διατεθούν στους ΔΣΜ και ΔΣΜ, χρησιμοποιώντας νέες «τεχνικές Ενεργής Διαχείρισης Συστήματος», ενισχύοντας την ανάγκη στενού συντονισμού των ΔΣΔ και των ΔΣΜ για τις ανάγκες του δικτύου και ασφάλειας του συστήματος.

- **Εργαλειοθήκη για εφαρμογή Ενεργής Διαχείρισης Συστήματος**

Για την υλοποίηση αποτελεσματικών και συντονισμένων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, οι ΔΣΔ και οι ΔΣΜ χρειάζονται μια εργαλειοθήκη που να περιλαμβάνει διαφορετικούς τύπους λύσεων για την ανάληψη διαχείρισης και εξισορρόπησης της συμφόρησης του δικτύου. Αυτά περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- ✓ Τεχνικές λύσεις που χρησιμοποιούν στοιχεία δικτύου: αναδιαμόρφωση της τοπολογίας του δικτύου για την αλλαγή των ροών ισχύος με σκοπό να επιτευχθεί μια πιο επιθυμητή κατάσταση συστήματος.
- ✓ Λύσεις τιμολογίων: η χρήση τιμολογίων δικτύου για την ενεργοποίηση ευελιξίας που είναι σε θέση να αντιδρά στις τιμές. Αυτά τα τιμολόγια μπορούν να παίρνουν πολλές μορφές και μπορεί να περιλαμβάνουν παραμέτρους, όπως ο χρόνος, η χωρητικότητα και η τοποθεσία.
- ✓ Λύσεις βασισμένες στην αγορά: ενεργοποίηση υπηρεσιών ευελιξίας βάσει της αγοράς που είναι σε θέση να αλλάξουν τις ροές ισχύος προς όλες τις κατευθύνσεις.
- ✓ Λύσεις συμφωνιών σύνδεσης: συμφωνίες σύνδεσης με ορισμένους χρήστες του δικτύου, έτσι ώστε να παρέχουν μια συγκεκριμένη υπηρεσία που απαιτείται.

Επισημαίνεται ότι η ενίσχυση είναι η παραδοσιακή μέθοδος για την επίλυση ζητημάτων που σχετίζονται με τη χωρητικότητα του δικτύου, με την κατασκευή ενός μεγαλύτερου και ισχυρότερου δικτύου. Η ενίσχυση πρέπει πάντα να συγκρίνεται με

την απόκτηση ευελιξίας από τους πόρους του συστήματος και θα πρέπει να προσδιορίζεται η βέλτιστη λύση. Τυπικά, η μη συχνή συμφόρηση θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί πιο αποτελεσματικά με την ενεργοποίηση της ευελιξίας, ενώ τα παρατεταμένα ή υψηλά επίπεδα συμφόρησης θα μπορούσαν να απαιτήσουν ενίσχυση του συστήματος.

- **Διαδικασία Διαχείρισης Συμφόρησης και Ανταλλαγή Πληροφοριών**

Η διαδικασία διαχείρισης συμφόρησης μπορεί να περιγραφεί σε διαφορετικές φάσεις, που περιλαμβάνουν διαφορετικά μέρη, ενέργειες και ανταλλαγή πληροφοριών. Ο στόχος δεν είναι να οριστεί μια πλήρως εναρμονισμένη και τυποποιημένη ευρωπαϊκή διαδικασία, αλλά να καταδειχθεί με γενικό τρόπο πώς θα μπορούσε να εφαρμοστεί η διαχείριση της συμφόρησης. Αυτό θα χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τον προσδιορισμό των βασικών τομέων σχετικά με την ανάπτυξη των υπηρεσιών ευελιξίας και την αξία τους. Η διαχείριση συμφόρησης μπορεί να αναλυθεί σε διαφορετικές φάσεις που αναφέρονται ακολούθως, τηρώντας τις επιχειρησιακές διαδικασίες τόσο των ΔΣΔ όσο και των ΔΣΜ.

- Προπαρασκευαστική φάση: Ορισμοί προϊόντων και αρχική αξιολόγηση
- Φάση πρόβλεψης: Σχεδιασμός αξιοποίησης του δικτύου και εντοπισμός πιθανών συμφορήσεων.
- Φάση αγοράς: Συλλογή και αξιολόγηση προσφορών, σε μακροπρόθεσμες και βραχυπρόθεσμες συμβάσεις και βραχυπρόθεσμα προϊόντα / υπηρεσίες (ενεργοποίηση ενεργειακών προϊόντων), μέχρι πραγματικό χρόνο.
- Φάση παρακολούθησης & ενεργοποίησης: Ενεργοποίηση προσφορών για διαχείριση συμφόρησης και διαχειριστή συστήματος σε πραγματικό χρόνο.
- Φάση μέτρησης: επικαιροποίηση για «παράδοση» της υπηρεσίας.

Για την υποστήριξη της ανταλλαγής πληροφοριών, θα μπορούσε να αναπτυχθεί ένα μητρώο πόρων ευελιξίας, για τη συλλογή πληροφοριών των σημείων σύνδεσης που μπορούν να παρέχουν υπηρεσίες ευελιξίας στους διαχειριστές συστημάτων, για να διασφαλιστεί μια καλύτερη οπτική για τους διαχειριστές συστημάτων, σχετικά με τις δυνατότητες ευελιξίας που συνδέονται με διαφορετικά επίπεδα τάσης. Το

μητρώο πόρων ευελιξίας θα έχει επίσης τη δυνατότητα να υποστηρίζει συγκεντρωτικές προσφορές.

- **Διαδικασία Διαχείρισης Συμφόρησης**

Όπως προαναφέρθηκε, οι ΔΣΜ και οι ΔΣΔ χρειάζεται να έχουν μια εργαλειοθήκη για τη διαχείριση της συμφόρησης και ο τρόπος με τον οποίο θα χρησιμοποιηθεί (η εργαλειοθήκη) θα εξαρτηθεί από το ρυθμιστικό πλαίσιο στη χώρα, την ποσότητα των διανεμημένων πόρων ευελιξίας, την τοπική κατάσταση και το σχετικό χρονοδιάγραμμα.

Τελικά, η λύση που θα επιλέξει ο διαχειριστής του συστήματος, θα πρέπει να επιλέγεται με βάση τη βέλτιστη λύση για ολόκληρο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και τους πελάτες του, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως το κόστος, η ασφάλεια και η βιωσιμότητα.

Κάθε λύση έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και συνεπώς η νομοθεσία θα πρέπει να είναι ανοιχτή σε μια σειρά μοντέλων που επιτρέπουν στους διαχειριστές συστημάτων να έχουν πρόσβαση και να χρησιμοποιούν ευελιξία.

Στο σημείο αυτό απαιτείται να δοθεί ένας ορισμός, το τι ορίζεται ως συμφόρηση. Σύμφωνα με τον Κανονισμό (ΕΕ) 714/2009 της Επιτροπής για προϋποθέσεις πρόσβασης στο δίκτυο για διασυνοριακές ανταλλαγές στην ηλεκτρική ενέργεια, ο όρος συμφόρηση ορίζεται ως εξής:

«Συμφόρηση» ορίζεται ως η κατάσταση κατά την οποία η διασύνδεση που συνδέει τα εθνικά δίκτυα μεταφοράς δεν μπορεί να εξυπηρετήσει όλες τις φυσικές ροές που προκύπτουν από το διεθνές εμπόριο και ζητούνται από τους συμμετέχοντες στην αγορά, λόγω έλλειψης δυναμικού των γραμμών διασύνδεσης ή/και των τοπικών εθνικών συστημάτων μεταφοράς.

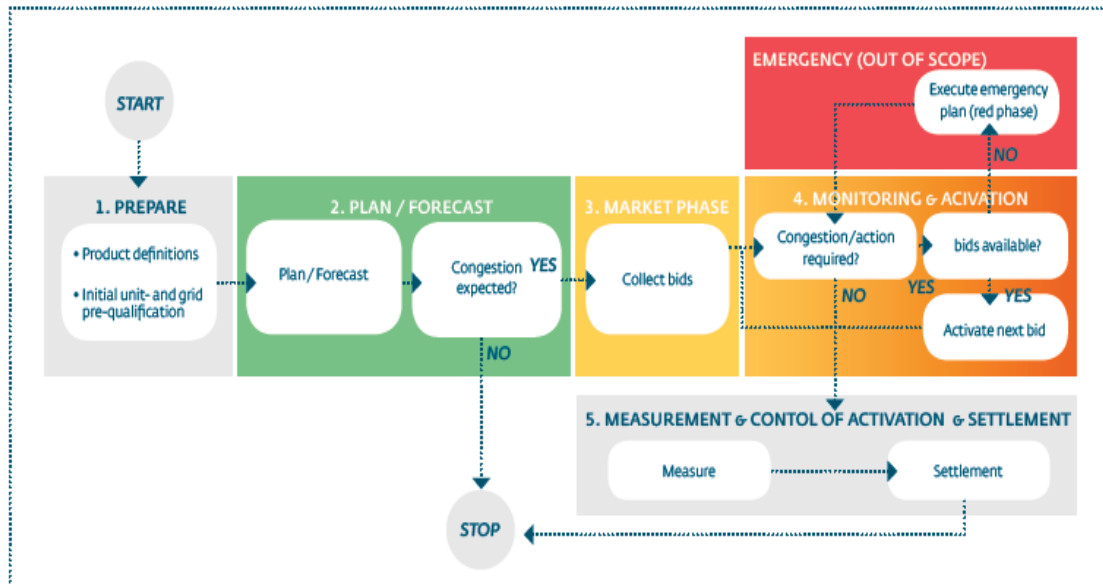
Η ίδια ιδέα γενικεύτηκε στη συνέχεια, λόγω έλλειψη χωρητικότητας σε οποιοδήποτε στοιχείο του δικτύου, στην Επιτροπή Κανονισμός (ΕΕ) 2015/1222 για τη θέσπιση κατευθυντήριας γραμμής σχετικά με Κατανομή δυναμικότητας και διαχείριση συμφόρησης:

Ως «Συμφόρηση της αγοράς» νοείται μια κατάσταση κατά την οποία το οικονομικό πλεόνασμα για σύζευξη μίας ημέρας, επόμενης ημέρας ή ενδοημερήσιας σύζευξης έχει περιοριστεί λόγω διαζωνικής δυναμικότητας (εισαγωγές, εξαγωγές ροής φορτίου) ή περιορισμού κατανομής.

Ως «φυσική συμφόρηση» νοείται κάθε κατάσταση δικτύου, όταν οι προβλεπόμενες ή εκτελεσθείσες ροές ισχύος παραβιάζουν τα θερμικά όρια των στοιχείων του δικτύου.

Η διαδικασία διαχείρισης της συμφόρησης αναλύεται σε διαφορετικές φάσεις, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τον ΔΣΜ όσο και τον ΔΣΔ. Ο βασικός στόχος δεν είναι ο καθορισμός μιας πλήρως εναρμονισμένης και τυποποιημένης ευρωπαϊκής διαδικασίας, αλλά η παρουσίαση με γενικό τρόπο του τρόπου με τον οποίο θα μπορούσε να εφαρμοστεί η διαχείριση της συμφόρησης. Αυτό θα βοηθήσει στον προσδιορισμό των βασικών τομέων σχετικά με την ανάπτυξη των υπηρεσιών ευελιξίας και της αξίας τους.

Το παρακάτω σχήμα **(Εικόνα32)**, [14], απεικονίζει τις κύριες φάσεις της διαδικασίας διαχείρισης της συμφόρησης σε σχέση με τις λύσεις που βασίζονται στην αγορά. Τα διαγράμματα ροής για τις διάφορες φάσεις (απεικονίζονται παρακάτω σε χρωματιστά πλαίσια) περιλαμβάνονται επίσης σε αυτό το τμήμα. Επισημαίνεται ότι τα στοιχεία αυτά είναι μόνο ενδεικτικά και δεν θα θεωρούνται σύσταση ή περιγραφή της τρέχουσας διαδικασίας διαχείρισης της συμφόρησης σε όλη την Ευρώπη.

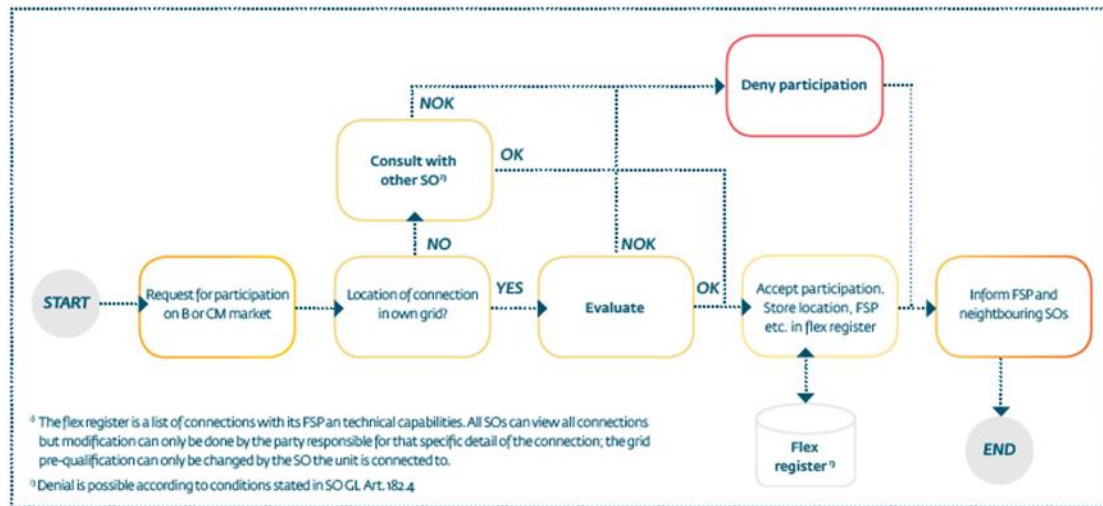


Εικόνα 32: Συνολική διαδικασία διαχείρισης συμφόρησης, [14]

• Προπαρασκευαστική φάση

Η προπαρασκευαστική φάση περιλαμβάνει τις ανάγκες ευελιξίας. Αυτό απεικονίζεται στο διάγραμμα ροής παρακάτω (Εικόνα 33). Η προεπιλογή γίνεται σε δύο μέρη: την προεπιλογή προϊόντος, για να καθοριστεί εάν η μονάδα μπορεί πραγματικά να λειτουργήσει ανάλογα με τις απαιτήσεις που ορίζονται από τον διαχειριστή συστήματος (SO) και το δίκτυο, για να καθοριστεί εάν το δίκτυο μπορεί να μεταφέρει την παραδοθείσα ενέργεια ή εάν απαιτούνται περιορισμοί στο προϊόν.

Μόλις οι υπηρεσίες και οι πάροχοι πιστοποιηθούν, οι διαχειριστές συστημάτων μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις προσφορές αυτών των μερών για την επίλυση των συμφορήσεων. Τόσο συγκεντρωτικά όσο και μη οι μονάδες θα πρέπει να μπορούν να συμμετέχουν στην παράδοση του προϊόντος, το οποίο θα επιτρέψει ένα ευρύτερο φάσμα παραγόντων της αγοράς να συμμετάσχουν.



Εικόνα 33: Προπαρασκευαστική φάση, [14]

● Φάση πρόβλεψης

Στη φάση της πρόβλεψης, ο σχεδιασμός ενίσχυσης του δικτύου και η πρόβλεψη χρήσης του δικτύου λαμβάνονται σοβαρά υπόψη. Εάν η χωρητικότητα του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας είναι ανεπαρκής για την αντιμετώπιση της αναμενόμενης αύξησης της κατανάλωσης ή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή εάν νέα πρότυπα χρήσης αρχίσουν να επηρεάζουν την κανονική λειτουργία του δικτύου, σχεδιάζεται ενίσχυση του δικτύου. Ως συμπλήρωμα της απαραίτητης ενίσχυσης του δικτύου, υπηρεσίες ευελιξίας μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση της συμφόρησης.

