



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

SMART GRIDS

*Η εξέλιξη της Δομής και Λειτουργίας του Ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας
προς τα Ευφυή Δίκτυα*

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Π. ΜΟΥΤΣΙΝΑΣ

Επιβλέπων:

Γεώργιος Σταμούλης, Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Βόλος, Ιούλιος 2015

Ευχαριστίες

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία ξεκίνησε υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Γεώργιου Σταμούλη και ολοκληρώθηκε στο διάστημα 01/2014-07/2015. Γι αυτό το λόγο θα ήθελα να τον ευχαριστήσω ιδιαίτερα που μου έδωσε την ευκαιρία και το κίνητρο να συγγράψω μία διπλωματική για τον τομέα της Ενέργειας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον βοηθό καθηγητή κ. Ιωάννη Ξιφαρά για την αμέριστη βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής, για τις συμβουλές, την καθοδήγηση και την τελική επιμέλεια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το «Έξυπνο Δίκτυο» αναφέρεται στην προσπάθεια εκσυγχρονισμού του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου και τη μετατροπή του σε ένα μοντέρνο, διαλειτουργικό δίκτυο που θα ενσωματώνει τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών στην υποδομή διανομής ενέργειας. Κύριο γνώρισμα της λειτουργίας του αποτελεί η αμφίδρομη ροή τόσο της ενέργειας όσο και των πληροφοριών.

Τα έξυπνα χαρακτηριστικά του, που εντοπίζονται σε όλα τα στάδια - από την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή έως την κατανάλωση και την εμπορία ενέργειας - θα καταστήσουν το δίκτυο πιο αποδοτικό, εύρωστο, φιλικό προς το περιβάλλον και εύκολα διαχειρίσιμο, ενώ ταυτόχρονα διευκολύνεται η παρακολούθηση και ο έλεγχος σε όλα τα συστατικά στοιχεία του δικτύου.

Τα ευεργετικά χαρακτηριστικά του έξυπνου δικτύου, κύριος εκφραστής των οποίων αποτελεί ο έξυπνος μετρητής, συμβάλλουν στη βέλτιστη αξιοποίηση ηλεκτρικής ενέργειας τόσο στην πλευρά της παραγωγής όσο και στην πλευρά της κατανάλωσης. Εισάγοντας τις νέες τεχνολογίες επικοινωνιών και πληροφορικής σε καίρια σημεία του δικτύου, επιτυγχάνεται η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και η ενεργητικότητα των καταναλωτών στο σενάριο λειτουργίας του έξυπνου δικτύου. Ωστόσο, η ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών, ειδικά αυτών που σχετίζονται με το Διαδίκτυο, ίσως εισάγουν νέες απειλές για την ασφάλεια του έξυπνου δικτύου.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα Έξυπνα Δίκτυα και μια προσπάθεια ορισμού τους. Αναφέρονται οι κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίζει το σημερινό δίκτυο οι οποίες πιέζουν προς τον εκσυγχρονισμό του και αναλύονται τα χαρακτηριστικά που καλείται να έχει το μελλοντικό δίκτυο. Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά τις τεχνολογίες επικοινωνιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο Έξυπνο Δίκτυο. Περιγράφονται οι προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται από τα συστήματα επικοινωνιών και εξετάζονται οι τεχνολογίες, ασύρματες και ενσύρματες, που μπορούν να εφαρμοστούν σε εφαρμογές Έξυπνου Δικτύου. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται εκτενέστερη αναφορά στην τεχνολογία PLC, η οποία είναι αναδυόμενη και κερδίζει συνεχώς το ενδιαφέρον.

Λόγω της μεγάλης σημασίας των Smart Grids, αυτή η έρευνα διερευνά διεξοδικά τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται. Συγκεκριμένα, έχουμε τρία μεγάλα τεχνικά συστήματα στην SG: το έξυπνο σύστημα υποδομών, το έξυπνο σύστημα διαχείρισης, και το έξυπνο σύστημα προστασίας. Έχουμε σκιαγραφήσει τις προκλήσεις και μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις που αξίζει να εξεταστούν για το καθένα από

αυτά τα τρία συστήματα. Έχουμε χωριστεί περαιτέρω την έξυπνη υποδομή σε τρία υποσυστήματα: το έξυπνο υποσύστημα ενέργειας, το έξυπνο υποσύστημα πληροφορίας, και η έξυπνη υποσύστημα επικοινωνίας.

Για το έξυπνο υποσύστημα ενέργειας, έχουμε επανεξεταστεί την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μεταφοράς και διανομής. Για το έξυπνο υποσύστημα πληροφορίας, έχει αναθεωρηθεί η διαδικασία της μέτρησης καθώς και της διαχείρισης. Για το έξυπνο υποσύστημα επικοινωνίας, έχουμε ομοίως εξετάσει τις ασύρματες και ενσύρματες τεχνολογίες της επικοινωνίας, καθώς και τη διαχείριση της επικοινωνίας end-to-end. Για το έξυπνο σύστημα διαχείρισης, οι περισσότερες από τις υπάρχον έρευνες στοχεύουν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, το προφίλ της ζήτησης, το βοηθητικό πρόγραμμα, το κόστος και τις εκπομπές, με βάση την έξυπνη υποδομή μέσω της βελτιστοποίησης, μηχανικής μάθησης, και τη θεωρία παιγνίων. Για το έξυπνο σύστημα προστασίας, έχουμε αναθεωρήσει τις εργασίες που σχετίζονται με την αξιοπιστία του συστήματος, το μηχανισμό προστασίας και αποτυχίας, την ασφάλεια και την προστασία των προσωπικών δεδομένων.

Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι η προηγμένη υποδομή που χρησιμοποιείται στα SG αφενός μας δίνει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουμε πιο ισχυρούς μηχανισμούς για την υπεράσπιση ενάντια στις επιθέσεις προκειμένου να χειρίζονται τις αποτυχίες, αλλά από την άλλη πλευρά, εκθέτει σε πολλές νέες ευπάθειες. Πιο εμπεριστατωμένη έρευνα για το έξυπνο σύστημα προστασίας είναι επιθυμητή.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ

Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, ΣΗΕ, Ηλεκτρικό δίκτυο, Έξυπνο δίκτυο, Έξυπνοι μετρητές, ασφάλεια, προστασία προσωπικών δεδομένων, μοντελοποίηση δεδομένων, βύθιση τάσης, φορτίο αιχμής, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ασύρματες επικοινωνίες, ενσύρματες επικοινωνίας, αισθητήρες, ηλεκτρικά αυτοκίνητα, μικροδίκτυο, μακροδίκτυο, απομονωμένο μικροδίκτυο

ABSTRACT

Smart grid generally refers to the modernization of the existing aging power grid, turning it into a modern, interoperable network that integrates information and communication technologies in the energy distribution infrastructure. Bidirectional flow of both energy and information is its main feature. The smart characteristics, evident at all stages -from production, transmission and distribution to consumption as well as pricing of energy- will render the network more efficient, robust, environmental-friendly and manageable, while facilitating the monitoring and control of all components of the grid.

The beneficial features of the smart grid, whose main representative is the smart meter, contribute to the optimal use of electricity in both the production side and consumption side. Introducing the new communications and information technologies at key points in the network achieved the integration of renewable energy and the energy consumer in the scenario of operation of the smart grid. However, integration of new technologies, especially those related to the Internet, may introduce new security threats to the smart grid.

The first chapter is an introduction to Smart Grid and its definition. The main challenges today's grid is facing, which are pressing towards its modernization, are mentioned and its required features are analyzed. The second chapter covers the communication technologies that can be used in a Smart Grid. It describes the conditions that must be met by the communication systems and examines the wired and wireline technologies that can be applied in smart grid applications. The third chapter is an extensive reference to PLC, an emerging technology that gains more and more attention.

Due to the potential importance of SG, this survey comprehensively explores the technologies used in SG. We have surveyed three major technical systems in SG: the smart infrastructure system, the smart management system, and the smart protection system. We have outlined challenges and future research directions worth exploring for each of these three systems. We further divided the smart infrastructure into three subsystems: the smart energy subsystem, the smart information subsystem, and the smart communication subsystem.

For the smart energy subsystem, we have reviewed the work on power generation, transmission, and distribution. For the smart information subsystem, we have reviewed the work on information metering, measurement, and management. For the smart communication subsystem, we have reviewed the wireless and wired communication technologies, and the end-to-end communication management. For the smart management system, most of the existing works aim to improve energy

efficiency, demand profile, utility, cost, and emission, based on the smart infrastructure by using optimization, machine learning, and game theory. For the smart protection system, we have reviewed the work related to system reliability, failure protection mechanism, security and privacy in SG.

However, we must note that the advanced infrastructure used in SG on one hand empowers us to realize more powerful mechanisms to defend against attacks and handle failures, but on the other hand, opens up many new vulnerabilities. More thorough research on the smart protection system is desirable.