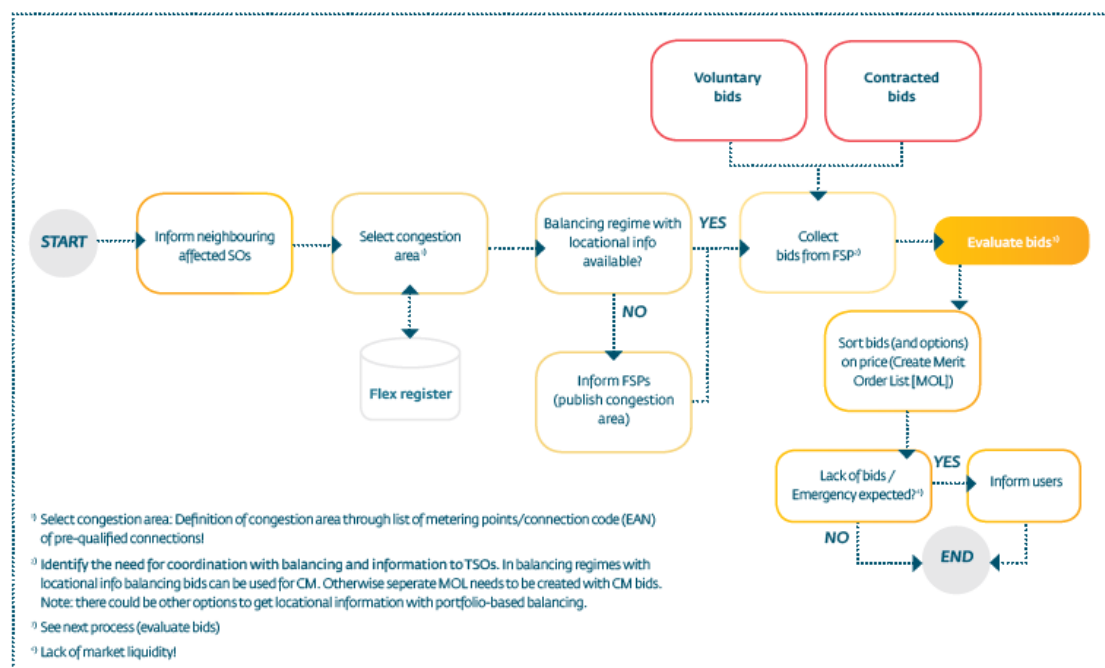
Η πρόβλεψη λαμβάνει χώρα σε διαφορετικά χρονικά πλαίσια. Η ακρίβεια της προβλεπόμενης ροής ηλεκτρικής ενέργειας σε μια συγκεκριμένη περιοχή, συνήθως βελτιώνεται με το πέρασμα του χρόνου. Μερικές προβλέψεις αποτελούνται από ανάλυση μακροπρόθεσμου προγραμματισμού χρόνια πριν και μερικές άλλες προβλέψεις ενημερώνονται και εκτελούνται μέχρι πραγματικό χρόνο (για παράδειγμα χρησιμοποιώντας δεδομένα καιρού σε πραγματικό χρόνο και τηλεχειριστήριο παρακολούθησης - ελέγχου του δικτύου με συσκευές remote).

Επομένως, διαπιστώνεται ότι είναι απαραίτητο οι διαχειριστές συστημάτων να έχουν πρόσβαση σε ολοκληρωμένα χρονοδιαγράμματα με σχετικές πληροφορίες τοποθεσίας, να εκτελούν σωστή πρόβλεψη για τη διαχείριση συμφόρησης με σκοπό να λαμβάνουν αποτελεσματικές και ασφαλείς αποφάσεις.

● Φάση αγοράς

Η συγκεκριμένη φάση ξεκινά όταν αναμένεται συμφόρηση. Η εστίαση εδώ είναι στη συλλογή και αξιολόγηση των προσφορών από την αγορά, συμπεριλαμβανομένων των μακροπρόθεσμων και βραχυπρόθεσμα προϊόντων δυναμικότητας.

Η διαδικασία φαίνεται στο διάγραμμα ροής παρακάτω (**Εικόνα 34**). Επισημαίνεται ότι είναι πιθανό ο διαχειριστής του συστήματος να έχει υπογράψει συμβάσεις με παρόχους υπηρεσιών ευελιξίας (FSP – Flexibility Service Providers), όπου οι FSP υποχρεούνται να προσκομίσουν μια ορισμένη προσφορά, εφόσον αυτό ζητηθεί, από τους διαχειριστές του συστήματος.



Εικόνα 34: Φάση αγοράς, [14]

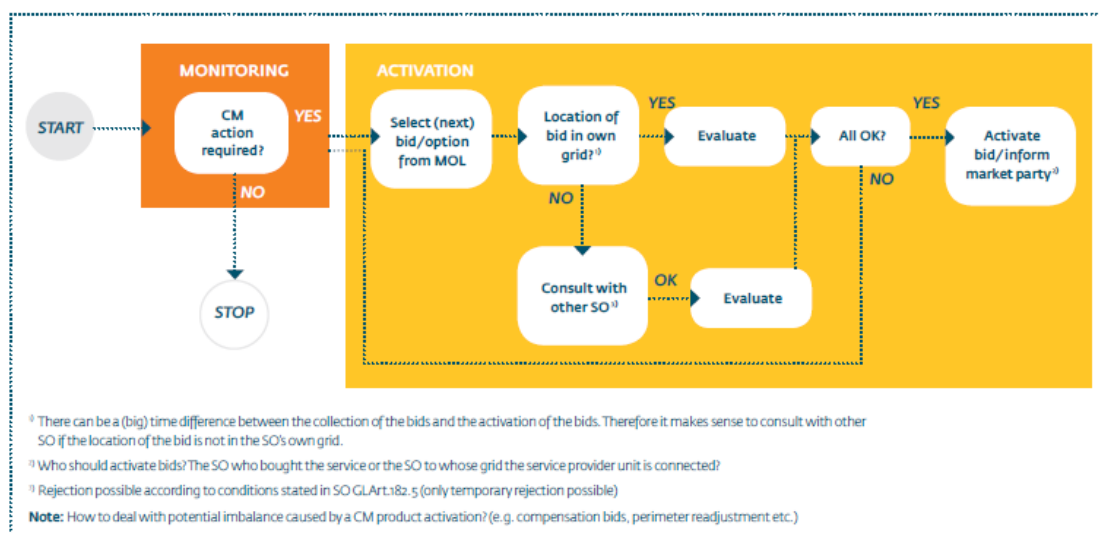
Το χρονοδιάγραμμα για τα προαναφερθέντα προϊόντα μπορεί να είναι διαφορετικό για τους ΔΣΜ και τους ΔΣΔ. Σε πολλές περιπτώσεις, οι ΔΣΜ αρχίζουν να υπολογίζουν τη συμφόρηση, όταν οι υποχρεώσεις των αγορών γνωστοποιηθούν. Τυπικά, οι ΔΣΜ θα ήθελαν να λύσουν την προβλεπόμενη συμφόρηση στα δίκτυά τους αρκετό χρονικό διάστημα πριν αυτό συμβεί, καθώς συχνά προκαλείται συμφόρηση δικτύου λόγω της μεγάλης διείσδυσης των ΑΠΕ με την παραγωγή μεγάλων ποσών αιολικής και ηλιακής ενέργειας.

Σε τέτοιες περιπτώσεις, η διαθεσιμότητα προβλέψιμων μετεωρολογικών προβλέψεων θα μπορούσε να είναι η αρχή της πρόβλεψης της συμφόρησης μέσω υπηρεσιών διαχείρισης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι ΔΣΔ μπορεί επίσης να χρειαστεί να επιλύσουν τη συμφόρηση με μεγαλύτερη χρονική πρόβλεψη. Το αποτέλεσμα της φάσης της αγοράς είναι η απόκτηση προϊόντων ευελιξίας.

Η διαδικασία για την αξιολόγηση των προσφορών φαίνεται στο ανωτέρω διάγραμμα ροής της **Εικόνας 34**. Κατά την αξιολόγηση και πριν από την ενεργοποίηση προσφορών που συνδέονται με άλλα δίκτυα, η κατάσταση του συστήματος και οι ανάγκες των γειτονικών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να ληφθούν υπόψη. Και βέβαια, διάφορες πληροφορίες από το μητρώο πόρων ευελιξίας θα μπορούσαν να είναι χρήσιμες σε αυτό το βήμα. Τέλος, μόλις μια προσφορά είτε γίνει αποδεκτή είτε απορριφθεί, αυτόματα ενημερώνεται το FSP.

● Φάση Παρακολούθησης και Ενεργοποίησης

Μετά τη συλλογή και αξιολόγηση των προσφορών στη φάση της αγοράς, οι προσφορές ευελιξίας ενεργοποιούνται και ξεκινάει ο έλεγχος – παρακολούθηση της συμφόρησης του δικτύου (**Εικόνα 35**).



Εικόνα 35: Απεικόνιση φάσης παρακολούθησης και ενεργοποίησης, [14]

Οι διαχειριστές συστημάτων θα πρέπει να αποφεύγουν την ενεργοποίηση προσφορών ευελιξίας σε περιοχή που παρουσιάζει ήδη συμφόρηση. Η αξιολόγηση των προσφορών συνεχίζεται μέχρι την ενεργοποίηση, για την προσαρμογή σε

απροσδόκητα γεγονότα που ενδέχεται να προκύψουν ή ενδεχομένως για την εκτέλεση πιο βέλτιστων λύσεων του συστήματος. Συνήθως αυτό γίνεται με βάση μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο.

● **Μέτρηση και Έλεγχος Φάσης Ενεργοποίησης**

Οι μετρήσεις της ενεργοποιημένης ευελιξίας θα πρέπει να δείχνουν εάν η υπηρεσία παρέχεται πραγματικά. Όταν μια υπηρεσία παρέχεται από ένα FSP, πρέπει να καθορίζεται το μέγεθος της ευελιξίας και η ευελιξία πρέπει να «πληρωθεί» από τον διαχειριστή του συστήματος.

Εάν η υπηρεσία δεν παραδοθεί ή δεν τηρεί τις συμφωνημένες παραμέτρους, είναι δυνατή η επιβολή ποινής. Ο βαθμός ευελιξίας που παρέχεται καθορίζεται από την αξιολόγηση της ένδειξη του μετρητή (τις μετρήσεις) στο σημείο σύνδεσης και συγκρίνεται με μια γραμμή βάσης ή κάποιο χρονοδιάγραμμα.

Τέλος, είναι πιθανό τόσο ένα FSP όσο και ένας προμηθευτής να είναι ενεργοί ταυτόχρονα σε μία σύνδεση. Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να καθοριστούν σαφείς κανόνες, σε εθνικό επίπεδο, για τον καθορισμό της ποσότητας ενέργειας που πρέπει να διατεθεί στον FSP και της ποσότητας ενέργειας που πρέπει να διατεθεί στον προμηθευτή.

● **Μητρώο Πόρων Ευελιξίας**

Το μητρώο πόρων ευελιξίας περιέχει πληροφορίες σχετικά με τη θέση των σημείων σύνδεσης που μπορούν να προμηθεύουν υπηρεσίες ευελιξίας στους διαχειριστές συστημάτων. Είναι επίσης δυνατόν να χρησιμοποιηθεί το συγκεκριμένο μητρώο στο μέλλον, για την καταχώρηση συνδέσεων και για τη διευθέτηση των υπηρεσιών ευελιξίας μεταξύ των μερών της αγοράς. Πιο συγκεκριμένα, ο κύριος στόχος του μητρώου πόρων ευελιξίας είναι η συγκέντρωση και ο διαμοιρασμός πληροφοριών αναφορικά με τις δυνητικές πηγές ευελιξίας που μπορεί να προσφερθούν.

Με αυτό τον τρόπο όλες οι εγκεκριμένες συνδέσεις καταχωρούνται στο συγκεκριμένο μητρώο πόρων ευελιξίας από το διαχειριστή του συστήματος σύνδεσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η συγκεκριμένη εγγεγραμμένη σύνδεση να

είναι ορατή σε όλους τους σχετικούς διαχειριστές συστημάτων. Με τον τρόπο αυτό, εάν ένας ΔΣΔ ή ένας ΔΣΜ έχει συμφόρηση, του δίνεται η δυνατότητα να έχει πρόσβαση σε άλλους δυνητικούς πόρους ευελιξίας που μπορούν έτσι να αναχαιτίσουν την συμφόρηση του δικτύου.

Η σημασία του συγκεκριμένου μητρώου είναι σημαντική διότι, το μητρώο πόρων ευελιξίας θα υποστηρίζει τη διαδικασία ASM κάθε κράτους μέλους. Σε αυτό το μητρώο, όλα τα δεδομένα που χρειάζονται οι διαχειριστές συστημάτων για να χρησιμοποιήσουν την ευελιξία από τους καταναλωτές - πελάτες θα είναι διαθέσιμο.

Βέβαια, απαραίτητη προϋπόθεση είναι ότι θα πρέπει να αποφασιστεί η ευθύνη για την καταχώριση και τη διατήρηση των δεδομένων του μητρώου σε εθνικό επίπεδο.

Ωστόσο, ο διαχειριστής του συστήματος στο δίκτυο του οποίου είναι συνδεδεμένη η μονάδα παραμένει υπεύθυνος για τη σωστή αναπαράσταση των δεδομένων σύνδεσης.

Η λειτουργία ενός μητρώου πόρων ευελιξίας είναι σημαντική διότι θα επιτρέψει στους χειριστές συστημάτων να έχουν γνώση για κάθε χρονική στιγμή ποιοι πόροι ευελιξίας είναι συνδεδεμένοι στο δικό τους δίκτυο, έτσι ώστε να είναι σε θέση να γνωρίζουν ποιους πόρους έχουν ενδεχομένως διαθέσιμους όταν επέρχεται κάποια συμφόρηση στο δίκτυο.

Η χρήση του μητρώου πόρων ευελιξίας είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί σε κάποιες από τις ανωτέρω φάσεις που αναλύθηκαν. Ειδικότερα, το μητρώο πόρων ευελιξίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη φάση της αγοράς (market phase) για την αξιολόγηση των προσφορών από FSPs. Προκειμένου οι διαχειριστές συστημάτων να επιλύσουν την τοπική συμφόρηση, πρέπει να παρέχεται η θέση των μονάδων που παρέχουν τις υπηρεσίες ευελιξίας. Στη φάση παρακολούθησης και ενεργοποίησης (monitoring and activation phase), το μητρώο πόρων ευελιξίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της επίδρασης ενεργοποίησης του πόρου σε σχέση με την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου.

Επισημαίνεται, ότι το όφελος για έναν κάτοχο ενός πόρου ευελιξίας ή παρόχου υπηρεσιών ευελιξίας, είναι ότι δεν είναι ορατό μόνο στους διαχειριστές συστήματος με τον οποίο είναι συνδεδεμένοι, αλλά και με όλους τους διαχειριστές συστημάτων στους οποίους θα μπορούσαν να παρέχουν μια υπηρεσία.

Τέλος, μέσω ενός μητρώου πόρων ευελιξίας, θα μπορούσε επίσης ο διαχειριστής του συστήματος να παρέχει στην αγορά πληροφορίες, για παράδειγμα εάν αναμένεται συμφόρηση του δικτύου. Αυτό θα έδινε στους ενδιαφερόμενους να υπολογίσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα έσοδά τους και επίσης το μητρώο πόρων ευελιξίας θα μπορούσε να υποστηρίξει το χρήστη προσφορών εξισορρόπησης για τη διαχείριση συμφόρησης.

4.1.2 Προϊόντα και Προσφορές

Υπάρχει μια γενική συμφωνία ότι τα προϊόντα πρέπει να συμμορφώνονται με τις ανάγκες των διαχειριστών των συστημάτων για οικονομικότερη και πιο αποτελεσματική διαχείριση της συμφόρησης. Οι απαιτήσεις αυτές θα πρέπει να προσδιορίζονται σαφώς, ώστε να καθίσταται δυνατός ο επιτυχής σχεδιασμός και η ανάπτυξη των προϊόντων. Αυτό δεν μπορεί να επιτευχθεί χωρίς επαρκή βαθμό διαφάνειας για την ενίσχυση της αμοιβαίας κατανόησης των απαιτήσεων των διαχειριστών συστημάτων και των παραγόντων της αγοράς.