KEY WORDS

Smart grid, smart meters, risks, attacks, security, privacy, data modeling, demand profile shaping, wireless communications, peak to average ratio, ad hoc network, blackout, renewable sources, electric grid, sensor, phasor, virtual power plant, microgrid, macrogrid, islanded microgrid

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ	4
ABSTRACT	5
KEY WORDS	6
Κεφάλαιο 1^ο	9
1.1 Ιστορική Αναδρομή της Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα	9
1.2 Ebasco: «Ελντοράντο» του εξηλεκτρισμού	10
Κεφάλαιο 2^ο	12
2.1 Η Δομή του παρόντος ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας	12
2.2 Το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ)	23
2.3 Το Δίκτυο Διανομής της Ηλεκτρικής Ενέργειας	26
Κεφάλαιο 3^ο	28
3.1 Ρυθμιστικοί Φορείς της Λειτουργίας και Αγοράς του ΕΣΜΗΕ	28
3.2 Λειτουργία του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς.....	32
3.3 Λειτουργία στα Δίκτυα Διανομής	39
3.4 Μειονεκτήματα του Ελληνικού Συστήματος	44
Κεφάλαιο 4^ο	46
4.1 Περιγραφή Έξυπνου Δικτύου (Smart Grid)	46
4.2 Βασικά χαρακτηριστικά των Smart Grids.....	48
4.3 Η Δομή του Smart Grid	50
Κεφάλαιο 5^ο	85
5.1 Σύνοψη & Μελλοντική Εξέλιξη των Smart Grids	85
5.2 Έξυπνα Δίκτυα με ΑΠΕ άλλων χωρών	88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	89

Κεφάλαιο 1^ο

1.1 Ιστορική Αναδρομή της Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ελλάδα

Είναι αδιαμφισβήτητο ότι η εμφάνιση του ηλεκτρισμού οδήγησε στη δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση. Ο ατμός, το πετρέλαιο και το φωταέριο αντικαταστήθηκαν από αυτήν τη νέα μορφή ενέργειας και οι συνθήκες παραγωγής άλλαξαν ριζικά. Η ηλεκτρική ενέργεια προσέφερε μεγάλη ασφάλεια, οικονομία, υψηλή ποιότητα και ταυτόχρονα μικρότερη μόλυνση του περιβάλλοντος. Ο μικρός και ευέλικτος σχεδιασμός των ηλεκτροκινητήρων συνέβαλαν ώστε να επιλεχτεί μια νέα παραγωγική δομή στα εργοστάσια. Όμως όταν η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας άρχισε να γίνεται ευρύτερη, η βιομηχανία αλλά και οι ίδιες οι πόλεις πήραν νέα μορφή.

Η αντίληψη ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι ένα κοινωνικό αγαθό χρειάζεται μια 60ετία για να παγιωθεί, όσο διάστημα δηλαδή μεσολάβησε από τον πρώτο μικρό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος της Γενικής Εταιρείας Εργοληψιών μέχρι την ίδρυση της ΔΕΗ το 1950. Ένα διάστημα στο οποίο οι μικρές ιδιωτικές και δημοτικές εταιρείες, ανά την επικράτεια, έχουν αναλάβει την παραγωγή του, διατηρώντας την οικιακή κατανάλωση σε χαμηλά επίπεδα, καθώς η τιμή του είναι ιδιαίτερα υψηλή, και η ποιότητα του είναι αρκετά χαμηλή.

Αναλυτικότερα, το 1889, έκανε την εμφάνιση του στην Ελλάδα ο ηλεκτρισμός και η «Γενική Εταιρεία Εργοληψιών» ήταν αυτή που δημιούργησε την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στα επόμενα όμως χρόνια, από το 1924 έως το 1927, πεδίο οικονομικών ανταγωνισμών και πολιτικών κρούσεων αποτέλεσε η ηλεκτροδότηση της Αθήνας. Μια εποχή που επίσης προσέλκυσε και το ενδιαφέρον ξένων ομίλων, με νικητή τον αγγλικό όμιλο **Power and Traction Finance Company Ltd**, ο οποίος αργότερα ίδρυσε και την **Ηλεκτρική Εταιρεία Αθηνών-Πειραιώς (ΗΕΑΠ)** που εξελίχθηκε στην μεγαλύτερη ηλεκτρική εταιρεία της χώρας πριν από την ίδρυση της ΔΕΗ. Οι πολυεθνικές εταιρείες, δέκα χρόνια μετά αρχίζουν να καταφθάνουν στην Ελλάδα, με την αμερικάνικη εταιρεία Thomson-Houston σε συνεργασία με την Εθνική Τράπεζα να ιδρύει την «**Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρεία**» που καθορίζεται υπεύθυνη για την ηλεκτροδότηση των μεγάλων πόλεων της χώρας. Έτσι, σχεδόν 250 πόλεις με πληθυσμό άνω των 5.000 κατοίκων μέχρι το 1929 έχουν ηλεκτροδοτηθεί.

Μέχρι το έτος 1950 στην Ελλάδα είχαν δημιουργηθεί περί τις 400 εταιρείες

παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το πετρέλαιο και ο γαιάνθρακας, εισαγόμενα από το εξωτερικό, χρησιμοποιούνταν ως πρώτες ύλες καυσίμων. Ενώ ο διαχωρισμός της παραγωγής σε πολλές μικρές μονάδες, συμπεριλαμβανομένου των παραπάνω εισαγόμενων καυσίμων, συντελούσε στην προσαύξηση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, μέχρι και σε πενταπλάσιο βαθμό από τις ισχύουσες τιμές των άλλων ευρωπαϊκών χωρών.

Στις 20 Ιουλίου του 1950 έκανε την είσοδο της η αμερικανική εταιρεία Ebasco, η οποία υπέγραψε σύμβαση με την ελληνική κυβέρνηση, αναλαμβάνοντας την ανάπτυξη και λειτουργία εθνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Λίγες μέρες αργότερα, στις 7 Αυγούστου, ιδρύθηκε η ΔΕΗ. Κατά την πρώτη 20ετία ανάπτυξης της ΔΕΗ, κατευθυντήριοι άξονες τόσο για τα ενεργειακά προγράμματα όσο και για την τιμολογιακή πολιτική της επιχείρησης υπήρξε η παραγωγή άφθονης και φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2 Ebasco: «Ελντοράντο» του εξηλεκτρισμού

Η Ebasco επίσης, στα πλαίσια του πρώτου ενεργειακού προγράμματος που εκπονήθηκε την περίοδο 1951-1955, είχε αναλάβει την ευθύνη οργάνωσης και λειτουργίας της ΔΕΗ, με κονδύλια του δημοσίου προϋπολογισμού και του Σχεδίου Marshall, καθώς και κεφάλαια προερχόμενα από τις ιταλικές πολεμικές αποζημιώσεις. Ο ατμοηλεκτρικός σταθμός του Αλιβερίου, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί του Λούρου, του Άγρα και του Λάδωνα καθώς και η κατασκευή γραμμών μεταφοράς για την διασύνδεση όλων των παραπάνω σταθμών ήταν από τα βασικά έργα του πρώτου προγράμματος.

Ενώ το δεύτερο ενεργειακό πρόγραμμα που εφάρμοσε η ελληνική πλέον διοίκηση της ΔΕΗ, κατόπιν λήξεως της σύμβασης με την Ebasco- τον Ιούλιο του 1955, οριστικοποίησε την οργάνωση και μορφή της εκμετάλλευσης παραγωγής και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, τέθηκαν σε λειτουργία ο ατμοηλεκτρικός σταθμός Πτολεμαΐδας και ο υδροηλεκτρικός σταθμός Ταυρωπού. Μέχρι το 1960, μέσα σε μια δεκαετία λειτουργίας της ΔΕΗ, εκτός από τα θερμοηλεκτρικά και υδροηλεκτρικά εργοστάσια παραγωγής, κατασκευάστηκαν χιλιάδες χιλιόμετρα γραμμών μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και πλήθος υποσταθμών μετασχηματισμού του ρεύματος.

Παρόλα αυτά, βασικός πυλώνας του εξηλεκτρισμού όλης της χώρας υπήρξε το μεγάλο έργο των εξαγορών. Το 1956 η ΔΕΗ ορίστηκε ως μοναδικός φορέας για την παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας και ανέλαβε την εξαγορά των υφιστάμενων τοπικών ηλεκτρικών εκμεταλλεύσεων και την εφαρμογή ενιαίου χαμηλού τιμολογίου σε ολόκληρη τη χώρα. Το έργο των εξαγορών ξεκίνησε το 1956 και ολοκληρώθηκε το 1968, με την εξαγορά και της τελευταίας ηλεκτρικής εταιρείας, του «Γλαύκου» της Πάτρας.

Έτσι, η ιστορία της πρώτης περιόδου του εξηλεκτρισμού αποτυπώνεται στο παλαιότερο αρχειακό υλικό της Επιχείρησης, στα Αρχεία των Εξαγορών Ηλεκτρικών Εταιρειών, αφού η ΔΕΗ, εκτός της δικής της πεντηκονταετούς και πλέον ιστορίας, είναι φυσικός κληρονόμος και της προγενέστερης ιστορίας μετά την εξαγορά από την ίδια όλων των ιδιωτικών ηλεκτρικών επιχειρήσεων. Επιπλέον, τα αρχεία ηλεκτροδοτήσεων των νοικοκυριών και των μεγάλων πελατών (βιομηχανικών, μεγάλων επιχειρήσεων κ.ά.) από το 1954, αλλά και τα αρχεία της προόδου του εξηλεκτρισμού της υπαίθρου (1967-1994) είναι μοναδικού ενδιαφέροντος όχι μόνο για την ιστορία της ΔΕΗ, αλλά και για την οικονομική και κοινωνική ιστορία της χώρας.

Το 1970 η ΔΕΗ είχε πλέον κατορθώσει να δημιουργήσει ένα εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης όλης της χώρας και να προσφέρει ισότιμα σε όλους πρόσβαση στο ηλεκτρικό ρεύμα. Το γεγονός αυτό, εκτός από τεχνικό επίτευγμα και σημαντικό στάδιο ανάπτυξης του δημόσιου τομέα, αποτέλεσε και το πρώτο ολοκληρωμένο δίκτυο υλικοτεχνικής υποδομής που ενσωμάτωνε το σύνολο του πληθυσμού της επικράτειας.

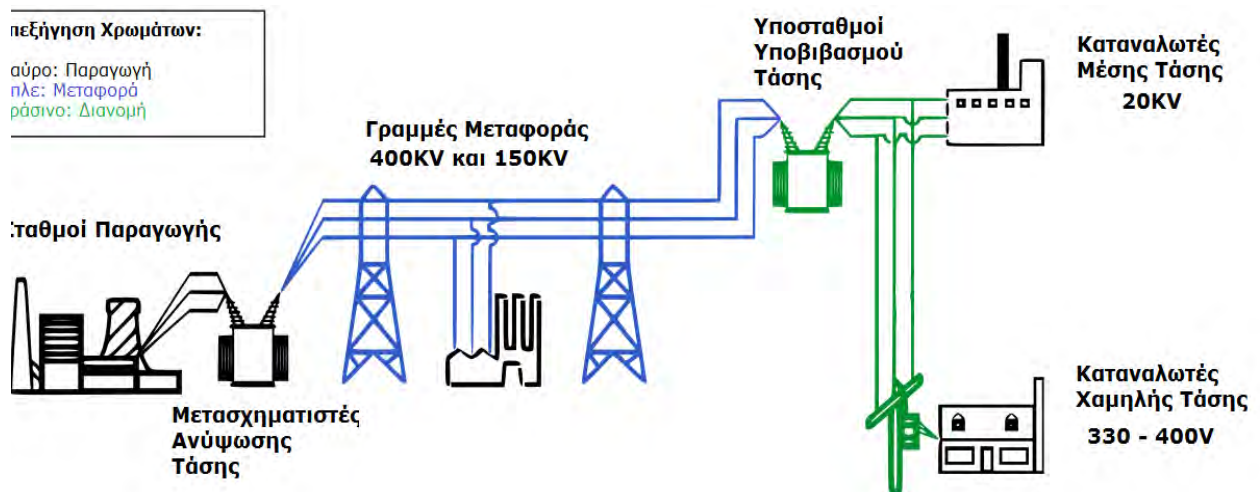
Καθώς τα μεγάλης κλίμακας έργα απαιτούσαν τεχνογνωσία που ξεπερνούσε κατά πολύ τις δυνατότητες της ελληνικής οικονομίας και κοινωνίας, δεν είναι υπερβολικό να πούμε ότι στη διάρκεια των δύο πρώτων δεκαετιών της λειτουργίας της η ΔΕΗ αποτέλεσε το σημαντικότερο εκπαιδευτικό εργαστήριο της μεταπολεμικής Ελλάδας.

«Τότε ήταν η εποχή του Ελντοράντο του εξηλεκτρισμού. Τα δίκτυα επεκτεινόταν με μεγάλη ταχύτητα. Πρωτοποριακό για την Ελλάδα. Συνέχεια η μία πόλη μετά την άλλη συνδεόταν. Έγινε και η εξαγορά των τοπικών επιχειρήσεων, ο κόσμος μας έβλεπε λίγο-πολύ ως αστροναύτες που του φέρνανε ρεύμα!» (Ιστορικό Αρχείο ΔΕΗ, Αρχείο Προφορικών Μαρτυριών).

Κεφάλαιο 2^ο

2.1 Η Δομή του παρόντος ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας

Από την ανάλυση του παρακάτω σχήματος είναι εμφανές ότι η αρχική ενέργεια που παράγεται από τα εργοστάσια ενισχύεται μέσω των μετασχηματιστών ανύψωσης τάσης για την μεταφορά της στο δίκτυο μεταφοράς. Το δίκτυο μεταφοράς στέλνει την ενέργεια, μέσω των γραμμών μεταφοράς και μεγάλων αποστάσεων, στους υποσταθμούς. Κατά την μεταφορά της όμως στους υποσταθμούς, η τάση της θα υποβιβαστεί (σε voltage) από το επίπεδο μεταφοράς στο αντίστοιχο επίπεδο διανομής. Ενώ την στιγμή που εξέρχεται από τους υποσταθμούς, εισέρχεται στο δίκτυο διανομής. Τελικά κατά την άφιξη της, στην εκάστοτε τοποθεσία χρήσης, η τάση υποβιβάζεται και πάλι από το επίπεδο διανομής στο αντίστοιχο απαιτούμενο επίπεδο τάσης προς χρήση.



Σχήμα 2.1: Απεικόνιση του διαχωρισμού της παραγωγικής διαδικασίας του Ελληνικού Δικτύου. [1]

Η βασική δομή των υπάρχοντων ηλεκτρικών δικτύων βασίζεται κυρίως σε μεγάλους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής οι οποίοι συνδέονται με συστήματα μεταφοράς υψηλής τάσης (ΥΤ) τα οποία στην συνέχεια συνδέονται με συστήματα μέσης (ΜΤ) και χαμηλής τάσης (ΧΤ). Σε αντίθεση με τον τομέα της παραγωγής όπου υπάρχουν αρκετοί εμπλεκόμενοι ιδιώτες, τη διανομή και τη μεταφορά έχουν

αναλάβει αποκλειστικά δημόσιοι φορείς.

Συγκεκριμένα, ύστερα από τον διαχωρισμό της ΔΕΗ Α.Ε, προέκυψαν δύο 100% θυγατρικές της εταιρείες, ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε) και ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.). Η πρώτη έχει την ευθύνη για τη διαχείριση, ανάπτυξη, λειτουργία και συντήρηση του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας, ενώ η δεύτερη έχει την ευθύνη της διαχείρισης, λειτουργίας, ανάπτυξης και συντήρησης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και των διασυνδέσεών του. Την διαχείριση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.), με στόχο την ανάπτυξη του κλάδου, έχει αναλάβει η ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε. ως 100% θυγατρική εταιρεία της ΔΕΗ Α.Ε.

Η ΔΕΗ Α.Ε. κατέχοντας περίπου το 75% της εγκατεστημένης ισχύος των θερμοηλεκτρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην ηπειρωτική Ελλάδα (στοιχεία 2013), συμπεριλαμβάνοντας στο ενεργειακό της μείγμα λιγνιτικούς, υδροηλεκτρικούς, πετρελαϊκούς σταθμούς, σταθμούς φυσικού αερίου, καθώς και μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), δραστηριοποιείται ως Παραγωγός και είναι ο κύριος Προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας στην ελληνική αγορά και είναι ο 2ος μεγαλύτερος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

2.1.1 Η Παραγωγή Ενέργειας στο Ελληνικό Ηλεκτρικό Δίκτυο

Η ηλεκτροπαραγωγή κατατάσσεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το είδος των πηγών ενέργειας που χρησιμοποιεί. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- Η ηλεκτροπαραγωγή από **Συμβατικά καύσιμα** (θερμοηλεκτρικοί, ατμοηλεκτρικοί σταθμοί κ.τ.λ.), η οποία χρησιμοποιεί σαν πηγή ενέργειας ορυκτά στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα, τα οποία έχουν σχηματιστεί σε παλαιότερες γεωλογικές περιόδους και βρίσκονται αποθηκευμένα στο υπέδαφος, σε μικρότερα ή μεγαλύτερα βάθη σε πεπερασμένες, μη ανανεώσιμες ποσότητες.
- Η ηλεκτροπαραγωγή από **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας** (φωτοβολταϊκά, αιολικά), η οποία αντίθετα με την πρώτη, χρησιμοποιεί πηγές διαχρονικές, που δεν εξαντλούν περιορισμένα ενεργειακά αποθέματα. Η Ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον ήλιο και τα φυσικά φαινόμενα και κατά συνέπεια εξαρτάται από την περιοδικότητα ή την στοχαστικότητα αυτών των φαινομένων.