Τα προϊόντα ευελιξίας για βελτιστοποίηση του χαρτοφυλακίου, αναφορικά με την εξισορρόπηση και διαχείριση συμφόρησης του δικτύου, θα πρέπει να επιτρέπουν την κατανομή ευελιξίας βάσει των απαιτήσεων, με στόχο την αποτελεσματική κατανομή η οποία μεγιστοποιεί την αξία των υπηρεσιών ευελιξίας. Επομένως είναι σημαντικό στοιχείο η εναρμονισμένη σχέση μεταξύ των προϊόντων εξισορρόπησης και των προϊόντων διαχείρισης συμφόρησης.

Επιπροσθέτως, τα προϊόντα ευελιξίας για τη διαχείριση της συμφόρησης πρέπει να είναι επαρκώς τυποποιημένα ώστε να επιτρέπουν την υποβολή προσφορών από τους συμμετέχοντες στην αγορά. Αναμένεται να αντιμετωπιστεί ρητά από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή μέσω της δέσμης μέτρων για την καθαρή ενέργεια (άρθρο 32 παράγραφος 1 της οδηγίας για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας).

Βέβαια, συνιστάται η εν λόγω τυποποίηση να εφαρμόζεται τουλάχιστον σε επίπεδο κράτους μέλους της ΕΕ για να περιοριστεί το κόστος για τους συμμετέχοντες στην αγορά για την προσφορά των προϊόντων. Ωστόσο, καθώς η διαχείριση της συμφόρησης αντιμετωπίζεται μέσω διαφορετικών μηχανισμών σε διαφορετικά κράτη μέλη, δεν απαιτείται ευρωπαϊκή εναρμόνιση των προϊόντων για τη διαχείριση της συμφόρησης.

Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να υπάρχει ελάχιστο κοινό έδαφος με τις αγορές διασυνοριακής εξισορρόπησης και χονδρικής. Είναι επίσης πιθανό οι απαιτήσεις εναρμόνισης να αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου. Ωστόσο, μια κοινή ορολογία για τις προδιαγραφές προϊόντων στην Ευρώπη θα μπορούσε να βοηθήσει τους συμμετέχοντες στην αγορά που δραστηριοποιούνται σε περισσότερα από ένα κράτη μέλη. Οι υγιείς ρυθμιστικές αρχές παρέχουν αξία, επιτρέποντας τη γρήγορη δημιουργία αγορών ευελιξίας, θα πρέπει να περιλαμβάνουν δικαιώματα και ευθύνες υψηλού επιπέδου με ταυτόχρονη τήρηση των διαφορετικών συνθηκών στα κράτη μέλη.

4.2 Ελληνική Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας αναμορφώθηκε το 2020 και εφαρμόστηκε το Target Model²⁶[1]. Η εξισορρόπηση και η διαχείριση συμφόρησης είναι κρίσιμες λειτουργίες, γιατί οι στόχοι απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές είναι φιλόδοξοι και οι διαχειριστές συστημάτων πρέπει να διαχειρίζονται μεγάλο όγκο

²⁶ Οι πιο σχετικοί κωδικοί δικτύου όταν μιλάμε για αγορές ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι κώδικες αγοράς, καθώς οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας συνδέονται με τη λειτουργία του συστήματος. Αυτοί οι κώδικες δικτύου περιγράφουν τον σχεδιασμό της αγοράς για την ευρωπαϊκή εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, συνήθως ονομάζεται «Target Model - Μοντέλο Στόχου».

Η αντίστοιχη νομοθεσία περιλαμβάνει:

(i) τις οδηγίες 2009/72/ΕΚ [2], 2019/944 [3] και 2019/943 [4] της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι οποίες ορίζουν κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας· (ii) Κανονισμός (ΕΚ) 714/2009 [5] για τον ορισμό των διασυνοριακών ανταλλαγών ηλεκτρικής ενέργειας. (iii) Κανονισμός (ΕΚ) 713/2009 [6] για την ίδρυση του Οργανισμού για τη Συνεργασία των Ρυθμιστικών Αρχών Ενέργειας (ACER). (iv) Κανονισμός (ΕΕ) 2017/2195 της Επιτροπής [7] που περιγράφει ειδικές κατευθυντήριες γραμμές για την ενοποίηση των ευρωπαϊκών αγορών ενέργειας εξισορρόπησης· (v) Κανονισμός (ΕΕ) 2017/1485 της Επιτροπής [8], ο οποίος θεσπίζει εναρμονισμένους κανόνες για τους ΔΣΜ, τους ΔΣΜ και τους σημαντικούς χρήστες του δικτύου (SGUs), με στόχο την παροχή της κατάλληλης νομοθεσίας για τη λειτουργία του διασυνδεδεμένου συστήματος μεταφοράς· (vi) Κανονισμός (ΕΕ) 2015/1222 της Επιτροπής [9] για τη θέσπιση κατευθυντήριας γραμμής για την κατανομή χωρητικότητας και τη διαχείριση της συμφόρησης (CACM). και (vii) Κανονισμός (ΕΕ) 2016/1719 της Επιτροπής για τη θέσπιση κατευθυντήριας γραμμής Forward Capacity Allocation (FCA) [10].

μεταβλητής παραγωγής ΑΠΕ. Αποτελεσματική πρόβλεψη παραγωγής και ζήτησης, διαχείριση συμφόρησης, τάση και έλεγχος συχνότητας, είναι όλοι τομείς υψηλού ενδιαφέροντος όπου τα αντίστοιχα μοντέλα δικτύου αναπτύσσονται σε στενή συνεργασία με τους διαχειριστές συστημάτων.

Η αιολική ενέργεια είναι πολύ μεταβλητή και εξαρτάται από τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες. Για να διασφαλιστεί η σταθερότητα του συστήματος και ο εντοπισμός αυτών των σημαντικών διακυμάνσεων, οι ΔΣΜ απαιτούν ακριβείς προβλέψεις της αιολικής ενέργειας. Λαμβάνεται επίσης υπόψη η ακρίβεια των υποκείμενων μοντέλων αριθμητικής πρόβλεψης καιρού (NWP – Numerical Weather Prediction). Οι ΔΣΜ αντιμετωπίζουν δυσκολίες, επειδή ορισμένες καιρικές συνθήκες είναι εξαιρετικά δύσκολο να προβλεφθούν. Καθώς το ηλεκτρικό δίκτυο μεταβαίνει σε ένα σύστημα με υψηλό βαθμό αποκέντρωσης, τα επιχειρηματικά μοντέλα των διαχειριστών του δικτύου πρέπει να αλλάξουν για να επιτρέψουν γρήγορες αποκρίσεις και προσαρμόσιμη ευελιξία.

Ως αποτέλεσμα, το Ευρωπαϊκό Δίκτυο Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ENTSO-E, European Network of Transmission System Operators for Electricity) και οι Διαχειριστές Ευρωπαϊκών Συστημάτων Διανομής (EDSO – European Distribution System Operators) έχουν ενθαρρύνει τα μέλη τους να σχηματίσουν μια ειδική κοινοπραξία [11].

Μια νέα γενιά υπηρεσιών δικτύου είναι αυτό που επιδιώκει να αναπτύξει το πρόγραμμα OneNet [12], ικανό να χρησιμοποιεί την κατανεμημένη παραγωγή, την αποθήκευση και την ανταπόκριση στη ζήτηση, διασφαλίζοντας παράλληλα δίκαιες, ανοιχτές και διαφανείς συνθήκες για τους καταναλωτές.

Το OneNet χρηματοδοτήθηκε από το έργο Horizon 2020 [13], το όγδοο πρόγραμμα πλαίσιο της ΕΕ. Αυτή η εξαιρετικά φιλόδοξη προοπτική υλοποιείται με την πρόταση νέων αγορών, προϊόντων και υπηρεσιών, καθώς και με την ανάπτυξη μιας μοναδικής αρχιτεκτονικής πληροφορικής για την υποστήριξη καινοτόμων μηχανισμών. Το έργο στοχεύει επίσης στην επίτευξη ευρείας συμφωνίας για τη

λύση με την έναρξη μιας σειράς πρωτοβουλιών, συμπεριλαμβανομένου ενός φόρουμ συζήτησης μεγάλης κλίμακας στη διεθνή ενεργειακή κοινότητα.

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί η εφαρμογή ενός πιλοτικού προγράμματος, χρηματοδοτούμενο από το project OneNet, που εκτυλίσσεται στην Ελλάδα. Ο σκοπός του συγκεκριμένου πιλοτικού προγράμματος αντιμετωπίζει τις ανάγκες των ΔΣΜ, ΔΣΔ και της ενεργειακής αγοράς. Το σημαντικότερο όμως όλων, αποτελεί η κοινή προσέγγιση του πιλοτικού αυτού προγράμματος, που παρουσιάζει μια καινοτόμο προσέγγιση με σκοπό τον καλύτερο συντονισμό των ΔΣΜ – ΔΣΔ, για παροχή καλύτερων υπηρεσιών ευελιξίας [14].

Στην Ελλάδα, μια προηγμένη πλατφόρμα προβλέψεων που αξιολογεί τις ανάγκες και τις υπηρεσίες ευελιξίας για εξισορρόπηση και διαχείριση ενεργειακής συμφόρησης, αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στις περιοχές της Πελοποννήσου και της Κρήτης [15].

Το νησί της Κρήτης διασυνδέθηκε πρόσφατα με την ηπειρωτική Ελλάδα και κατ' επέκταση σε ένα πανευρωπαϊκό διασυνδεδεμένο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (**Εικόνα 36**). Το επίπεδο υψηλής τάσης είναι 150 kV προς το παρόν στην Κρήτη και την Πελοπόννησο ενώ, στην τελευταία περιοχή, δύο νέα έργα 400 kV OHL και νέοι υποσταθμοί σχεδιάζονται στο εθνικό 10ετές σχέδιο ανάπτυξης δικτύου (TYNDP – Ten Year Network Development Plan) [16]. Η περιοχή της Πελοποννήσου είναι μια ορεινή περιοχή με ισχυρούς ανέμους. Έτσι, υπάρχουν εγκατεστημένα πολλά αιολικά πάρκα, ενώ η τρέχουσα χωρητικότητα του δικτύου μπορεί να δεχθεί και μεγαλύτερα ποσά προερχόμενα από αιολική παραγωγή [15].

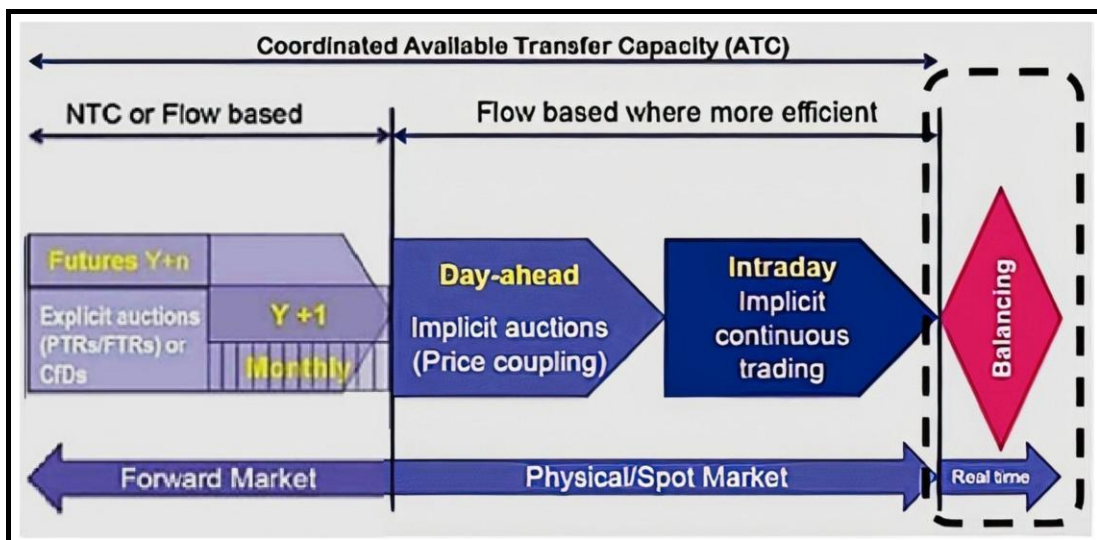
Η Κρήτη ήταν απομονωμένη από την ηπειρωτική Ελλάδα μέχρι τον Ιούλιο του 2021. Λόγω του περιβαλλοντικού κανονισμού, οι μονάδες παραγωγής ντίζελ πρέπει να καταργηθούν σταδιακά τα επόμενα χρόνια. Αυτό είναι και ο κύριος λόγος γιατί οι ΔΣΜ περιέλαβαν πριν από μερικά χρόνια τη διασύνδεση AC με τη νότια Πελοπόννησο κυρίως, και με την Αττική μέσω δεύτερης διασύνδεσης HVDC, σε μεταγενέστερο στάδιο (προγραμματισμένη για θέση σε λειτουργία έως το τέλος του 2023) [15].



Εικόνα 36: Οι διασυνδέσεις AC και DC της Κρήτης με την Ηπειρωτική χώρα, [11,15]

4.3 Μοντέλο Στόχου

Το μοντέλο στόχου ηλεκτρικής ενέργειας επιδιώκει να ενσωματώσει διάφορες εθνικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας σε μια κοινή ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας [17]. Αυτές οι νέες αγορές απεικονίζονται στην **Εικόνα 37**, [11].



Εικόνα 37: Οι διαφορετικές ευρωπαϊκές αγορές ενέργειας, [11]

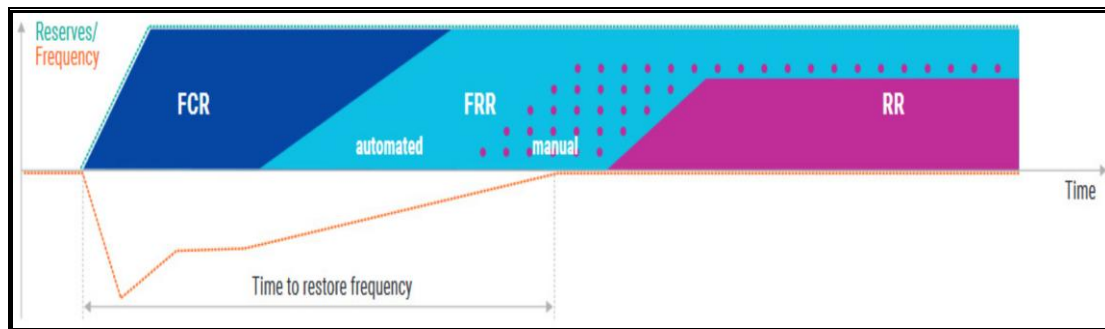
Οι forward markets και μελλοντικές αγορές αντιδρούν σε γεγονότα που συμβαίνουν χρόνια πριν, μέχρι την ημέρα παράδοσης. Τα forward συμβόλαια και τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης είναι συμφωνίες για την παράδοση μιας συγκεκριμένης

ποσότητας ισχύος σε μελλοντική ημερομηνία με τιμή που συμφωνήθηκε μέχρι σήμερα [18]. Οι forward markets επιτρέπουν στους συμμετέχοντες της αγοράς να περιορίσουν την έκθεσή τους στην Ενδοημερήσια Αγορά εξασφαλίζοντας τη θέση τους, όταν οι τιμές της αγοράς είναι ασταθείς [19]. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να διαπραγματευτεί με μελλοντικές αγορές μεταξύ ζωνών αγοράς, καθώς και εντός ζωνών αγοράς [20].

Το μοντέλο στόχου, όπως ορίζεται στον κανονισμό (ΕΕ) 2015/1222 της Επιτροπής για τα χρονοδιαγράμματα της ενδοημερήσιας (intraday) και της επόμενης ημέρας, ορίζεται ως ένας σιωπηρός συνεχής αλγόριθμος αντιστοίχισης συναλλαγών που επιτρέπει τη σύζευξη των ενδοημερήσιων αγορών στην ΕΕ [21].