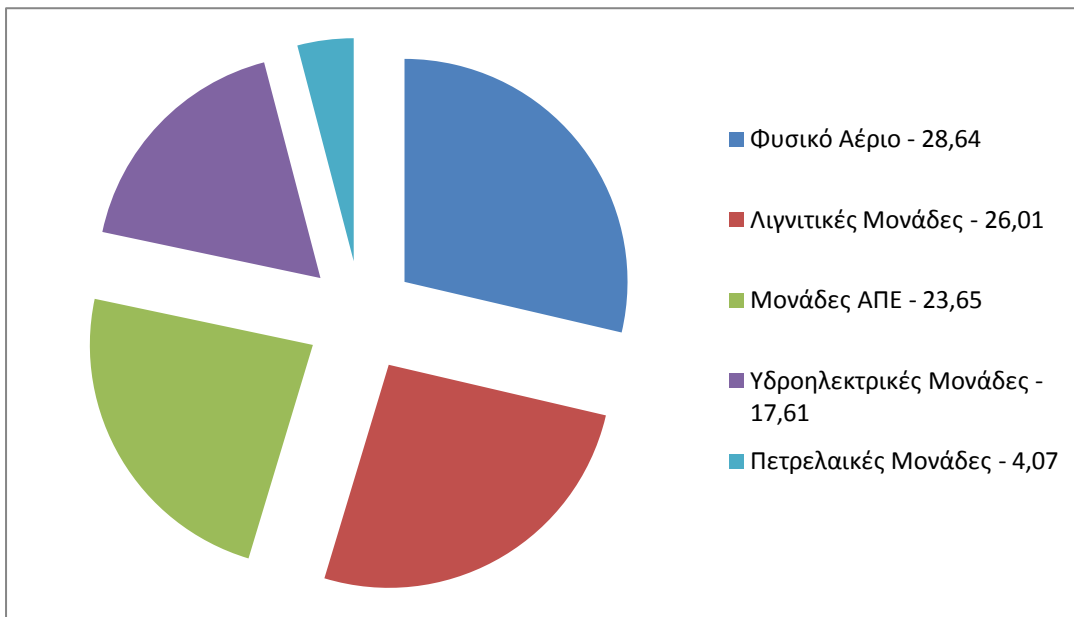
Επιπλέον σαν υποκατηγορία στα παραπάνω μπορεί να προστεθεί και το **Φυσικό Αέριο- ήπιας μορφής ενέργεια**, το οποίο διαθέτει χαρακτηριστικά και από τις δύο κατηγορίες και θα αναλυθεί στη συνέχεια.

2.1.1.1 Συμβατικοί Σταθμοί Παραγωγής

Σύμφωνα με στοιχεία του 2011 για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα (National Report PAE 2012) είναι γνωστό ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα προέρχεται κυρίως από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας παράγεται περίπου το 50% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκέντρωση των θερμοηλεκτρικών σταθμών στο Βορρά της χώρας δημιουργεί αυξημένες απώλειες κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στα κέντρα κατανάλωσης και ανισορροπία στη λειτουργία. Ωστόσο ο σχεδιασμός τους βασίστηκε στην εγγύτητά τους στις περιοχές που υπάρχουν πλούσια κοιτάσματα λιγνίτη, ο οποίος αποτελεί την καύσιμη πρώτη ύλη για αυτούς τους σταθμούς. Στη χώρα μας υπάρχουν τέσσερις περιοχές με σημαντικά αποθέματα λιγνίτη, στη Δράμα, στη Δυτική Μακεδονία, στην Ελασσόνα και στη Μεγαλόπολη. Επίσης, το 66.5% της εγκατεστημένης ισχύος των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων είναι θερμικοί σταθμοί, εκ των οποίων με λιγνίτη 4930 MW, με πετρέλαιο 730 MW και με φυσικό αέριο 4579 MW. Το 19.6% είναι μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί και το 13.9% είναι μονάδες ΑΠΕ.

Στο Διάγραμμα 1.4, Γράφημα 1.5 και Πίνακα 1.6 και παρουσιάζονται στοιχεία του ΛΑΓΗΕ για την κατανομή της ηλεκτροπαραγωγής ανάμεσα σε όλες τις υπάρχουσες μονάδες παραγωγής για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα.

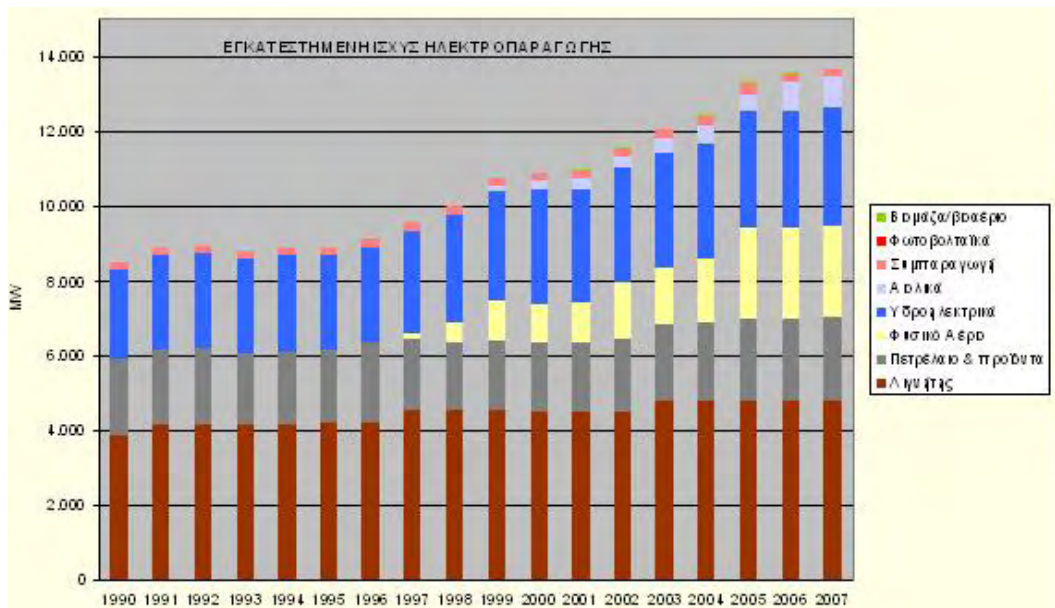
Διάγραμμα 2.1: Ποσοστά (%) διείσδυσης των μονάδων στο σύνολο της Εγκατεστημένης Ισχύος του Διασυνδεδεμένου Συστήματος, Μάρτιος 2013 [2]



Γράφημα 2.2: Εξέλιξη της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος στην Ελλάδα για το

Η εξέλιξη της Δομής και Λειτουργίας του Ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας προς τα Ευφυή Δίκτυα ("Smart Grids")

διάστημα 1990 μέχρι 2007.



Πίνακας 2.1: Εγκατεστημένη ισχύς μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα (Μάρτιος 2013). [2]

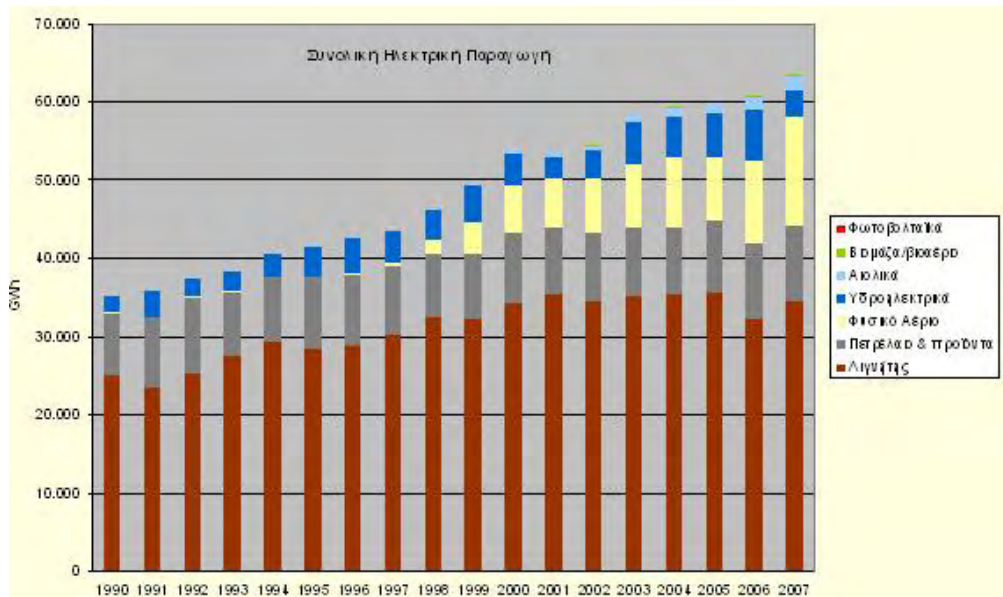
ΜΟΝΑΔΕΣ	ΚΑΘΑΡΗ ΙΣΧΥΣ (MW)
Θερμικές	10.060,0
Λιγνιτικές	4.456,0
Πετρελαϊκές	698,0
Φυσικού Αερίου	4.906,0
ΑΠΕ & Υδροηλεκτρικές	7.068,9
Υδροηλεκτρικές	3.017,7
ΑΠΕ	4.051,2
ΣΥΝΟΛΟ	17.128,9

Από τα παραπάνω διαγράμματα, διαπιστώνουμε ότι:

- Το μεγαλύτερο ποσοστό της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος είναι βασισμένο στον λιγνίτη, διότι είναι εγχώριο προϊόν και βρίσκεται σε αφθονία σε πολλά κοιτάσματα στην ηπειρωτική Ελλάδα.
- Το σταθερό, σχετικά μεγάλο ποσοστό της εγκατεστημένης ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος που βασίζεται στο πετρέλαιο και τα παράγωγα του, λόγω του μεγάλου πλήθους των ελληνικών νησιών και των δυσκολιών διασύνδεσής τους.
- Είναι σταθερό το ποσοστό υδροηλεκτρικών εγκατεστημένων μονάδων, οι οποίες για την κατασκευή τους απαιτούν τεράστιες περιβαλλοντικές παρεμβάσεις για δημιουργία φραγμάτων και υδατικών ταμιευτήρων (Πίνακας 2.1).