Μετά το κλείσιμο της ενδοημερήσιας αγοράς, ο μηχανισμός εξισορρόπησης διασφαλίζει ότι η προσφορά ισούται με τη ζήτηση σε πραγματικό χρόνο [22]. Ο πρωτεύον στόχος της αγοράς εξισορρόπησης, είναι να γίνουν διορθώσεις των ανισορροπιών σε πραγματικό χρόνο στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ εισόδου και εξόδου [23]. Οι ΔΣΜ πρέπει να ενεργούν σε πραγματικό χρόνο για να εξασφαλίσουν στην εξισορρόπηση διαφορές στη ζήτηση και την παραγωγή σε πραγματικό χρόνο.

Ο ΔΣΜ πρέπει να συνάψει τρία είδη εφεδρειών στην Αγορά Εξισορρόπησης Αποθεματικών (**Εικόνα 38**), [11]. Τα αποθέματα περιορισμού συχνότητας (FCR – Frequency Containment Reserves) χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση της συχνότητας, χρησιμοποιώντας αποθεματικά (τοπικά ενεργοποιημένα ή/και αυτόματα ελεγχόμενα) [11]. Οι αποθεματικές συχνότητες αποκατάστασης (FRR – Frequency Restoration Reserves), ελέγχονται και ενεργοποιούνται κεντρικά, χρησιμοποιούνται για την επαναφορά ισορροπίας του συστήματος και ενεργοποιούνται για δευτερόλεπτα έως 15 λεπτά [11]. Όταν τα αποθέματα επαναφοράς συχνότητας, είναι ανεπαρκή για την αποκατάσταση της ισορροπίας του συστήματος, χρησιμοποιούνται αποθεματικά αντικατάστασης (RR – Replacement Reserves) (δηλαδή σε περίπτωση μεγάλων ανισορροπιών).



Εικόνα 38: Εξισορροπημένη αγορά αποθήκευσης, [11]

Η ηλεκτρική ενέργεια θα διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην οικονομία της ΕΕ [24]. Για να επιτευχθεί αυτό, το ενεργειακό σύστημα πρέπει να είναι πιο ευέλικτο και να χρησιμοποιηθούν οι υπάρχουσες διασυνδέσεις πλήρης χωρητικότητά τους, διατηρώντας παράλληλα την ασφάλεια του συστήματος. Η τρέχουσα ζώνη υποβολής προσφορών είναι υπό πίεση σε επίπεδα υψηλής τάσης. Η επέκταση του πλέγματος δεν ήταν δυνατή με τις εντυπωσιακές δυνατότητες των εγκατεστημένων (ΑΠΕ) και ως εκ τούτου, μεταξύ άλλων, το κόστος ανακατανομής είναι υψηλό και συνεχίζει να αυξάνεται. Επιπλέον, σε επίπεδα χαμηλής τάσης, τα δίκτυα διανομής θα πρέπει να επεκταθούν για να εξυπηρετήσουν τους αυξανόμενους καταναλωτές, Εγκατάσταση Φ/Β, ηλεκτροδότηση θέρμανσης και μεταφορά [11].

4.4 Η Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα – Ελληνική Νομοθεσία

Η αναμόρφωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα ξεκίνησε πριν από αρκετά χρόνια και υλοποιήθηκε μέσω διαφόρων κανονισμών και οδηγιών. Ο νόμος 2773/1999 [25], έθεσε τη βάση για η απελευθέρωση της ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και τη ρύθμιση ορισμένων βασικών σημείων της Εθνικής Ενεργειακής Πολιτικής [26,27]. Εισήγαγε επίσης τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ²⁷), με στόχο την παρακολούθηση και τον έλεγχο της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ο Νόμος 3426/2005, εισήγαγε ορισμένες προσθήκες στον Ν. 2773/1999

²⁷ Η ΡΑΕ ξεκίνησε την εφαρμογή του «Target Model» στην ελληνική χονδρική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας το 2018, με βάση τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς, οδηγίες και κατευθυντήριες γραμμές. Οι μελλοντικοί στόχοι περιλαμβάνουν τις αγορές εξισορρόπησης, ενδοημερήσιας επόμενης ημέρας και μελλοντικών αγορών. Από τον Αύγουστο του 2021 ο ΔΕΔΔΗΕ έχει μεταβιβάσει την κυριότητα του δικτύου μεταφοράς στην Κρήτη στον ΑΔΜΗΕ, και η μετάβαση του ηλεκτρικού συστήματος της Κρήτης σε Εθνικό και Ευρωπαϊκό χονδρικό ρεύμα αγορά θα γίνει μέσω συγκεκριμένου ρυθμιστικού πλαισίου.

για την επιτάχυνση της διαδικασίας απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας [26,27].

Το 2011, η ελληνική κυβέρνηση εισήγαγε ολοκληρωμένη νέα νομοθεσία, προκειμένου να μετατρέψει την τρίτη οδηγία της ΕΕ σε εθνικό δίκαιο και να μεταρρυθμίσει τον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο νόμος 4001/2011 [28], αποτελεί το θεμέλιο της σύγχρονης ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς εισήγαγε τη μετάβαση από το μοντέλο του ανεξάρτητου διαχειριστή συστήματος στο μοντέλο του ανεξάρτητου διαχειριστή μεταφοράς (ΑΔΜΗΕ) [26, 27].

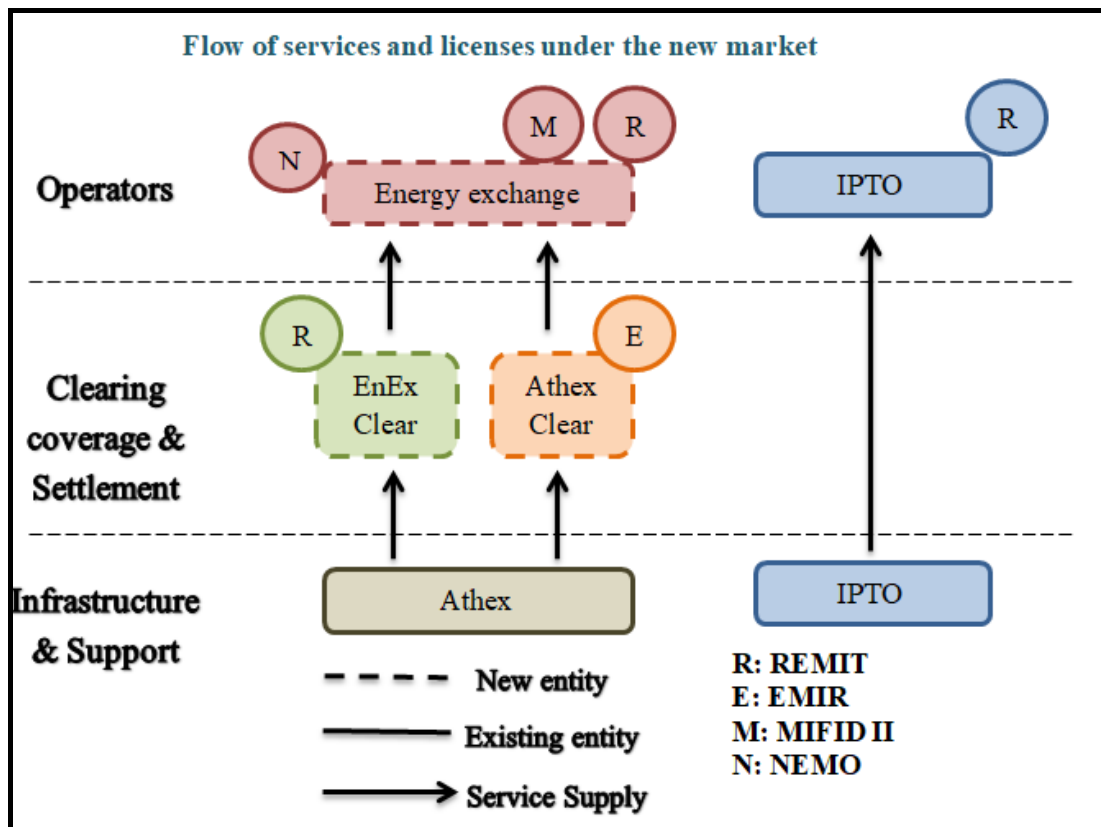
Στην Ελλάδα, ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε. (ΑΔΜΗΕ), είναι ο διαχειριστής του συστήματος μεταφοράς, ο οποίος ιδρύθηκε το 2011 [33] και είναι οργανωμένος και λειτουργεί σύμφωνα με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ της ΕΕ [34]. Η Εταιρεία λειτουργεί το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας [ΕΣΜΕ, (Hellenic Electricity Transmission System -HETS)] σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν. 4001/2011, τον Εθνικό Κώδικα Δικτύου και την Άδεια Λειτουργίας. Ο ρόλος του ΑΔΜΗΕ είναι ο έλεγχος, η λειτουργία, η συντήρηση και η ανάπτυξη του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, διασφαλίζοντας την επαρκή, ασφαλή, αποτελεσματική και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας, καθώς και τη λειτουργία της Αγοράς Εξισορρόπησης Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Η Ελλάδα πρόκειται να εφαρμόσει και τις τέσσερις αγορές που απορρέουν από τη σχετική νομοθεσία, δηλαδή την προθεσμιακή αγορά, την αγορά της επόμενης ημέρας, την αγορά εντός της ημέρας και την αγορά εξισορρόπησης [26, 27].

Στη νέα δομή της αγοράς της Ελλάδας, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 39** [15], το Ελληνικό Χρηματιστήριο Ενέργειας διαχειρίζεται τις ενεργειακές αγορές φυσικής παράδοσης και τις χρηματοοικονομικές αγορές ενέργειας, σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν. 4512/2018 [29] και τις κατ' εξουσιοδότηση πράξεις του. Εν τω μεταξύ, ο ΑΔΜΗΕ, ο ελληνικός ΔΣΜ ηλεκτρικής ενέργειας που ιδρύθηκε σύμφωνα με το Ν. 4001/2011, διαχειρίζεται την αγορά εξισορρόπησης. Το ΗEnEX (**χρηματιστήριο ενέργειας**) συμμορφώνεται με διάφορες ευρωπαϊκές άδειες, όπως

τον Κανονισμό για την Ακεραιότητα και τη Διαφάνεια της Χονδρικής Ενεργειακής Αγοράς (REMIT – Regulation on Whole sale Energy Market Integrity and Transparency), τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό Ενέργειας Αγοράς 2022, 15, 6134 4 από 31 για τις Υποδομές (EMIR – Infrastructure Regulation), την Οδηγία για τις αγορές χρηματοπιστωτικών μέσων (MIFID II – Markets in Financial Instruments Directive), τον Κανονισμό για την Κατάχρηση Αγοράς (MAR – Market Abuse Regulation) και τον Ορισμένο Διαχειριστή Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (NEMO – Nominated Electricity Market Operator), (Εικόνα 39), [15].

Επιπλέον, η ενσωμάτωση των ΑΠΕ στην αγορά εξισορρόπησης, σχετίζεται επίσης με την αποτελεσματική εφαρμογή του ρόλου των συσσωρευτών στο σύστημα, που λειτουργούν ως εικονικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, συγκεντρώνοντας την παραγωγή ΑΠΕ και/ή την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των νοικοκυριών και την πώλησή τους, αχρησιμοποίητη ισχύος κατά τις ώρες αιχμής, όταν η ζήτηση είναι υψηλή [30].



Εικόνα 39: Υπηρεσίες υπό τη νέα δομή της αγοράς ενέργειας στην Ελλάδα, [15]

Από την 1η Νοεμβρίου 2020, το μοντέλο στόχος ισχύει στην Ελλάδα. Με βάση τη δομή του μοντέλου στόχου που υιοθετήθηκε, η ελληνική αγορά εξισορρόπησης περιλαμβάνει την αγορά εξισορροπητικής ικανότητας, την αγορά ενέργειας εξισορρόπησης και τους διακανονισμούς ανισορροπιών [30].

Τέλος, ο νέος σχεδιασμός της αγοράς αντικατέστησε το σύστημα υποχρεωτικής συγκέντρωσης της επόμενης ημέρας, το οποίο ίσχυε από το 2005. Σε αυτό το κεντρικό μοντέλο αποστολής, η διαδικασία προγραμματισμού και οι προσφορές αποστολής περιλάμβαναν τη συμμετοχή βάσει μονάδας αντί της συμμετοχής βάσει χαρτοφυλακίου [31,32].

4.5 Ερευνητικά Έργα με Συμμετοχή του ΑΔΜΗΕ

4.5.1 Σταθμός Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου FLEXITRANSTORE, που χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, δοκιμάστηκε ένας σταθμός αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στον Υ/Σ Αισύμης, ο οποίος αποτελείται από μια συστοιχία μπαταριών ιόντων λιθίου ονομαστικής ισχύος 2MW και ονομαστικής ενέργειας 2MWh, σε συνδυασμό με ένα προηγμένο σύστημα ελέγχου. Το σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας εγκατεστημένο στον Υ/Σ Αισύμης, παρουσιάζεται στην **Εικόνα 40**, [35].



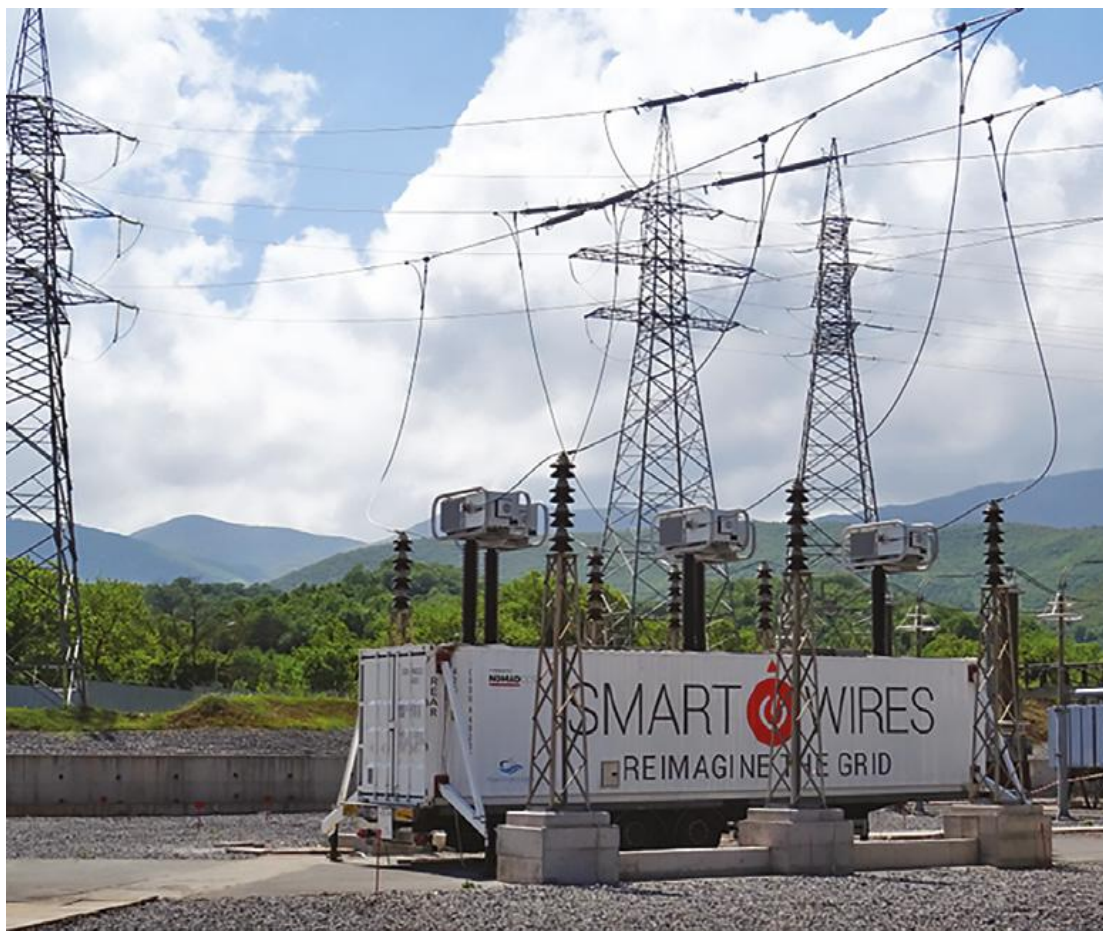
Εικόνα 40: Σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας εγκατεστημένο στον Υ/Σ Αισύμης, [35]

Στόχος του πιλοτικού έργου ήταν η αξιολόγηση της δυνατότητας ενός σταθμού αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας να προσφέρει υπηρεσίες προς το σύστημα μεταφοράς, όπως:

- ✓ Παροχή άεργου ισχύος για έλεγχο τάσης.
- ✓ Απόσβεση ταλαντώσεων που μπορεί να εμφανιστούν στο σύστημα μεταφοράς.
- ✓ Αναβάθμιση μεταφορικής ικανότητας συστήματος μεταφοράς.

4.5.2 Μονάδα Προηγμένης Τεχνολογίας Ελέγχου Ροής Ενεργού Ισχύος

Στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου FLEXITRANSTORE, εγκαταστάθηκε και δοκιμάστηκε μια κινητή μονάδα ελέγχου ροής ισχύος. Η κινητή μονάδα ελέγχου ροής ισχύος, κατευθύνει ισχύ από περισσότερο σε λιγότερο φορτισμένες γραμμές. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα αποδοτικότερης διαχείρισης της διαθέσιμης χωρητικότητας γραμμών μεταφοράς στο Διαχειριστή. Το κύριο πλεονέκτημα της μονάδας, είναι η δυνατότητα ταχείας μεταφοράς και εγκατάστασης στα σημεία του Συστήματος που απαιτείται. Η κινητή μονάδα ελέγχου ροής ισχύος, που εγκαταστάθηκε στο ΚΥΤ Μεγαλόπολης, παρουσιάζεται στην **Εικόνα 41**, [35].



Εικόνα 41: Μονάδα ελέγχου Ροής Ισχύος στο KYT Μεγαλόπολης, [35]

4.5.3 Τεχνολογίες δυναμικής εκτίμησης γραμμής (Dynamic Line Rating, DLR)

Στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου FARCROSS, εγκαταστάθηκαν δύο πλήρως λειτουργικά συστήματα τεχνολογίας DLR, στη γραμμή διασύνδεσης Ελλάδας-Βουλγαρίας (Θεσσαλονίκη – Μπλαγκόεβγκραντ), τα οποία παρουσιάζονται στην **Εικόνα 42**, [35]. Οι αισθητήρες δυναμικής εκτίμησης γραμμής, επιτρέπουν την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των κρίσιμων παραμέτρων εναέριων γραμμών του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο συνδυασμός των καινοτόμων αυτών αισθητήρων με αποτελεσματικούς αλγορίθμους, συνεισφέρει:

- ✓ Στη βέλτιστη διαχείριση της διασυνοριακής ροής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της ακριβέστερης εκτίμησης της μέγιστης επιτρεπόμενης φόρτισης των εναέριων γραμμών.

- ✓ Στην παρακολούθηση της κατάστασης των διασυνοριακών εναέριων γραμμών και της εκτίμησης του υπολοίπου της διάρκειας ζωής τους.



Εικόνα 42: Δύο ολοκληρωμένα συστήματα DLR στη γραμμή διασύνδεσης Ελλάδα - Βουλγαρίας, [35]

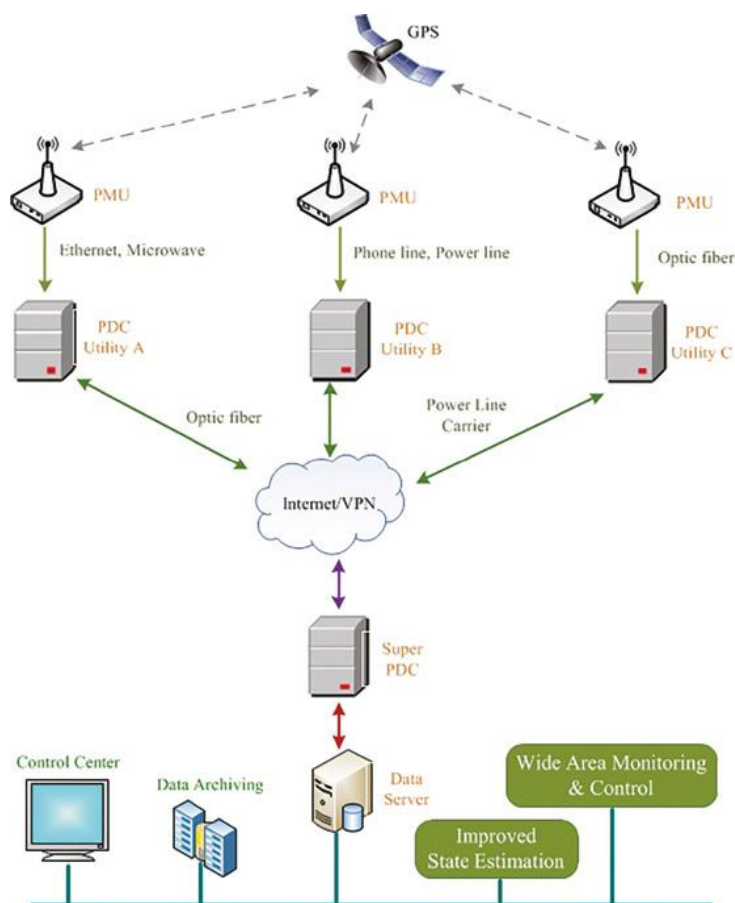
4.5.4 Συστήματα Μέτρησης, Προστασίας και Ελέγχου Ευρείας Περιοχής (Wide Area Measuring, Protection and Control Systems, WAMPAC)

Τα Συστήματα Μέτρησης, Προστασίας και Ελέγχου Ευρείας Περιοχής, βοηθούν στον έλεγχο της σταθερότητας και της ασφαλούς λειτουργίας ολόκληρου του συστήματος μεταφοράς, μέσω μετρήσεων που συγκεντρώνονται από διαφορετικά σημεία. Οι μετρήσεις αξιοποιούνται από το σύστημα προστασίας, αυτοματοποίησης και ελέγχου ευρείας περιοχής, ώστε να διασφαλιστεί η ευστάθεια και ομαλή λειτουργία του συνολικού συστήματος.

Στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου FARCROSS, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα Σύστημα Μέτρησης, Προστασίας, και Ελέγχου Ευρείας Περιοχής, που θα εγκατασταθεί στο ελληνικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Οι στόχοι του πιλοτικού έργου είναι:

- ✓ Παρακολούθηση της κατάστασης του συστήματος και εντοπισμός κρίσιμων καταστάσεων.
- ✓ Προσδιορισμός ταλαντώσεων μεταξύ περιοχών
- ✓ Ανάπτυξη αλγορίθμων ελέγχου για την απόσβεση ταλαντώσεων μεταξύ των περιοχών

Για την επίτευξη των παραπάνω, εγκαθίσταται 15 συσκευές μέτρησης φάσης (Phasor Measurement Units, PMU's) στο ελληνικό Σύστημα και 2 συσκευές (Phasor Data Concentrator, PDC's), όπου θα συγκεντρώνονται οι μετρήσεις από τις PMU's και θα αναπτυχθούν οι απαραίτητοι αλγόριθμοι. Η διαδικασία εγκατάστασης των PMU's και PDC's, είναι σε εξέλιξη. Η αρχιτεκτονική ενός συστήματος Μέτρησης, Προστασίας και Ελέγχου Ευρείας Περιοχής, απεικονίζεται στην **Εικόνα 43**, [35].



Εικόνα 43: Αρχιτεκτονική ενός Συστήματος Μέτρησης, Προστασίας και Ελέγχου Ευρείας Περιοχής, [35]

4.6 Περιγραφή OneNet

Το Ενεργειακό Σύστημα αντιμετωπίζει μια απίστευτη επανάσταση την τελευταία δεκαετία. Τελικός στόχος είναι η δημιουργία ενός νέου ενεργειακού σεναρίου, που ευρέως θα «κυριαρχείται» από ΑΠΕ και θα βασίζεται κυρίως στην κατακεκομημένη παραγωγή ενέργειας [39].

Η ευελιξία είναι ένα βασικό στοιχείο στο οποίο κατευθύνονται οι περισσότερες χώρες της ΕΕ, χαράζοντας μια κοινή ενεργειακή πολιτική, ξεφεύγοντας από ένα σύστημα δικτύου που βασίζεται στο φορτίο, αλλά σε ένα σύστημα που βασίζεται στην παραγωγή, δεδομένης της μεγάλης διείσδυσης των ΑΠΕ στο δίκτυο. Αυτό βέβαια απαιτεί μια νέα σχέση μεταξύ λειτουργίας του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και των αγορών. Ενώ, παραδοσιακά, αυτές οι δύο παράμετροι λειτουργούσαν τελείως ξεχωριστά στο παρελθόν, πρέπει τώρα να συνεργαστούν πιο στενά για μια καλύτερη διαχείριση των ενεργειακών καταστάσεων σχεδόν σε πραγματικό χρόνο [39].

Η ψηφιοποίηση είναι βασικός παράγοντας αυτής της ανωτέρω διαδικασίας που ανοίγει το δρόμο για έξυπνη και αποτελεσματική διαχείριση των δεδομένων με ασφαλή τρόπο. Η ψηφιοποίηση ανοίγει απίστευτες ευκαιρίες, με σκοπό να αντιμετωπιστεί όλο το ενεργειακό σύστημα ως μια μοναδική σύνθετη υποδομή. Έτσι, απαιτούνται νέα επίπεδα συνεργασίας μεταξύ των παικτών του ενεργειακού κλάδου, κάτι που πρόσφερε σε μεγάλο βαθμό το Project OneNet.

Στο σημείο αυτό αναφέρεται ότι το Project OneNet στοχεύει στη δημιουργία μοναδικών συνεργιών μεταξύ όλων των παικτών του ενεργειακού κλάδου, σε όλο το ευρωπαϊκό επίπεδο, οι οποίοι προτείνουν νέα τυποποιημένα προϊόντα και υπηρεσίες που λειτουργούν όλα αυτά μαζί κάνοντας χρήση νέων πληροφοριακών προγραμμάτων.

Το Project **OneNet** βασίστηκε σε τρεις πυλώνες:

1. Ορισμός ενός σχεδίου κοινής αγοράς για ολόκληρη την Ευρώπη

- τυποποιημένα προϊόντα και βασικές παραμέτρους για υπηρεσίες δικτύου
- συντονισμός μεταξύ όλων των παραγόντων για τη δημιουργία ενός γόνιμου περιβάλλοντος αγοράς, όσον αφορά τις υπηρεσίες δικτύου
- προώθηση της προμήθειας υπηρεσιών με επαρκή λειτουργική αξιοπιστία και συνδυασμό πολλών προϊόντων, για τη βελτιστοποίηση και την ταυτόχρονη προμήθεια αυτών των υπηρεσιών

2. Ορισμός κοινής αρχιτεκτονικής πληροφορικής και κοινών διεπαφών πληροφορικής (Definition of a common IT Architecture and common IT Interfaces)

- δημιουργία μιας αρχιτεκτονικής, ως διαλειτουργικό δίκτυο πλατφορμών που να ταιριάζει στις απαιτήσεις της αγοράς
- παροχή καθολικής πρόσβασης για όλους τους συμμετέχοντες στην αγορά της ΕΕ, ανεξάρτητα από το γεωγραφικό σημείο σύνδεσής τους
- κοινή γλώσσα επικοινωνίας μεταξύ όλων των ψηφιακών πλατφόρμων

3. Επαλήθευση των προτεινόμενων λύσεων σε μεγάλες δοκιμές πεδίου

Το Project OneNet, προωθεί τη συνεργασία μιας πλατφόρμας που κύριο σκοπό έχει την ενίσχυση των επιχειρήσεων και υπηρεσιών που βασίζονται στην ενέργεια. Βέβαια, στο πλαίσιο στο οποίο λαμβάνει χώρα η συγκεκριμένη αυτή συνεργασία, θα πρέπει να υπάρχει ένα ασφαλές και αξιόπιστο περιβάλλον στο οποίο θα έχουν πρόσβαση στην πληροφορία όλοι οι συμμετέχοντες του προγράμματος. Για αυτό το λόγο, το OneNet έχει ορίσει μια αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου που εστιάζει σε δύο κύριες πτυχές:

- στη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών πλατφόρμων
- στην απλοποίηση του τρόπου διαχείρισης των στοιχείων εντός αυτών των πλατφόρμων

Επομένως, η γενική φιλοδοξία του OneNet, είναι να εναρμονίσει την αλληλεπίδραση μεταξύ των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και των αγορών ευελιξίας, χάρη σε μια αποτελεσματική ροή πληροφοριών και νέες διαδικασίες. Αυτό μεταφράζεται σε εναρμόνιση της αγοράς, κοινές διαδικασίες και μηχανισμούς, συντονισμό των ενδιαφερόμενων, διαλειτουργικότητα ψηφιακών συστημάτων και κοινά πρότυπα επικοινωνίας μεταξύ πολλών άλλων.

Ως αποτέλεσμα της προαναφερθείσας φιλοδοξίας του OneNet, είναι η υποστήριξη μιας ομαλής ενσωμάτωσης, επεκτασιμότητας και δυνατότητα αναπαραγωγής καινοτόμων προϊόντων για υπηρεσίες συστήματος, που υποστηρίζονται από

προηγμένη αρχιτεκτονική ΤΠΕ (ICT Architecture), δίνοντας τη δυνατότητα σε νέα επιχειρηματικά μοντέλα [39].

4.7 Μελέτη Σεναρίων Εργασίας στο Ελληνικό Σύστημα με Αξιοποίηση Καινοτόμων Τεχνολογιών

4.7.1 Ενσωμάτωση Αυξημένης Διείσδυσης ΑΠΕ

Οι πολιτικές αυτές έχουν ως τελικό στόχο, την απανθρακοποίηση της δραστηριότητας της ηλεκτροπαραγωγής, καθώς και τη συμβολή του τομέα του ηλεκτρισμού στην αντιμετώπιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Σε αυτό το πλαίσιο, η ανάπτυξη του ΕΣΜΗΕ είναι προσανατολισμένη προς την ενσωμάτωση της επικείμενης αύξησης της διείσδυσης των ΑΠΕ, η οποία αποτυπώνεται σε συγκεκριμένους ευρωπαϊκούς και εθνικούς στόχους για το 2030.

Συγκεκριμένα, προβλέπεται η αναδιάρθρωση του ενεργειακού μίγματος της χώρας έως το 2030 και η αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ σε τουλάχιστον 35% της συνολικής ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης της ενέργειας. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, το ΕΣΕΚ προδιαγράφει έναν ριζικό μετασχηματισμό του τομέα του ηλεκτρισμού, καθώς οι ΑΠΕ θα υποκαταστήσουν τα ορυκτά καύσιμα με συμμετοχή άνω του 60-65% στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με το ΕΣΕΚ ο στόχος για το 2030 είναι ο μηδενισμός του μεριδίου του εγχώριου λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή. Επιπρόσθετα, προβλέπεται η αλματώδης διείσδυση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή. Η εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠΕ προβλέπεται από τα 9,2 GW (συμπεριλαμβανομένων 3,7 GW των Μεγάλων ΥΗΣ) που είναι σήμερα, να υπερβεί τα 20 GW.

4.7.2 Ενίσχυση Ασφάλειας και Αξιοπιστίας του Συστήματος Μεταφοράς

Η ενίσχυση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας του Συστήματος Μεταφοράς, με δεδομένη την παλαιότητα στοιχείων του συστήματος και στο φόντο της κλιματικής κρίσης που αυξάνει τη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων, αλλά και της αυξημένης απειλής κυβερνοεπιθέσεων, αναδεικνύεται ως ένας από τους βασικούς πυλώνες της στρατηγικής του ΑΔΜΗΕ για την επόμενη περίοδο. Στο πλαίσιο αυτό ο ΑΔΜΗΕ επεξεργάστηκε, σε συνέχεια του προγράμματος ανανέωσης εξοπλισμού

που υλοποιείται από το 2018, ένα νέο κυλιόμενο πρόγραμμα ανανέωσης με σκοπό την αναβάθμιση του Συστήματος Μεταφοράς. Το πρόγραμμα αυτό περιλαμβάνει την αντικατάσταση παλαιού εξοπλισμού, για την εύρυθμη λειτουργία του Συστήματος, με εξοπλισμό σύγχρονης τεχνολογίας.