- Αυξάνονται σταδιακά οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Φυσικού Αερίου, μετά την κατασκευή του αγωγού μεταφοράς του Φ/Α στη χώρα μας.
- Η μικρή αλλά συνεχής αύξηση των εγκατεστημένων μονάδων αιολικής ενέργειας σηματοδοτεί την νέα εποχή για τη διείσδυση των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή.

Γράφημα 2.3: Εξέλιξη της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα για το διάστημα 1990 μέχρι 2007. [3]



Επίσης, από το παραπάνω γράφημα, διακρίνουμε:

- Την αυξανόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την πάροδο του χρόνου, η οποία απεικονίζει την οικονομική ανάπτυξη της εποχής αυτής και την αντανάκλασή της στην αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Το μεγάλο μερίδιο της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη αλλά και την ετήσια ποσοστιαία μείωση ως προς την ετήσια συνολική παραγωγή.
- Την ετήσια παραγόμενη από πετρέλαιο Η/Ε, τη διατήρησή της σαν ποσότητα με την πάροδο του χρόνου και τη μείωσή της ως ποσοστού επί της ετήσιας παραγωγής με την πάροδο του χρόνου.
- Την είσοδο του φυσικού αερίου στο μείγμα της παραγόμενης Η/Ε στην Ελλάδα και την ετήσια σταδιακή αύξηση της παραγόμενης από αυτό Η/Ε λόγω της εγκατάστασης νέων Σταθμών Παραγωγής τεχνολογίας Φ/Α.
- Την παραγόμενη από υδροηλεκτρικούς σταθμούς Η/Ε, με την διευκρίνιση ότι οι εμφανείς αυξομειώσεις απεικονίζουν τις ετήσιες βροχοπτώσεις των περιοχών εγκατάστασης των σταθμών.
- Την βαθμιαία αύξηση της παραγόμενης από Ανανεώσιμες Πηγές Η/Ε τα τελευταία χρόνια και την διείσδυση των ΑΠΕ στην Ηλεκτροπαραγωγή.

Ατμοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής

Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής χρησιμοποιούνται ως σταθμοί βάσης και είναι οι πλέον οικονομικοί σταθμοί παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας. Στη χώρα μας αυτοί οι σταθμοί χρησιμοποιούν ως καύσιμο κυρίως το λιγνίτη και λιγότερο το πετρέλαιο.

Το μεγάλο πλεονέκτημά τους είναι ότι μπορούν να εργάζονται για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να σταματούν για συντήρηση.

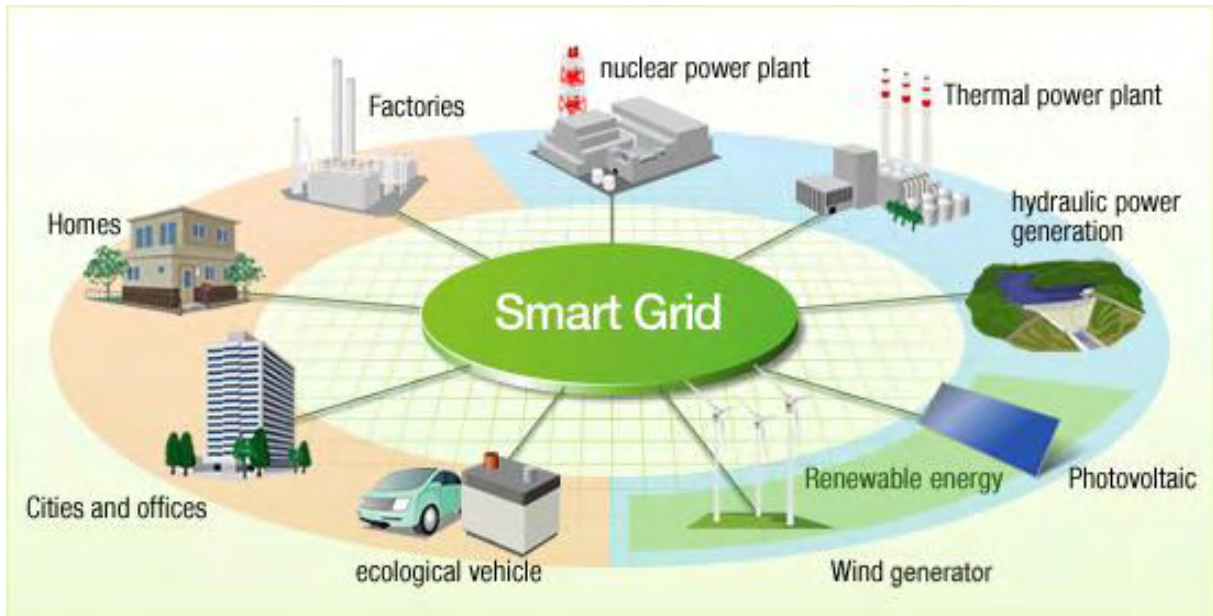
Η επιλογή της θέσης ενός ατμοηλεκτρικού σταθμού παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα. Τα κυριότερα απ' αυτά αφορούν:

- Τη δυνατότητα αύξησης του μεγέθους του σταθμού λόγω αύξησης της ζήτησης.
- Τις επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Το κόστος μεταφοράς του καυσίμου.

2.1.1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί έντονα στη χρήση των ορυκτών καυσίμων. Οι ΑΠΕ πρακτικά είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον ενώ η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνον από την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα έχουν σαν σκοπό την δέσμευση του δυναμικού τους. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών εμφανίσθηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων την τελευταία δεκαετία.

Εικόνα 2.1: Διασύνδεση των Smart Grids με τις επιμέρους μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας .



Οι μορφές ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται στο ελληνικό σύστημα είναι:

Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πάνελ (ή πλαίσια, ή όπως λέγονται συχνά στο εμπόριο, «κρύσταλλα») φωτοβολταϊκών στοιχείων (ή «κυψελών», ή «κυττάρων»), μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή.

Θερμικά Ηλιακά Συστήματα

Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές ([ηλιακοί θερμοσίφωνες](#) και φούρνοι) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Αιολική Ενέργεια

Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π.χ. την άλεση στους [ανεμόμυλους](#)). Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως για ηλεκτροπαραγωγή.

Βιομάζα

Χρησιμοποιεί τους υδαάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε από το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Μπορεί να δώσει [βιοαιθανόλη](#) και [βιοαέριο](#), που είναι καύσιμα πιο

φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές, που θα χρησιμοποιηθεί πλατιά στο μέλλον.

Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια (Υ/Ε) είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια. Η δέσμευση/ αποθήκευση ποσοτήτων ύδατος σε φυσικές ή τεχνητές λίμνες, για ένα Υδροηλεκτρικό Σταθμό, ισοδυναμεί πρακτικά με αποταμίευση Υδροηλεκτρικής Ενέργειας. Η προγραμματισμένη αποδέσμευση αυτών των ποσοτήτων ύδατος και η εκτόνωσή τους στους υδροστροβίλους οδηγεί στην ελεγχόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με δεδομένη την ύπαρξη κατάλληλων υδάτινων πόρων και τον επαρκή εφοδιασμό τους με τις απαραίτητες βροχοπτώσεις, η Υ/Ε καθίσταται μια σημαντικότερη εναλλακτική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας. [4]

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας καταγράφουν σημαντική αύξηση κατά τα τελευταία έτη στην Ελλάδα ως προς τα ποσοστά διείσδυσής τους στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Κάποιες τεχνολογίες έχουν κατακτήσει μεγαλύτερη μερίδα του επενδυτικού ενδιαφέροντος (αιολικά και Φ/Β) ενώ κάποιες τεχνολογίες απέχουν σημαντικά από τα ποσοστά διείσδυσης που έχουν τεθεί ως στόχοι για το 2020.

Στον Πίνακα 1.4 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά μεγέθη της εγκατεστημένης ισχύος των μονάδων ΑΠΕ κατά τα έτη 2004 - 2012 (Διασυνδεδεμένο και Μη Διασυνδεδεμένο Σύστημα).

Παρατηρείται:

1. Ραγδαία αύξηση της ισχύος των αιολικών μονάδων (σχεδόν τετραπλάσια αιολική εγκατεστημένη ισχύς το 2012, αύξηση της τάξεως 250%),
2. Ραγδαία αύξηση της ισχύος των μονάδων ΜΥΗΣ (πενταπλάσια εγκατεστημένη ισχύς το 2012, αύξηση της τάξεως 400%),
3. Από σχεδόν μηδενική ισχύ Φ/Β συστημάτων έως και το 2007 έχουμε εκτίναξη της εγκατεστημένης ισχύος τους σε 1.520 MW κατά τη διάρκεια της πενταετίας 2008-2012,
4. Διπλασιασμός της εγκατεστημένης ισχύος μονάδων βιοαερίου-βιομάζας.