4.7.3 Υλοποίηση Νησιωτικών Διασυνδέσεων

Με αυτές τις συνδέσεις αντιμετωπίζεται η ηλεκτρική απομόνωσή τους, αυξάνεται η αξιοπιστία της τροφοδότησης, μειώνεται το κόστος της παραγόμενης ενέργειας, προστατεύεται το περιβάλλον και αξιοποιείται το υψηλό δυναμικό των ΑΠΕ των Μη Διασυνδεδεμένων Νήσων (ΜΔΝ).

Παράλληλα με την κατάργηση της «ηλεκτρικής απομόνωσης» του Νησιωτικού χώρου του Αιγαίου, αυξάνεται το μέγεθος της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Στο πλαίσιο αυτό, υλοποιήθηκαν ήδη η Α΄ Φάση, η Β΄ και η Γ΄ Φάση του έργου της διασύνδεσης των Κυκλάδων και είναι σε εξέλιξη η Δ΄ Φάση αυτού. Σε εξέλιξη βρίσκονται επίσης τα έργα της διασύνδεσης της Κρήτης, τα οποία είναι ιδιαίτερης σημασίας, λόγω των υψηλών φορτίων (ενέργεια και ισχύς) της Νήσου και λόγω του πλουσίου δυναμικού ΑΠΕ το οποίο διαθέτει. Ειδικότερα ο ΑΔΜΗΕ υλοποίησε το έργο της Α΄ Φάσης της διασύνδεσης Κρήτης (Κρήτη-Πελοπόννησος), το οποίο και ολοκληρώθηκε στις αρχές του 2021. Παράλληλα, μέσω της θυγατρικής εταιρείας του «ΑΡΙΑΔΝΗINTERCONNECTION Α.Ε.Ε.Σ.» υλοποιείται το έργο της Β΄ Φάσης της διασύνδεσης Κρήτης (Κρήτη - Αττική), με εκτιμώμενο χρόνο ολοκλήρωσης το έτος 2024. Τέλος, ο ΑΔΜΗΕ ενσωμάτωσε στον προγραμματισμό του μέσω των προηγούμενων και του παρόντος ΔΠΑ (Δεκαετής πλάνο), το σχεδιασμό του έργου της διασύνδεσης των Δωδεκανήσων και το σχεδιασμό του έργου της διασύνδεσης των νησιών του Βορείου Αιγαίου.

4.7.4 Ανάπτυξη Διεθνών Διασυνδέσεων

Η ανάπτυξη των ηλεκτρικών διασυνδέσεων μεταξύ των χωρών, αποτελεί σημαντική προτεραιότητα, διότι:

- ✓ συμβάλλει δραστικά στην ασφάλεια της τροφοδοσίας

- ✓ αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ενοποίηση των εθνικών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της εφαρμογής του Μοντέλου Στόχου (Target Model)
- ✓ επιτρέπει γενικότερα το διαμοιρασμό διάφορων πόρων (παραγωγικό δυναμικό, ευελιξία, εφεδρείες κλ.π.) μεταξύ των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας
- ✓ θα επιτρέψει την επιθυμητή μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ στην Ευρώπη, καθώς αυτή θα απαιτήσει την ικανότητα διακίνησης σημαντικών ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ η αντικατάσταση συμβατικών σταθμών από μονάδες ΑΠΕ, θα οδηγήσει σε ανάγκες αυξημένης μεταφορικής ικανότητας μεταξύ των Συστημάτων για λόγους ρύθμισης

4.7.5 Ενσωμάτωση Υπεράκτιων Πάρκων

Η επίτευξη των στόχων που τέθηκαν με το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα για το έτος 2030 και τον Μακροχρόνιο Ενεργειακό Σχεδιασμό για το έτος 2050, επιτάσσει την επιτάχυνση των διαδικασιών για την ένταξη νέων μονάδων ΑΠΕ σε μεγάλη κλίμακα. Στην κατεύθυνση αυτή αναμένεται να συμβάλλουν ιδιαίτερα, σχέδια για την εγκατάσταση μονάδων ΑΠΕ που απαιτούν ωστόσο την υλοποίηση σημαντικών έργων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Μια ιδιαίτερη κατηγορία έργων με αυτά τα χαρακτηριστικά, αποτελούν έργα που περιλαμβάνουν ανάπτυξη μονάδων ΑΠΕ σε νησιά ή υπεράκτιες περιοχές με υποθαλάσσια διασύνδεση τους με το ηπειρωτικό σύστημα. Βέβαια, για τη βελτιστοποίηση των όρων ανάπτυξης του συστήματος, νέα εργαλεία πρέπει να εισαχθούν στο κανονιστικό και ρυθμιστικό πλαίσιο, ώστε να μπορέσει να επιτευχθεί ομαλή μετάβαση στη νέα πραγματικότητα, χωρίς να διακυβευθεί η ομαλή λειτουργία του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΜΗΕ).

Στην κατεύθυνση αυτή ο ΑΔΜΗΕ, ήδη στο πλαίσιο προηγούμενων αλλά και του παρόντος δεκαετούς προγράμματος ανάπτυξης, συμπεριέλαβε ένα ολοκληρωμένο σχέδιο ανάπτυξης νησιωτικών διασυνδέσεων, που περιλαμβάνει τα μεγαλύτερα εκ

των νησιών του Αιγαίου (Κρήτη, Κυκλάδες, Δωδεκάνησα, Βορειοανατολικό Αιγαίο). Όπως είναι γνωστό εκτός από τα Ιόνια νησιά, νησιά στο σύμπλεγμα των Κυκλάδων που έχουν διασυνδεθεί και της Α' φάσης της διασύνδεσης της Κρήτης που έχει ολοκληρωθεί, βρίσκονται σε πλήρη εξέλιξη τα έργα της Β' φάσης της ηλεκτρικής διασύνδεσης της νήσου Κρήτης, ενώ πλέον έχουν σχεδιαστεί οι νησιωτικές διασυνδέσεις που καλύπτουν γεωγραφικά το σύνολο του Αιγαίου. Η ανάπτυξη των ηλεκτρικών διασυνδέσεων, πέρα από την άρση της ηλεκτρικής απομόνωσης των νησιών, θα δώσει παράλληλα τη δυνατότητα σημαντικής ανάπτυξης σταθμών ΑΠΕ. Ωστόσο ο σχεδιασμός αυτός με βάση το υφιστάμενο ρυθμιστικό πλαίσιο, επικεντρώνεται στις ανάγκες διασύνδεσης των νησιών για την εξυπηρέτηση της ζήτησης με τις δυνατότητες ανάπτυξης ΑΠΕ να προκύπτουν ως συνεπαγόμενο όφελος των σχεδιαζόμενων διασυνδέσεων.

4.8 Ευρωπαϊκό Ρυθμιστικό Πλαίσιο Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας- Ευρωπαϊκή Νομοθεσία Ενέργειας

4.8.1 Ευρωπαϊκό Ρυθμιστικό Πλαίσιο Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το Ευρωπαϊκό διοικητικό και ρυθμιστικό πλαίσιο, που διέπει τη λειτουργία της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, στηρίζεται στα παρακάτω τρία ρυθμιστικά/κανονιστικά πλαίσια που καθένα περιλαμβάνει σειρά Οδηγιών (Directives) και Κανονισμών (Regulations) [35].

🚩 Πακέτο για «Καθαρή Ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους» (Clean Energy for all Europeans package)

Το Πακέτο για «Καθαρή Ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους» (Clean Energy for all Europeans package), συνιστά το πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Πολιτικής που αφορά στην ενεργειακή μετάβαση από συμβατικά καύσιμα σε καθαρότερες μορφές ενέργειας και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ώστε να επιτευχθούν οι δεσμεύσεις της Συμφωνίας του Παρισιού. Το πακέτο περιλαμβάνει ένα σύνολο 8 νομοθετικών δράσεων για την ενεργειακή αποδοτικότητα κτιρίων, τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, την ενεργειακή απόδοση και σχεδιασμό της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Σχετικά με το σχεδιασμό της λειτουργίας της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, το Πακέτο στοχεύει στην εγκαθίδρυση ενός μοντέρνου σχεδιασμού στην ευρωπαϊκή ηλεκτρική αγορά, υιοθετώντας νέες εμπορικές οντότητες, περισσότερο ευέλικτες στηριζόμενες περισσότερο στους μηχανισμούς της αγοράς και καλύτερα τοποθετημένες στην ενσωμάτωση μεγαλύτερου ποσοστού διείσδυσης των ΑΠΕ.

Επίσης, το Πακέτο έχει ως σκοπό να μεταρρυθμίσει θεμελιακά το ευρωπαϊκό ενεργειακό σύστημα. Στο πλαίσιο αυτής της στρατηγικής κάθε χώρα μέλος της ΕΕ απαιτείται να εκπονήσει και να υιοθετήσει ένα 10-ετές Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (NECP - National Energy and Climate Plans) για την περίοδο 2021-2030. Τα ΕΣΕΚ περιγράφουν πώς οι ευρωπαϊκές χώρες θα επιτύχουν τους στόχους στις παραπάνω κατευθύνσεις της ενεργειακής ένωσης, συμπεριλαμβάνοντας επίσης την πιο μακροχρόνια στρατηγική για το 2050.

Ο νέος σχεδιασμός, περιλαμβάνει δύο νέες Οδηγίες για την ηλεκτρική ενέργεια, την Οδηγία για την ετοιμότητα αντιμετώπισης κινδύνων (Risk Preparedness Directive) και την Οδηγία που προσδίδει πιο δυνατό ρόλο στον Οργανισμό για τη Συνεργασία των Ρυθμιστικών Αρχών Ενέργειας (Agency for the Cooperation of Energy Regulators, -ACER, [36]).

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (European Green Deal)

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, είναι το επίκεντρο των δράσεων της ΕΕ για το κλίμα. Αποτελεί ένα φιλόδοξο πακέτο μέτρων, με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG emissions). Περιλαμβάνει τον Ευρωπαϊκό Κλιματικό Νόμο (European Climate Law), με τον οποίο ο στόχος της κλιματικής ουδετερότητας εντάσσεται στην ευρωπαϊκή νομοθεσία, το **European Climate Pact** που στοχεύει στην ενδυνάμωση της εμπλοκής/συμμετοχής των πολιτών στην ενεργειακή μετάβαση το 2030, το **Climate Target Plan** που στοχεύει σε επιπλέον μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 55% το 2030 σε σχέση με τα επίπεδα εκπομπών του 1990, καθώς και την **Ευρωπαϊκή Στρατηγική** για την Κλιματική Προσαρμογή (EU Strategy on Climate adaptation), που στοχεύει να καταστήσει την Ευρώπη μια κλιματικά ανθεκτική ήπειρο, πλήρως προσαρμοσμένη στις μη αποφευγόμενες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής[37].

«Fit for 55» (Fit for 55 package)

Το πακέτο «Fit for 55» (Fit for 55 package), δημοσιευμένο τον Ιούλιο του 2021, περιλαμβάνει νομοθετικά εργαλεία για να γίνει πραγματικότητα η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία και να επιτευχθούν οι σχετικοί στόχοι του Ευρωπαϊκού Κλιματικού Νόμου. Οι προτάσεις συνδυάζουν: εφαρμογή του Συστήματος Εμπορίας Εκπομπών σε νέους τομείς και αυστηροποίηση του υπάρχοντος Συστήματος Εμπορίας Εκπομπών (ETS – Emissions Trading System), αυξημένη χρήση ΑΠΕ, μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση, επιτάχυνση της εισαγωγής τρόπων στις μεταφορές με χαμηλές εκπομπές και των αναγκαίων υποδομών και καυσίμων για την υλοποίησή τους, ευθυγράμμιση των πολιτικών φορολόγησης με τους σκοπούς του European Green Deal objectives, μέτρα ώστε να αποφευχθεί η διαρροή άνθρακα και εργαλεία ώστε να διατηρηθούν και να μεγαλώσουν οι φυσικές καταβόθρες άνθρακα [38].

4.8.2 Νομοθετικό Ευρωπαϊκό Πλαίσιο

Τα κύρια νομοθετικά κείμενα που αφορούν στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, είναι ο Κανονισμός 2019/943/ EC που αντικαθιστά τον Κανονισμό EC/714/2009 η Οδηγία 2019/944/EC που αντικαθιστά την Οδηγία 2009/72/EC του Τρίτου Ενεργειακού Πακέτου (Third Energy Package[33]). Ο Κανονισμός θέτει τις αρχές για την ενιαία ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, με εστίαση στη χονδρεμπορική αγορά (whole sale market), καθώς και στη λειτουργία των δικτύων και περιέχει διατάξεις για τους Νέους Κώδικες Ηλεκτρισμού (new electricity codes) και κατευθυντήριες γραμμές. Η Οδηγία θέτει κανόνες για την παραγωγή, μεταφορά, διανομή, προμήθεια και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με ιδιαίτερη έμφαση στην ενδυνάμωση του καταναλωτή [34].

Βιβλιογραφία - Κεφάλαιο 4^ο

[1] IPTO. The European Target Model. Available online:

<https://www.admie.gr/en/market/general/description> (accessed on 21 June 2022)]

[2] European Union. Directive 2009/72/EC of the European Parliament and of the Council Concerning Common Rules for the Internal Market in Electricity and

Repealing Directive 2003/54/EC. OJ L 211. 14 August 2009, pp. 55–93. Available online: <https://leap.unep.org/countries/eu/national-legislation/directive-200972ec-european-parliament-and-council-concerning> (accessed on 21 June 2022)

<https://leap.unep.org/countries/eu/national-legislation/directive-200972ec-european-parliament-and-council-concerning> (accessed on 21 June 2022)

[3] European Union. Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council on Common Rules for the Internal Market for Electricity and Amending Directive 2012/27/EU. OJ L 158. 14 June 2019, pp. 125–199. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944> (accessed on 21 June 2022)

[4] European Union. Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council on the Internal Market for Electricity. OJ L 158. 14 June 2019, pp. 54–124. Available, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2019:158:FULL&from=SK> (accessed on 29 June 2022)

[5] European Union. Regulation (EC) No 714/2009 of the European Parliament and of the Council on Conditions for Access to the Network for Cross-Border Exchanges in Electricity and Repealing Regulation (EC) No 1228/2003. OJ L 211. 14 August 2009, pp.15_35.<https://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:211:0015:0035:EN:PDF> (accessed on 21 June 2022)

[6] European Union. Regulation (EC) No 713/2009 of the European Parliament and of the Council Establishing an Agency for the Cooperation of Energy Regulators. OJ L 211. 14 August 2009, pp. 1–14. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R0713&from=EN> (accessed on 21 June 2022)

[7] European Union. Commission Regulation (EU) 2017/2195 Establishing a Guideline on Electricity Balancing. OJ L 312. 28 November 2017, pp. 6–53. Available online:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R2195&from=EN> (accessed on 21 June 2022)

[8] European Union. Commission Regulation (EU) 2017/1485 Establishing a Guideline on Electricity Transmission System Operation. OJ L 220. 25 August 2017, pp. 1–120. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32017R1485> (accessed on 21 June 2022)

[9] European Union. Commission Regulation (EU) 2015/1222 Establishing a Guideline on Capacity Allocation and Congestion Management. OJ L 197. 25 July 2015, pp. 24–72. Available online: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b91aa370-3293-11e5-9f85-01aa75ed71a1> (accessed on 21 June 2022)

[10] European Union. Commission Regulation (EU) 2016/1719 of 26 September 2016 Establishing a Guideline on Forward Capacity Allocation. OJ L 259. 27 September 2016, pp. 42–68. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R1719&from=SV> (accessed on 21 June 2022).

[11] M. Zafeiropoulou, I. Mentis, L. Oikonomou, V. Vita, Forecasting Transmission and Distribution System Flexibility Needs for Severe Weather Condition Resilience and Outage Management, applied sciences, app12147334, MDPI, 2022

[12] Launching OneNet: One Network for Europe. Available online: <https://onenet-project.eu/launching-onenet-one-network-foreurope/> (accessed on 21 June 2022)]

[13] Framework Programmed Horizon 2020, Available online: https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/fundingopportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-2020_en (accessed on 21 June 2022)]

[14] An Integrated Approach to Active System Management; ENTSO-E, EDSO. 2019. Available online:

<https://docstore.entsoe.eu/>

Documents/Publications/Position%20papers%20and%20reports/TSO-DSO_ASM_2019_190416.pdf (accessed on 11 June 2022)

[15] E. Zoulias, V. Vita, M. Zafeiropoulou, I. Mentis, Active System Management Approach for Flexibility Services to the Greek Transmission and Distribution System, *Energies* 2022, 15, 6134, <http://doi.org/10.3990/en15176134>

[16] Ten-Year Network Development Plan; IPTO 2022. Available online: <https://www.admie.gr/en/grid/development/ten-yeardevelopment-plan> (accessed on 11 June 2022)

[17] KU Leuven Energy Institute. EI Fact Sheet: The Current Electricity Market Design in Europe. Available online: https://www.mech.kuleuven.be/en/tme/research/energy_environment/Pdf/ei-factsheet8-eng.pdf (accessed on 21 June 2022).

[18] ACER. European Electricity Forward Markets and Hedging Products—State of Play and Elements for Monitoring. Available online: https://extranet.acer.europa.eu/en/Electricity/Market%20monitoring/Documents_Public/ECA%20Report%20on%20European%20Electricity%20Forward%20Markets.pdf (accessed on 21 June 2022)

[19] KU Leuven Energy Institute. EI Fact Sheet: The Current Electricity Market Design in Europe, Available online: https://www.mech.kuleuven.be/en/tme/research/energy_environment/Pdf/ei-factsheet8-eng.pdf (accessed on 21 June 2022)

[20] Florence School of Regulation. Electricity Markets in the EU. Available online: <https://fsr.eui.eu/electricity-markets-in-the-eu/> (accessed on 28 June 2022)

[21] ENTSO-E: Cross Border Intraday (XBID) Trading Solution Pre-launch Event, Brussels. January 2018. Available online: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjC7ae8Yf5AhXpX_EDHdf9C8AQFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.entsoe.e

u%2FDocuments%2FNetwork%2520codes%2520documents%
2FImplementation%2Fcacm%2Fxbid%2F1st_Go-Live.pptx&usg=AOvVaw0BI3AcJ8_J-
HCQBQJ4bPMI (accessed on 28 June 2022)

[22] Metaxas, A.; Mathioulakis, M.; Lykidi, M. Implementation of the Target Model: Regulatory Reforms and obstacles for the Regional Market Coupling. *Eur. Energy J.* 2019, 8, 24–39. [CrossRef]

[23] Popova, P.P. A Harmonized European Electricity Balancing Market. Incorporation of Congestion Management into Cross-Border Reserve Procurement, 1st ed.; Grin Verlag: Bayern, Germany, 2017

[24] Hellenic Association for Energy Economics (HAEE). Greek Energy Market Report. 2020. Available online: <https://www.haee.gr/FileServer?file=ca430e84-31ec-4fa8-8153-ac3f6eb16b70> (accessed on 28 June 2022)

[25] Liberalization of the electricity market—Arrangement of energy policy issues and other provisions. *J. Greek Gov.* 1999, 1, 5081–5098

[26] Hellenic Association for Energy Economics (HAEE). Greek Energy Market Report. 2020. Available online: <https://www.haee.gr/FileServer?file=ca430e84-31ec-4fa8-8153-ac3f6eb16b70> (accessed on 11 June 2022)

[27] Hellenic Association for Energy Economics (HAEE). Greek Energy Market Report. 2019. Available online: <https://www.haee.gr/media/4858/haees-greek-energy-market-report-2019-upload-version.pdf> (accessed on 11 June 2022)

[28] Law 4001/2011 on “The Operation of Electricity and Gas Energy Markets, for Exploration, Production and Transmission Networks of Hydrocarbons and other provisions”.

Available online: <https://climate-laws.org/geographies/greece/laws/law-4001-2011-on-the-operation-of-electricity-and-gas-energy-markets-for-exploration-production-and-transmission-networksof-hydrocarbons-and-other-provisions> (accessed on 11 June 2022)

[29] Law No. 4512/2018 on Arrangements for the Implementation of the Structural Reforms of the Economic Adjustment Programmes and Other Provisions. Available online: <https://wipolex.wipo.int/en/text/464100> (accessed on 11 June 2022)

[30] KU Leuven Energy Institute. EI Fact Sheet: The Current Electricity Market Design in Europe. Available online:

https://www.mech.kuleuven.be/en/tme/research/energy_environment/Pdf/ei-factsheet8-eng.pdf (accessed on 11 June 2022)

[31] Ocker, F.; Ehrhart, K.-M. The German Paradox in the Balancing Power Markets. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 67, 892–898 [CrossRef]

[32] EU Monitor. Explanatory Memorandum to COM (2016) 861—Internal Market for Electricity 2016, Available online:

https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j4nvhdjdk3hydza_j9vvik7m1c3gyxp/vk9njvls0xzt (accessed on 11 June 2022)

[33] https://ec.europa.eu/energy/topics/markets-and-consumers/market-legislation/electricity-market-design_en?redir=1#the-electricitydirective-and-electricity-regulation

[34] https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans_en

[35] Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ), Δεκαετές Πρόγραμμα Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς 2023-2032, ΕΚΔΟΣΗ 0.2 - ΥΠΟΒΛΗΘΕΝ ΣΤΗ ΡΑΕ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ & ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ, Μάρτιος 2022

[36] https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans_en#electricity-market-design

[37] https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en

[38] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_3541

[39] European Commission, Innovation and Networks Executive Agency (INEA), GRANT AGREEMENT, Number 957739 – OneNet

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΒΟΛΗ

5.1 Συμπεράσματα

Τα τελευταία χρόνια ο ενεργειακός κλάδος έχει αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό, λόγω πολλών παραμέτρων, μιας εκ' των οποίων αποτελούν και οι ΑΠΕ και πιο συγκεκριμένα, η μεγάλη τους διείσδυση στα ενεργειακά δίκτυα. Οι ΑΠΕ, την τελευταία δεκαετία έχουν μπει στο προσκήνιο του ενεργειακού τομέα, καθόσον η κλιματική αλλαγή έχει «αναγκάσει» πολλές κυβερνήσεις – κράτη παγκοσμίως, να αλλάξουν φορά πλεύσης. Βέβαια, στο τελευταίο επιχείρημα της κλιματικής αλλαγής, το Φεβρουάριο του 2022 προστέθηκε και μια άλλη βασική παράμετρος, που δημιούργησε τριγμούς στο ενεργειακό περιεχόμενο τον τελευταίο χρόνο, και δεν είναι καμία άλλη, από την έναρξη των εχθροπραξιών μεταξύ της Ρωσίας – Ουκρανίας.

Η μεγάλη διείσδυση των ΑΠΕ, ανάγκασε τον ενεργειακό κλάδο να προβεί σε σημαντικές μεταρρυθμίσεις, διότι οι διάφορες μορφές των ΑΠΕ (αιολική, ηλιακή, υδροηλεκτρική κ.λπ.) είτε ενσωματώνονται στα ήδη υπάρχοντα συστήματα ισχύος, με κάποια τροποποίησή τους, είτε το δίκτυο επεκτάθηκε για να ενσωματώσει αυτές τις ΑΠΕ.

Στον αντίποδα, ως φυσικό επακόλουθο ήταν η σωστή διαχείριση της επιπλέον παραγόμενης ενέργειας από τις ΑΠΕ. Τα παραγόμενα αυτά ποσά ενέργειας είναι ταυτόχρονα τόσο μεγάλα αλλά και μικρά, λόγω του ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις ΑΠΕ, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες. Επομένως, εξάγεται το συμπέρασμα ότι απαιτούνται συστήματα με ειδικά χαρακτηριστικά, ικανά να διαχειριστούν με τον κατάλληλο τρόπο εκείνα τα παραγόμενα ποσά ενέργειας, προερχόμενα από τις ΑΠΕ. Δηλαδή, απαιτούνται ευέλικτα συστήματα τα οποία μπορούν κάθε χρονική στιγμή να εξισορροπούν τα ποσά ενέργειας μεταξύ προσφερόμενης και ζητούμενης ενέργειας, ώστε να παρέχεται στο δίκτυο ενεργειακή ασφάλεια και σταθερότητα, αποκλείοντας περίπτωση κατάρρευσης.

Στην παραπάνω προσπάθεια εξισορρόπησης μεταξύ της προσφερόμενης και ζητούμενης ενέργειας, μερίδιο συμμετοχής έχουν και όλοι οι εμπλεκόμενοι διαχειριστές ενέργειας [Transmission System Operator - (TSO), Distribution System Operator - (DSO)], καθώς και η απαίτηση χάραξης μιας κοινής ενεργειακής πολιτικής μεταξύ των κρατών.

Από την πλευρά των διαχειριστών ενέργειας, θεωρείται απαραίτητος ο μεταξύ τους συντονισμός, ο οποίος θα επιτρέπει την εύκολη διαβίβαση πληροφοριών μεταξύ τους, ώστε το δίκτυο να είναι κάθε χρονική στιγμή ενεργειακά ενημερωμένο. Από την άλλη πλευρά, η ΕΕ, οι ΗΠΑ και πολλά άλλα κράτη παγκοσμίως, όπως η Κίνα, η Ινδία κ.λπ., έχουν ήδη προβεί στη χάραξη μιας κοινής ενεργειακής πολιτικής για την ταχύτερη ενσωμάτωση των ΑΠΕ στα δίκτυα, έχοντας ως μακροπρόθεσμο στόχο τις επόμενες δεκαετίες την πλήρη απεξάρτηση των συστημάτων ισχύος από τη χρήση των Συμβατικών Μορφών ενέργειας (ορυκτά καύσιμα, πετρέλαιο, φυσικό αέριο).

5.2 Συμβολή – Πρωτοτυπία

Η συμβολή – πρωτοτυπία της διδακτορικής διατριβής συνοψίζεται στα ακόλουθα σημεία:

➤ **Διεξοδική ανάλυση της έννοιας της ευελιξίας στα ηλεκτρικά συστήματα και σφαιρική παρουσίαση όλων των ορισμών, παραμέτρων με ταυτόχρονη δημιουργία ενός αναλυτικού πλάνου εφαρμογής σε διαφορετικές χρονικές περιόδους λειτουργίας και ανάλυσης των ηλεκτρικών συστημάτων.**

Η έννοια του όρου «ευελιξία» στα ηλεκτρικά συστήματα, αποτελεί μια καινοτομία του 21^{ου} αιώνα και είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις ΑΠΕ και ειδικότερα με τη μεγάλη προσπάθεια διείσδυσης αυτών στα συστήματα ισχύος. Υπάρχουν πολλοί ορισμοί που αποδίδουν με μεγάλη ακρίβεια την έννοια του όρου, με τους περισσότερους από αυτούς να κάνουν αναφορά στην *“ικανότητα ενός συστήματος ισχύος να μπορεί να ανταποκρίνεται κάθε χρονική στιγμή τόσο στη ζήτηση όσο και στην προσφερόμενη ηλεκτρική ενέργεια, διατηρώντας το σύστημα σε ισορροπία και παρέχοντας τη μέγιστη ενεργειακή ασφάλεια”*.

➤ **Δημιουργία αναλυτικής χαρτογράφησης των ρόλων που διαδραματίζουν οι διαχειριστές συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας σε περιβάλλοντα με αυξημένη διείσδυση διεσπαρμένων ενεργειακών πόρων (DER' s) παροχής ευελιξίας.**

Οι διαχειριστές συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας [TSO - Transmission System Operator και DSO – Distribution System Operator], ως υπεύθυνοι παράγοντες μεταφοράς και διανομής της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, απαιτείται να συνεργάζονται – συντονίζονται μεταξύ τους, ώστε όλες οι πληροφορίες του δικτύου να γνωστοποιούνται αμφότερα, με σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων [DER – Distributed Energy Resources], την καλύτερη εκμετάλλευση και βελτίωση του δικτύου και βέβαια, όλα αυτά ως απώτερο σκοπό την ενίσχυση - αύξηση της ευελιξίας όλου του συστήματος ισχύος.

➤ **Ανάπτυξη μιας ανάλυσης των υπηρεσιών ευελιξίας για τις διάφορες αγορές (σε Ευρώπη και Αμερική) που παρέχονται είτε σε βραχυπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα είτε σε μακροπρόθεσμο, δίνοντας τη δυνατότητα καλύτερης διαχείρισης των πόρων ανάλογα με τις προκλήσεις που εμφανίζονται.**

Σχεδόν, όλα τα κράτη παγκοσμίως και ιδιαίτερα η ΕΕ και οι ΗΠΑ, χαράζοντας συγκεκριμένες ενεργειακές πολιτικές, επιδιώκουν να ενσωματώσουν τις ΑΠΕ στα δίκτυά τους για πολλούς και διαφόρους λόγους, όπως η προστασία του περιβάλλοντος, η ενεργειακή ασφάλεια κ.λπ.. Για το λόγο αυτό, τα περισσότερα ευρωπαϊκά συστήματα τροποποιούνται, εκμεταλλευόμενα τεράστια αιολικά και ηλιακά πάρκα και αναπτύσσοντας διμερείς ενεργειακές συμφωνίες, που στόχο έχουν την ενεργειακή επάρκεια κάθε χρονική στιγμή. Ακολουθώντας τη συγκεκριμένη πολιτική, τόσο η ΕΕ όσο και οι ΗΠΑ εκτελούν εδώ και χρόνια ερευνητικά προγράμματα (HORIZON2020, OneNet κ.λπ.) με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων και την όσο το δυνατόν γρηγορότερη ενσωμάτωση των ΑΠΕ στα συστήματά τους.

➤ **Διεξοδική ανάλυση των τεχνολογιών που εφαρμόζονται στους αισθητήρες και τα μαθηματικά μοντέλα για υπολογισμό της πραγματικής χωρητικότητας, δυναμικά, κατά τη λειτουργία, ώστε να μεγιστοποιείται ο συντελεστής**

χρησιμοποίησης των γραμμών μεταφοράς, προσφέροντας αυξημένους πόρους ευελιξίας στο κεντρικό δίκτυο.

Λόγω του ότι η θερμική κατάσταση ενός αγωγού μιας γραμμής μεταφοράς, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στοιχείο ασφάλειας του δικτύου, υπάρχουν τεχνολογίες οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα ελέγχου του δικτύου κάθε χρονική στιγμή. Μια τέτοια τεχνολογία είναι γραμμών DLR (Dynamic Line Rating), η οποία μετασχηματίζει το υπάρχον δίκτυο με το μικρότερο οικονομικό κόστος, κάνοντας χρήση ειδικών αισθητήρων και μετρήσεων με αλγορίθμους, με σκοπό τη μεγιστοποίηση του ωφέλιμου κάθε φορά φορτίου που διαρρέει τον αγωγό, τη μείωση της συμφόρησης, τη βελτιωμένη αξιοπιστία και ασφάλεια του δικτύου, την ενσωμάτωση των DER's και εν τέλει τη συνολική βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας του συστήματος.

➤ **Εντοπισμός και ανάλυση σημαντικών παραδειγμάτων πρωτοποριακών συστημάτων αισθητήρων, εγκατεστημένων σε γραμμές μεταφοράς που συλλέγουν πληθώρα μετρήσεων ηλεκτρικών, περιβαλλοντικών και μηχανικών χαρακτηριστικών από τις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης.**

Οι αισθητήρες που τοποθετούνται στις γραμμές μεταφοράς κάνουν χρήση λειτουργικών προγραμμάτων, εκτελώντας κατάλληλους αλγορίθμους με σκοπό να είναι σε θέση να επεξεργάζονται τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, εκτελώντας αυτόματη πρόγνωση καιρού και συνεχή επεξεργασία δεδομένων, αναφορικά με την κατάσταση του αγωγού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ανάπτυξης της τεχνολογίας γραμμών DLR's αποτελεί η Σλοβενία, με την κατασκευή της γραμμής διανομής Kleče – Logatec (KLLO) 110 kV, εγκαθιστώντας δύο μετεωρολογικούς σταθμούς στους πυλώνες της εναέριας γραμμής μεταφοράς (Over Head Line) και τεσσάρων επιπλέον αισθητήρων παρακολούθησης της χωρητικότητας και του φορτίου που διαρρέει τον αγωγό, καθώς και ειδικές κάμερες απεικόνισης της λειτουργικής του κατάστασης. Τέλος, τα συλλεγόμενα δεδομένα από τις εγκατεστημένες συσκευές, επεξεργάζονται και μελετώνται από δύο λειτουργικά προγράμματα, το OLTM smart center σύστημα και το BME's complex grid management model.