Πίνακας 2.3: Η αύξουσα πορεία των μονάδων ΑΠΕ κατά τα τελευταία έτη στην Ελλάδα (σύνολο εγκατεστημένης ισχύος στο σύστημα για τα έτη 2004-2012). [5]

	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΠΕ				ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (MW)				
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
ΑΙΟΛΙΚΑ	480,4	576,1	749,3	853,6	1.019,26	1.171,1	1.297,75	1.640,06	1.753,1
ΒΙΟΜΑΖΑ	20,5	20,5	37,6	37,6	39,40	40,8	41,05	44,53	44,75
ΜΥΗΣ	43,3	48,2	73,7	95,5	158,42	182,6	197,13	205,63	213,23
Φ/Β	0,3	0,5	0,7	0,7	11,98	48,14	191,09	521,85	1.238,5
Φ/Β σε στέγες	-	-	-	-	-	-	-	-	317,55
ΣΥΝΟΛΟ	544,5	645,3	861,2	987,4	1.291,71	1.547	1.816,1	2.501,1	3.657,2

Η τιμολόγηση των διαφόρων τεχνολογιών ΑΠΕ έχει γίνει με σκοπό να εξασφαλίζεται η βιωσιμότητα των επενδύσεων και να δημιουργείται επαρκές κίνητρο για τους επενδυτές.

Παρόλα αυτά, πέρα από τα αρκετά πλεονεκτήματα που είναι ήδη γνωστά και έχουν αναφερθεί συνοπτικά παραπάνω, οι ΑΠΕ παρουσιάζουν και ορισμένα χαρακτηριστικά που δυσχεραίνουν την αξιοποίηση και ταχεία ανάπτυξή τους:

- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για μεγάλη παραγωγή απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Η χαμηλή διαθεσιμότητά τους συνήθως οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους.
- Παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.
- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος ώστε να μεταφερθεί και να αποθηκευθεί.
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων παραμένει ακόμη υψηλό.

2.1.1.3 Φυσικό Αέριο – Ήπιας μορφής Ενέργεια

Το φυσικό αέριο διεισδύει με γρήγορους ρυθμούς στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην χώρα μας μετά την απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου και τα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) αποτελούν τη βέλτιστη δυνατή επιλογή τόσο από πλευράς εξοικονόμησης ενέργειας και κόστους παραγωγής όσο και από πλευράς περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Το φυσικό αέριο έχει πλήθος εφαρμογών στις επιχειρήσεις και στη βιομηχανία, καθώς και στα οικιακά.

➤ Στη βιομηχανία για:

- κάλυψη θερμικών αναγκών για όλες τις παραγωγικές διαδικασίες (παραγωγή ατμού, ξήρανση)
- κλιματισμό
- συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας

➤ Ανταγωνιστικά καύσιμα που υποκαθιστά το φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο μπορεί να υποκαταστήσει όλα τα γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα καύσιμα και μορφές ενέργειας.

Πίνακας 2.4: Η δυνατή χρήση του Φυσικού Αερίου σε αντιστοιχία με το υποκαθιστάμενο ανταγωνιστικό καύσιμο.

ΧΡΗΣΗ	ΥΠΟΚΑΘΙΣΤΑΜΕΝΟ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟ ΚΑΥΣΙΜΟ
Θέρμανση χώρων (κεντρική ή αυτόνομη)	Πετρέλαιο Θέρμανσης & Ηλεκτρισμός
Παραγωγή ζεστού νερού	Ηλεκτρισμός & Πετρέλαιο Κίνησης
Παραγωγή ατμού	Πετρέλαιο Κίνησης & Μαζούτ
Μαγείρεμα-Ψήσιμο	Ηλεκτρισμός, Υγραέριο & Πετρέλαιο Κίνησης
Κλιματισμός (ψύξη- θέρμανση)	Ηλεκτρισμός
Βιομηχανικές χρήσεις	Μαζούτ, Πετρέλαιο Κίνησης & Υγραέριο

➤ Χαρακτηριστικά Μονάδων Ηλεκτροπαραγωγής από Φυσικό Αέριο:

Τεχνολογίες παράγωγης ηλεκτρισμού και Περιβαλλοντικές επιπτώσεις μονάδων ηλεκτροπαραγωγής από φυσικό αέριο

Αεροστρόβιλοι συνδυασμένου κύκλου Οι [αεριοστρόβιλοι](#), είναι οι κύρια τεχνολογία καύσης (που προέρχεται από τις μηχανές Jet). Οι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούν τα θερμά αέρια από την καύση του αερίου άμεσα, αντί να χρησιμοποιούν τη παραγόμενη θερμότητα για να κάνουν ατμό, όπως τα εργοστάσια λιθάνθρακα.

Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου από την καύση φυσικού αερίου είναι χαμηλότερες από την καύση λιθάνθρακα και πετρελαίου. Σε σύγκριση με τον λιθάνθρακα, το φυσικό αέριο εκπέμπει 43% λιγότερο διοξειδίου του άνθρακα για κάθε μονάδα ενέργειας που παράγει, και 30% λιγότερο CO₂ από το πετρέλαιο. Συγκεκριμένα το φυσικό αέριο εκπέμπει λιγότερο από το ένα τρίτο οξειδία του αζώτου και 1% τα οξειδία του θείου που εκπέμπουν οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με λιθάνθρακα. Το φυσικό αέριο δεν παράγει στερεά απόβλητα, σε αντίθεση με τα τεράστια ποσά της τέφρας του λιθάνθρακα, και ελάχιστο διοξείδιο του θείου,

ενώσεις υδραργύρου και αιωρούμενα σωματίδια. Η αμερικανική υπηρεσία περιβαλλοντικής προστασίας (EPA) εκτιμά ότι οι κίνδυνοι για καρκίνο από την καύση φυσικού αερίου είναι κατά πολύ χαμηλότεροι από τους κινδύνους για καρκίνο από την καύση πετρελαίου ή λιθάνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή.

Πηγές: http://www.ucsusa.org/clean_energy/technology_and_impacts/energy_technologies/how-natural-gas-works.html <http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-and-you/affect/natural-gas.html>

2.1.2 Μικροδίκτυα (MicroGrids)

Το τυπικό μικροδίκτυο αποτελείται από μία ή περισσότερες μονάδες διανεμημένης παραγωγής ενέργειας, τους τοπικούς καταναλωτές που εξυπηρετεί και το σύστημα που το συνδέει ή το αποσυνδέει από το μακροδίκτυο στο οποίο υπάγεται. Οι μονάδες αυτές μπορεί να είναι από τεχνολογίες ΑΠΕ και γεννήτριες φυσικού αερίου ή ντίζελ. Η κλίμακα εφαρμογής ενός μικροδικτύου μπορεί να κυμαίνεται από μία οικία με γεννήτρια ντίζελ ή φωτοβολταϊκά στέγης μέχρι μια κανονική πόλη με αιολικά πάρκα και σταθμούς παραγωγής ηλεκτρισμού.

Σε τεχνικό αλλά και οικονομικό επίπεδο, οι βασικές δυνατότητες ενός μικροδικτύου εξαρτώνται από:

- Τον τύπο του φορτίου (οικιακό, εμπορικό, βιομηχανικό ή συνδυασμός τους)
- Τον αριθμό των καταναλωτών
- Το επίπεδο αξιοπιστίας του συστήματος, δηλαδή το ποσοστό στο οποίο μπορεί να καλύψει το απαιτούμενο προβλεπόμενο φορτίο
- Τον τύπο των πηγών της διανεμημένης παραγωγής, το μέγεθος τους και τον αριθμό τους [6]

Η ευφυής λειτουργία των μικροδικτύων όσον αφορά την ανταλλαγή ενέργειας με το κεντρικό δίκτυο είναι εμφανής, εφόσον όταν υπάρχει πλεόνασμα παραγωγής δίνουν σε αυτό ενέργεια, ενώ όταν δεν επαρκεί η τοπική ζήτηση λαμβάνουν την αντίστοιχη ενέργεια. Επίσης, σε περίπτωση κατάρρευσης του κεντρικού δικτύου, το οποίο λειτουργεί παράλληλα με τα μικροδίκτυα, υπάρχει η δυνατότητα αξιόπιστης τροφοδότησης εντός του ίδιου του μικροδικτύου για την κάλυψη των απαιτούμενων φορτίων. Η παραγωγή και διανομή της ενέργειας γίνεται στη χαμηλή τάση, λόγω της χαμηλής ισχύος των μονάδων παραγωγής ενέργειας στο μικροδίκτυο, άρα το μέγεθος των παραγωγικών μονάδων καθορίζει τον τρόπο διασύνδεσης με άλλα μικροδίκτυα ή το κεντρικό δίκτυο. Η ποιότητα τάσης του μικροδικτύου πρέπει να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές του δικτύου. Ακόμα, ένα μικροδίκτυο μπορεί να λειτουργεί ως υποστηρικτής του κεντρικού δικτύου ώστε να παρέχει ή να απορροφά άεργο ισχύ όταν απαιτείται ακόμη και σε μικρά χρονικά διαστήματα. Σε αυτήν την περίπτωση απαιτείται μια μορφή επικοινωνίας μεταξύ των κέντρων ελέγχου του μικροδικτύου και του κεντρικού δικτύου.

Μια εφαρμογή μικροδικτύου στην Ελλάδα αποτελεί το πιλοτικό μικροδίκτυο της Κύθνου το οποίο ηλεκτροδοτεί 12 κατοικίες και αποτελείται από φωτοβολταϊκά

(10 kW), μια γεννήτρια ντίζελ (5 kVA) και μπαταρία (53 kWh). [6]

2.2 Το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ)

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τους σταθμούς παραγωγής, αρχικά μεταφέρεται σε κοντινούς μετασχηματιστές που μετατρέπουν τη χαμηλή τάση της ηλεκτρικής ενέργειας σε υψηλή. Με αυτόν τον τρόπο, η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με τις γραμμές μεταφοράς σε πολύ μεγάλες αποστάσεις με λιγότερες απώλειες, καθώς οι σταθμοί παραγωγής είναι συνήθως μακριά από μεγάλα αστικά κέντρα. Οι γραμμές μεταφοράς μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια στα **Κέντρα υπερυψηλής τάσης (ΚΥΤ)** και τους **υποσταθμούς (Υ/Σ)** και εν συνεχεία στο δίκτυο διανομής, για να καταλήξει στις βιομηχανίες και τους καταναλωτές χαμηλής τάσης.

Το Σύστημα Μεταφοράς (ΣΜ) της χώρας αποτελείται από εναέριες και υπόγειες γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης (150kV), από γραμμές υπερυψηλής τάσης (400kV). Το Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελούν το διασυνδεδεμένο σύστημα της ηπειρωτικής Ελλάδας με τα νησιά του Ιονίου, την Τήνο και την Άνδρο, καθώς και τα ανεξάρτητα συστήματα μεταφοράς της Κρήτης και της Ρόδου. Επιπλέον, έχει ολοκληρωθεί η μελέτη και είναι προς κατασκευή η σύνδεση των Κυκλάδων, ενώ στη **Μελέτη Ανάπτυξης του Συστήματος Μεταφοράς (ΜΑΣΜ)** έχει ενταχθεί η διασύνδεση της Κρήτης που θα έχει ολοκληρωθεί μέχρι το 2019.

2.2.1 Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης (ΚΥΤ)

Όπως προαναφέρθηκε, η ιδιομορφία του ελληνικού συστήματος σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η ισχύς μεταφοράς είναι αντιστρόφως ανάλογη της απώλειας ισχύος [3], καθιστούν αναγκαία την ύπαρξη γραμμών μεταφοράς υπερύψηλης τάσης. Στα **Κέντρα Υπερύψηλης Τάσης (ΚΥΤ)** γίνεται ανύψωση της παραγόμενης από μεγάλες μονάδες παραγωγής ισχύος από υψηλή σε υπερύψηλη ώστε να γίνει η μεταφορά της με ελαχιστοποιημένες απώλειες, ή **υποβιβασμός της υπερύψηλης τάσης σε υψηλή** μέσω μετασχηματιστών ισχύος 400kV/150kV ώστε εν συνεχεία να μεταφερθεί στους υποσταθμούς. Η δομή και λειτουργία των ΚΥΤ είναι ανάλογη με εκείνη των υποσταθμών που αναφέρονται παρακάτω, με κύρια διαφορά τα επίπεδα της τάσης.

2.2.2 Υποσταθμοί

Στους υποσταθμούς γίνεται ζεύξη της παραγωγής με την μεταφορά ή τις γραμμές μεταφοράς με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Ο υποβιβασμός ή η ανύψωση

τάσης γίνεται, όπως και στα ΚΥΤ, μέσω μετασχηματιστών ισχύος.

Σύμφωνα με τα στοιχεία, στο σύστημα μεταφοράς είναι συνδεδεμένοι:

- 202 υποσταθμοί υποβιβασμού τάσης 150kV/MT της ΔΕΗ
- 20 υποσταθμοί για την υποδοχή της ισχύος των αιολικών πάρκων, μερικοί εκ των οποίων εξυπηρετούν παράλληλα και φορτία διανομής.
- Υποσταθμοί ανυψώσεως τάσης Μ.Τ./150kV σε σταθμούς παραγωγής της ΔΕΗ
- 2 υποσταθμοί ανυψώσεως τάσης σε σταθμούς παραγωγής ανεξάρτητων παραγωγών (ΗΡΩΝ Θερμοηλεκτρική Α.Ε. και Αλουμίνιο Α.Ε.). Οι μονάδες παραγωγής των εν λόγω σταθμών συνδέονται στα 150 kV μέσω Μ/Σ ανυψώσεως ΜΤ/150kV.
- 35 υποσταθμοί υποβιβασμού τάσης 150kV/MT που εξυπηρετούν τις εγκαταστάσεις πελατών υψηλής τάσης.

2.2.3 Γραμμές Μεταφοράς

Η μεγάλη συγκέντρωση των σταθμών παραγωγής ενέργειας στην Πτολεμαΐδα, ενώ στην Αττική σημειώνεται η μεγαλύτερη της ζήτηση. Ενώ την στιγμή που οι διεθνείς διασυνδέσεις με Βουλγαρία και ΠΓΔΜ βρίσκονται στο βορρά, όπου απαιτείται μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ισχύος, χρησιμοποιείται ένας κεντρικός άξονας 400kV αποτελούμενος από τρεις (3) γραμμές μεταφοράς 400kV διπλού κυκλώματος, για να αποφευχθεί η γεωγραφική ανισορροπία μεταξύ παραγωγής και φορτίων που ενίοτε έχει οδηγήσει σε προβλήματα τάσεων.

Γενικά, οι Γραμμές Μεταφοράς (ΓΜ) αποτελούν την σύνδεση ανάμεσα στα εργοστάσια παραγωγής και στους υποσταθμούς και το τελικό δίκτυο διανομής. Με αυτόν τον τρόπο εκλαμβάνεται η ηλεκτρική ενέργεια από τις μονάδες παραγωγής και διανέμεται στα κέντρα κατανάλωσης. Επομένως οι Γραμμές Μεταφοράς είναι ζωτικής σημασίας στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ αποτελούνται από αγωγούς φάσεων, μονωτήρες και αγωγούς προστασίας.

Οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν σε μέση, υψηλή ή υπερυψηλή τάση, με αποτέλεσμα γύρω από αυτές να δημιουργούνται έντονα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα, τα οποία είναι επικίνδυνα για τους ζωντανούς οργανισμούς αλλά και το περιβάλλον με το οποίο αλληλεπιδρούν (π.χ. τηλεπικοινωνίες). Προς αποφυγή λοιπόν δυσάρεστων επιπλοκών, οι γραμμές τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε να μειώνεται στο ελάχιστο η αλληλεπίδρασή τους με πρόσωπα και γύρω εγκαταστάσεις. Οπότε, προκύπτουν 3 είδη γραμμών:

- Οι εναέριες γραμμές μεταφοράς
- Οι υπόγειες γραμμές μεταφοράς
- Οι γραμμές με πρόβλεψη κατάλληλου περιβλήματος των αγωγών.

Οι γραμμές με πρόβλεψη κατάλληλου περιβλήματος τοποθετούνται μόνο σε

πολύ μικρές αποστάσεις, όπου τα καλώδια οδεύουν μέσω σηράγγων. Συνήθως, τέτοιες γραμμές υπάρχουν εκεί που γίνεται μετατροπή μιας εναέριας γραμμής σε υπόγεια ή το αντίστροφο, ενώ τα σημεία στα οποία γίνεται η μετατροπή των γραμμών εγκιβωτίζονται μέσα σε ακροκιβώτια.

Πιν. 2.5: Συνολικά Μήκη Γ.Μ. του Συστήματος (Ιούνιος 2012)

ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ (kV)	ΕΙΔΟΣ Γ.Μ.	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ(km)
66	Εναέριας	39
	Υποβρύχιας	15
150	Εναέριας	8127
	Υπόγειας	82
	Υποβρύχιας	140
400	Εναέριας	2628
	Υπόγειας	4
	Εναέριας Σ.Ρ.	107
	Υποβρύχιας Σ.Ρ	160

2.2.4 Σύστημα Επιτήρησης Μεταφοράς (ΚΕΕ)

Τα Κέντρα Ελέγχου Ενέργειας ελέγχουν σε πραγματικό χρόνο (on line) όλο τον εξοπλισμό παραγωγής ενέργειας και εγγυώνται την ένταξη των σταθμών παραγωγής με το χαμηλότερο κόστος παραγωγής ενέργειας. Η ένταξη των παραγωγών αναπροσαρμόζεται κάθε ώρα, ξεκινώντας από τον παραγωγό με το χαμηλότερο κόστος παραγωγής ενέργειας, εισάγοντας με αύξουσα σειρά τους παραγωγούς με λιγότερο φθηνή ενέργεια, μέχρι την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών για την ώρα εκείνη. Η παραπάνω μέθοδος διαμορφώνει την οριακή τιμή του συστήματος. Υπολογίζουν επίσης σε πραγματικό χρόνο τις πλέον συμφέρουσες αγοραπωλησίες με τις γειτονικές εταιρείες.

Επιπροσθέτως παρακολουθούν την απόδοση του συστήματος μεταφοράς, καθορίζοντας τρόπους ελαχιστοποίησης απωλειών, αναλύοντας την ασφάλεια και την αξιοπιστία του συστήματος και ενημερώνοντας το χειριστή του συστήματος για το τι συμβαίνει σε όλο το σύστημα. Έτσι αναμένεται ότι η χρήση ενός Κ.Ε.Ε θα οδηγήσει σε μείωση του ετήσιου λειτουργικού κόστους τουλάχιστον κατά 3%.

Σήμερα υπάρχουν περίπου 150 Κ.Ε.Ε σε λειτουργία που εξυπηρετούν τις ανάγκες ηλεκτρικών εταιρειών μεσαίου και μεγάλου μεγέθους. Κάθε χρόνο εγκαθίστανται ή ανανεώνονται 10 έως 20 Κ.Ε.Ε.