➤ **Διατύπωση μιας αναλυτικής χαρτογράφησης των ενεργών καταναλωτών, ανάλογα με τη συνδεσμολογία που έχουν στο δίκτυο, ως prosumers και το ρόλο που διαδραματίζουν στο ηλεκτρικό δίκτυο.**

Οι ενεργοί καταναλωτές (active energy consumers ή prosumers), επενδύουν στις ΑΠΕ και είναι σε θέση να βοηθήσουν στην ενεργειακή μετάβαση της ΕΕ, αυξάνοντας τη συνεισφορά των ΑΠΕ. Ο ρόλος τους (των prosumers) στο δίκτυο είναι πολύ σημαντικός, διότι έχουν την ικανότητα να εξοικονομούν ενέργεια μέσω μέτρων ενεργειακής απόδοσης και ανταπόκρισης από την πλευρά της ζήτησης. Τέλος, ο όρος «prosumer» μπορεί να αναφέρεται σε έναν απλό τοπικό καταναλωτή, ένα πολυκατάστημα ή γραφεία, σχολείο, νοσοκομεία ή μεγάλα εμπορικά καταστήματα.

➤ **Διεξοδική ανάλυση της μαθηματικής μοντελοποίησης του υπολογισμού των πόρων ευελιξίας, μέσω της μαθηματικής βελτιστοποίησης της κατανομής φορτίου και όγκου εφεδρειών, ώστε γίνεται απόλυτα ευκρινές πώς υπολογίζεται η απαιτούμενη ποσότητα εφεδρειών ανάλογα με το βαθμό απροσδιοριστίας της ενέργειας από τις ΑΠΕ και ζήτηση ενέργειας, είτε από βιομηχανίες είτε από απλούς καταναλωτές.**

Ένα δίκτυο ενέργειας αποτελεί σύστημα που έχει ως απαίτηση την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με στόχο την κάλυψη φορτίου. Για να συμβεί αυτό μια συγκεκριμένη ποσότητα, που ονομάζεται εφεδρεία ελέγχου (control reserve), αποθηκεύεται στο σύστημα με ταυτόχρονη κατηγοριοποίηση σημάτων ελέγχου: πρωτεύων, δευτερογενής και τριτογενής έλεγχος. Σε ένα σύστημα ισχύος, ο αυτόματος έλεγχος παραγωγής (AGS – Automatic Generation Control), που αποτελείται από τον πρωτεύοντα και δευτερεύοντα έλεγχο, έχει ως στόχο την εξισορρόπηση της παραγωγής και του φορτίου με το ελάχιστο δυνατό κόστος, με την απόδοση αυτού του ελέγχου να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πόσο γρήγορα και αποτελεσματικά οι μονάδες παραγωγής ανταποκρίνονται στις εντολές.

➤ **Αναφορά – ανάλυση των πρωτοποριακών υπολογιστικών πλατφορμών coordiNET και INTERRFACE που αναπτυχθήκαν στα αντίστοιχα ευρωπαϊκά ερευνητικά προγράμματα που σχετίζονται με το συντονισμό υπηρεσιών δικτύου,**

μεταξύ των διαχειριστών μεταφοράς και διανομής (TSO – DSO), για υπηρεσίες εξισορρόπησης και διαχείρισης συμφόρησης.

Στο πλαίσιο του απαραίτητου συντονισμού των διαχειριστών ενέργειας σε ένα σύστημα ισχύος, με σκοπό την ομαλή του λειτουργία, δύο μεγάλα ερευνητικά προγράμματα, CoordiNET και INTERFACE ήρθαν στο προσκήνιο, έχοντας την ίδια αφετηρία. Τα δύο αυτά προγράμματα «συμφώνησαν» σε μια κοινή συνεργασία με αμφότερη ανταλλαγή δεδομένων, με κύριο σκοπό την προώθηση οικονομικά αποδοτικών μοντέλων για υπηρεσίες δικτύου, την προσφορά τους στο άνοιγμα εσόδων για τους καταναλωτές για την παροχή υπηρεσιών δικτύου και τέλος, την αύξηση συμμετοχής στο δίκτυο των ΑΠΕ.

➤ **Επέκταση σε βάθος των υπηρεσιών εξισορρόπησης και διαχείρισης συμφόρησης, παρουσιάζοντας αναλυτικές διαδικασίες συντονισμού ενεργειών για τη διαχείριση συμφόρησης και εξισορρόπησης, ανάλογα με τις αρμοδιότητες μεταξύ των διαχειριστών τους συστήματος ενέργειας και τους ρυθμιστικούς κανόνες.**

Η Ενεργή Διαχείριση Συστήματος (ASM), αποτελεί σύνολο στρατηγικών και εργαλείων που εκτελούνται και χρησιμοποιούνται από τους διαχειριστές ενέργειας για ασφαλή διαχείριση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Ενσωματώνει τη χρήση και τη βελτίωση των έξυπνων και ψηφιακών δικτύων, των διαδικασιών επιχειρησιακού σχεδιασμού και πρόβλεψης και της ικανότητας ρύθμισης, σε διαφορετικά χρονικά πλαίσια και διαφορετικούς τομείς, της παραγωγής και της ζήτησης που περιλαμβάνουν όργανα ευελιξίας (εργαλειοθήκη) για την αντιμετώπιση προκλήσεων που επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος, διασφαλίζοντας έτσι τη ενσωμάτωση των ΑΠΕ. Κάποιες τεχνικές λύσεις για την αναδιαμόρφωση του δικτύου, λύσεις τιμολογίων, συμφωνιών σύνδεσης, αποτελούν λύσεις για την ανάληψη διαχείρισης και εξισορρόπησης της συμφόρησης του δικτύου, που τυχόν συμβεί.

➤ **Παρουσίαση ενός εκτενούς οδικού χάρτη αξιοποίησης καινοτόμων τεχνολογιών, για τη βελτίωση της ευελιξίας του ηλεκτρικού δικτύου.**

Η απαλλαγή των συστημάτων ισχύος από τη χρήση άνθρακα, αποτελεί τα τελευταία χρόνια υψίστης σημασίας στόχος. Βέβαια, αυτό απαιτεί την εύκολη και γρήγορη διείσδυση των ΑΠΕ, κάτι που απαιτεί σύγχρονα εξισορροπημένα δίκτυα ικανά να διαχειρίζονται με επιτυχία τη συμφόρηση που τυχόν προκύψει από τα μεγάλα ποσά ενέργειας, προερχόμενα από τις ΑΠΕ. Λόγω της μεταβλητότητας των ΑΠΕ και για την διασφάλιση της σταθερότητας του συστήματος, οι διαχειριστές ενέργειας απαιτείται να κάνουν ακριβείς προβλέψεις. Πολλά είναι τα χρηματοδοτούμενα προγράμματα που έχουν στόχο αυτή την ενσωμάτωση. Ένα από αυτά αποτελεί, όπως έχει προαναφερθεί, το Project OneNet που εκτυλίχθηκε και στον Ελλαδικό χώρο. Μια πλατφόρμα αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στις περιοχές της Πελοποννήσου και Κρήτης, διασυνδέοντας την Κρήτη με την ηπειρωτική Ελλάδα. Έτσι, το νησί της Κρήτης διασυνδέθηκε πρόσφατα με την ηπειρωτική Ελλάδα και κατ' επέκταση σε ένα πανευρωπαϊκό διασυνδεδεμένο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, αρκετά ερευνητικά έργα με συμμετοχή του ΑΔΜΗΕ, έλαβαν χώρα την τελευταία περίοδο. Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου FLEXITRANSTORE, που χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, δοκιμάστηκε ένας σταθμός αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στον Υ/Σ Αισύμης, ο οποίος αποτελείται από μια συστοιχία μπαταριών ιόντων λιθίου, ονομαστικής ισχύος 2MW και ονομαστικής ενέργειας 2MWh, σε συνδυασμό με ένα προηγμένο σύστημα ελέγχου. Επίσης, εγκαταστάθηκε και δοκιμάστηκε στη Μεγαλόπολη μια κινητή μονάδα ελέγχου ροής ισχύος. Η κινητή μονάδα ελέγχου ροής ισχύος, κατευθύνει ισχύ από περισσότερο σε λιγότερο φορτισμένες γραμμές. Τέλος, στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου FARCROSS, εγκαταστάθηκαν δύο πλήρως λειτουργικά συστήματα DLR, στη γραμμή διασύνδεσης Ελλάδας-Βουλγαρίας (Θεσσαλονίκη - Μπλαγκόεβγκραντ).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

Ξενόγλωσσες

DSO:	Distribution System Operator
TSO:	Transmission System Operator
DER:	Distributed Energy Resources
VPP:	Virtual Power Plant
ISO:	Independent System Operator
DG:	Distributed Generation
DP:	Demand Response
ICT:	Information and Communication Technology
ELSA:	Energy Local Storage Advanced System
EBGL:	European Balancing Guidelines
DLR:	Dynamic Line Rating
SLR:	Static Line Rating
OL:	Overhead Line
REMIT:	Regulation on Wholesale Energy Market Integrity and Transparency
EMIR:	EM Infrastructure Regulation
MIFID:	Market in Financial Instruments Directive
MAR:	Market Abuse Regulation
NEMO:	Nominated Electricity Market Operator
FRR:	Frequency Restoration Reserve
RR:	Replacement Reserve
TYNDP:	Ten Year Network Development Plan
SO:	System Operator
BUC:	Business Use Case
FRO:	Flexibility Register Operator
MO:	Market Operator
FSP:	Flexibility Service Providers
ENTSO:	European Network of Transmission System Operator
VRE:	Variability Renewable Energy

MNRSP: Ministry of Natural Resources and Spatial Planning

BESS: Battery Energy Storage

IEA: International Energy Agency

RES: Renewable Energy Sources

CHP: Combined Heat Power

AGC: Automatic Generation Control

IEGSA: Intercorporate European Grid Architecture

HEMRM: Harmonized Electricity Market Role Model

HETS: Hellenic Electricity Transmission System

FSP: Flexibility Service Providers

NECP: National Energy and Climate Plans

ACER: Agency for the Cooperation of Energy Regulators

ETS: Emissions Trading System

NEO: New Energy Outlook

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β - ΕΙΚΟΝΕΣ

- Εικόνα 1:** Διορθωτικές ενέργειες για διαφορετικά χρονικά διαστήματα
- Εικόνα 2:** Κατανεμημένοι Ενεργειακοί Πόροι - Distributed Energy Sources
- Εικόνα 3:** Συμβατικά σενάριο συστήματος ισχύος vs μελλοντικό σενάριο συστήματος ισχύος με τη συμμετοχή κατανεμημένων ενεργειακών πόρων (DER' s)
- Εικόνα 4:** Πλεονεκτήματα του νέου ρόλου των DSOs
- Εικόνα 5:** Ο νέος ρόλος των διαχειριστών διανομής ενέργειας (DSOs)
- Εικόνα 6:** Διάταξη ενός έξυπνου δικτύου
- Εικόνα 7:** Σύστημα κατανεμημένης ενέργειας
- Εικόνα 8:** Στόχοι κρατών – μελών της Ε.Ε για την ανάπτυξη ΑΠΕ σε κράτη – μέλη της Ε.Ε
- Εικόνα 9:** Εγκατεστημένη ισχύς στη Γερμανία σύμφωνα με τον φορέα πρωτογενούς ενέργειας το 1999 (αριστερά) και το 2011 (δεξιά)
- Εικόνα 10:** Η ωριαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προερχόμενη από φωτοβολταϊκά και αιολικά πάρκα σε διάστημα 3 ετών
- Εικόνα 11:** Ανάλυση ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας
- Εικόνα 12:** Καθημερινό ωριαίο προφίλ ζήτησης, 2040
- Εικόνα 13:** Τα πρότυπα χαρτοφυλακίου ΑΠΕ απαιτούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες με τη σειρά τους απαιτούν μεγαλύτερη ευελιξία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας
- Εικόνα 14:** Απεικόνιση Sag
- Εικόνα 15:** Η μεταβλητότητα των παραγόντων που επηρεάζουν την αξιολόγηση της γραμμής μεταφοράς
- Εικόνα 16:** Sketch of Sag (S) and Clearance (C) ενός εναέριου αγωγού γραμμής μεταφοράς
- Εικόνα 17:** Κοινές βιομηχανικές προσδοκίες
- Εικόνα 18:** Μετρήσεις θερμοκρασίας αγωγού και ρεύματος γραμμής για διάστημα 6 ωρών
- Εικόνα 19:** Ρεύμα σταθερής κατάστασης που απαιτείται για τη θέρμανση του αγωγού στους 50 και 80 °C σε διαφορετικές συνθήκες περιβάλλοντος
- Εικόνα 20:** Εγκατάσταση συσκευών OLTM στην γραμμή μεταφοράς Kleče – Logatec
- Εικόνα 21:** Απαιτούμενος εξοπλισμός μέτρησης κοντά στην περιοχή της γραμμής μεταφοράς κατά την εφαρμογή της τεχνολογία DLR, με την χρήση αισθητήρων

- Εικόνα 22:** Ταξινόμηση τεχνολογιών αποθήκευσης κατά τύπο ενέργειας
- Εικόνα 23:** Μοντέλα ενεργών καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας (prosumers)
- Εικόνα 24:** Μοντέλα ενεργών καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας (prosumers)
- Εικόνα 25:** Ισχύ εξόδου γεννήτριας που συμμετέχει στην διαδικασία του αυτόματου ελέγχου (AGC) και τις εφεδρείες σε κανονικές συνθήκες (Normal Conditions) και συνθήκες (N- 1 Conditions)
- Εικόνα 26:** Συνολική αρχιτεκτονική εξισορρόπησης ισχύος συστήματος που βασίζεται στο AGC
- Εικόνα 27:** Τοποθεσίες εφαρμογής Project COORDINET
- Εικόνα 28:** Υπηρεσίες δικτύου προγράμματος COORDINET
- Εικόνα 29:** Έλεγχος τάσης - Μοντέλο αγοράς πολλαπλών επιπέδων
- Εικόνα 29:** Έλεγχος τάσης - Μοντέλο αγοράς πολλαπλών επιπέδων
- Εικόνα 30:** Επιλογές αγοράς για το Project COORDINET
- Εικόνα 31:** Υπηρεσίες ευελιξίας
- Εικόνα 32:** Συνολική διαδικασία διαχείρισης συμφόρησης
- Εικόνα 33:** Preparatory phase – Initial grid pre-qualification
- Εικόνα 34:** Φάση Αγοράς
- Εικόνα 35:** Απεικόνιση φάσης παρακολούθησης και ενεργοποίησης
- Εικόνα 36:** Οι διασυνδέσεις AC και DC της Κρήτης με την Ηπειρωτική χώρα
- Εικόνα 37:** Οι διαφορετικές ευρωπαϊκές αγορές ενέργειας
- Εικόνα 38:** Εξισορροπημένη αγορά αποθήκευσης (The Balancing Reserve Market)
- Εικόνα 39:** Υπηρεσίες υπό τη νέα δομή της αγοράς ενέργειας στην Ελλάδα
- Εικόνα 40:** Σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας εγκατεστημένο στον Υ/Σ Αισύμης
- Εικόνα 41:** Μονάδα ελέγχου Ροής Ισχύος στο ΚΥΤ Μεγαλόπολης
- Εικόνα 42:** Δύο ολοκληρωμένα συστήματα DLR στη γραμμή διασύνδεσης Ελλάδας-Βουλγαρίας
- Εικόνα 43:** Αρχιτεκτονική ενός Συστήματος Μέτρησης, Προστασίας και Ελέγχου Ευρείας Περιοχής