Βασικός στόχος των σύγχρονων Κ.Ε.Ε είναι η επιτυχής εφαρμογή του «ελέγχου ασφαλείας» του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Οι λειτουργίες τους μπορούν να συνοψιστούν στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

A) Λειτουργίες Ενέργειας/Οικονομίας

Β) Λειτουργίες Συγκέντρωσης και Επεξεργασίας Στοιχείων

Γ) Λειτουργίες Εποπτείας Ασφαλείας και Ελέγχου

Το Εθνικό Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας (ΕΚΕΕ) του ελληνικού συστήματος έχει εγκατασταθεί στον Άγιο Στέφανο Αττικής και είναι συνδεδεμένο ηλεκτρονικά με τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα ΚΥΤ και τους υποσταθμούς μεταφοράς σε ολόκληρο το εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα μέσω των τριών Περιφερειακών Κέντρων Ελέγχου Ενέργειας (ΠΚΕΕ):

- Το Βόρειο στην περιοχή της Πτολεμαΐδας.
- το Νότιο ΠΚΕΕ στην περιοχή του Άγιου Στεφάνου Αττικής
- και το ΠΚΕΕ Θεσσαλονίκης

Το Νότιο Περιφερειακό Κέντρο συστεγάζεται με το Εθνικό Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας (ΕΚΕΕ). Το Βόρειο Περιφερειακό Κέντρο είναι σε θέση να αναλάβει βασικές λειτουργίες του ΕΚΕΕ σε περίπτωση που θα παρουσιαστεί ανωμαλία, ώστε το σύστημα παραγωγής-μεταφοράς να είναι διαρκώς υπό έλεγχο. [5]

2.3 Το Δίκτυο Διανομής της Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το δίκτυο Διανομής συνολικού μήκους 230.000χλμ (στοιχεία 2013), συνοπτικά περιλαμβάνει:

- το δίκτυο διανομής μέσης τάσης (**20kV**) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής.
- το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (**220/380V**) που μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς διανομής στους καταναλωτές.

Ουσιαστικά υπάρχουν δύο κύριοι τύποι εξοπλισμού που αποτελούν ένα σύστημα διανομής:

- Οι γραμμές διανομής που διανέμουν την ενέργεια από το ένα μέρος στο άλλο
- και οι μετασχηματιστές που αλλάζουν το επίπεδο της τάσης της μεταφερόμενης ενέργειας.

Στις παραπάνω κύριες κατηγορίες μπορούν να προστεθούν επίσης:

- Ο εξοπλισμός προστασίας που προσφέρει ασφάλεια και συνέχιση της λειτουργίας ακόμα και σε περίπτωση βλάβης.
- Ο εξοπλισμός ρύθμισης τάσης που χρησιμοποιείται για να διατηρεί την τάση

μέσα σε επιτρεπτά όρια καθώς το φορτίο αλλάζει

Τα τυποποιημένα μεγέθη μετασχηματιστών που εγκαθίστανται στους υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ είναι τα εξής:

- 10/12.5 MVA
- 20/25 MVA
- 40/50 MVA

Οι δυο τιμές ονομαστικής ισχύος για κάθε μέγεθος μετασχηματιστή σχετίζονται με τον τρόπο ψύξης και αντιστοιχούν η μεν πρώτη σε ψύξη με φυσική κυκλοφορία αέρα, η δε δεύτερη σε ψύξη με βεβιασμένη κυκλοφορία αέρα μέσω ανεμιστήρων.

Στα δίκτυα Διανομής συνδέονται με μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Διανεμημένη Παραγωγή), οι οποίες βρίσκονται κοντά στο σημείο της κατανάλωσης για την παροχή κυρίως ενεργού ισχύος. Οι διανεμημένοι παραγωγοί συνδέονται είτε στο δίκτυο διανομής ΜΤ, δηλαδή στα 20 kV, είτε στη χαμηλή τάση, δηλαδή μετά το μετρητή του καταναλωτή στα 400V. Τα συστήματα διανεμημένης παραγωγής έχουν προς το παρών μια ικανότητα παραγωγής από μερικά kW μέχρι 50 MW.

Οι περισσότερες γεννήτριες της ΔΠ χρησιμοποιούν παραδοσιακούς τρόπους παραγωγής: πετρέλαιο, μηχανές εσωτερικής καύσης ή συνδυασμένου κύκλου κ.ά. Επιπρόσθετα ακόμα σε μεγάλο ποσοστό χρησιμοποιούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), όπως αέρας, ήλιος και νερό, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τα μικρά Φωτοβολταικά Συστήματα. Βασικό πλεονέκτημά τους έναντι των συμβατικών πηγών είναι το ότι ανανεώνονται από την φύση, δεν προκαλούν μόλυνση της ατμόσφαιρας και συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων ρύπων. Οι γεννήτριες των ΑΠΕ προτιμώνται επίσης, διότι το μικρό τους μέγεθος επιτρέπει την απευθείας σύνδεση τους στο δίκτυο ΧΤ του κεντρικού δικτύου. Επίσης, τα τελευταία χρόνια βρίσκεται σε εξέλιξη η χρήση μικροστροβίλων και κυψελών καυσίμου. [7]

Κεφάλαιο 3^ο

3.1 Ρυθμιστικοί Φορείς της Λειτουργίας και Αγοράς του ΕΣΜΗΕ

ΡΑΕ

Η **Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ)** είναι ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή, η οποία συστήθηκε για τον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο, με κύρια αρμοδιότητά της να εποπτεύει την εγχώρια αγορά ενέργειας, σε όλους τους τομείς της, εισηγούμενη προς τους αρμόδιους φορείς της Πολιτείας και λαμβάνοντας η ίδια μέτρα για την επίτευξη του στόχου της απελευθέρωσης των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου.

Με τις τροποποιήσεις που ακολούθησαν, ανατέθηκαν στη ΡΑΕ αρμοδιότητες, κυρίως γνωμοδοτικές, παρακολούθησης και ελέγχου της αγοράς ενέργειας σε όλους τους τομείς, δηλαδή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα, από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και φυσικό αέριο. Περαιτέρω, η ΡΑΕ ανέλαβε συγκεκριμένες αρμοδιότητες σε σχέση με την αγορά των πετρελαιοειδών.

Ειδικότερα, όσον αφορά τη διαδικασία αδειοδότησης των σταθμών ΑΠΕ, η ΡΑΕ ανέλαβε πλέον αποφασιστικό ρόλο στη χορήγηση αδειών παραγωγής, με το ΥΠΕΚΑ να ασκεί τον έλεγχο νομιμότητας των αποφάσεων της. Από το 2011 και μετά, ο ρόλος της ως εθνικής ρυθμιστικής αρχής ενέργειας, αναβαθμίστηκε με την επαύξηση και ενίσχυση των αποφασιστικών αρμοδιοτήτων της σχετικά με τη ρύθμιση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου.

Η ΡΑΕ παρακολουθεί και εποπτεύει τη λειτουργία της εγχώριας αγοράς ενέργειας, εκπονεί μελέτες, συντάσσει, δημοσιεύει και υποβάλλει εκθέσεις, προβαίνει σε συστάσεις, αποφασίζει ή εισηγείται στα αρμόδια όργανα τη λήψη αναγκαίων μέτρων, συμπεριλαμβανομένης της έκδοσης κανονιστικών και ατομικών πράξεων, ιδίως για την τήρηση των κανόνων του ανταγωνισμού, την προστασία των καταναλωτών, την εκπλήρωση υποχρεώσεων παροχής υπηρεσιών κοινής ωφέλειας, την προστασία του περιβάλλοντος, την ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού και την ανάπτυξη της εσωτερικής αγοράς ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για το σκοπό αυτό, η ΡΑΕ παρακολουθεί και εποπτεύει ιδίως:

1. Το βαθμό και την αποτελεσματικότητα του ανταγωνισμού στην εγχώρια αγορά ενέργειας, σε επίπεδο χονδρικής και λιανικής.
2. Τις τιμές για τους οικιακούς καταναλωτές, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων προπληρωμής, το ποσοστό αλλαγής προμηθευτή, το ποσοστό διακοπής παροχής, την παροχή υπηρεσιών συντήρησης και τα σχετικά τέλη, καθώς και τα παράπονα των πελατών.
3. Την εμφάνιση στρεβλώσεων ή περιορισμών του ανταγωνισμού και περιοριστικών συμβατικών πρακτικών, όπως ρητρών αποκλειστικότητας που ενδέχεται να εμποδίζουν πελάτες να συνάπτουν συμβάσεις ταυτόχρονα με περισσότερους από ένα προμηθευτές, ή να περιορίζουν τη δυνατότητα επιλογής προμηθευτή.
4. Τη συμβατότητα των όρων συμβάσεων προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου με δυνατότητα διακοπής, καθώς και των μακροπρόθεσμων συμβάσεων προμήθειας, με το εθνικό και ευρωπαϊκό δίκαιο.
5. Την τήρηση των ειδικών ρυθμιστικών υποχρεώσεων που βαρύνουν τις επιχειρήσεις που ασκούν ενεργειακές δραστηριότητες, σύμφωνα με τις κείμενες διατάξεις και τους όρους των αδειών που τους έχουν χορηγηθεί.

ΛΑΓΗΕ

Ο Λειτουργός της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ (ΛΑΓΗΕ ΑΕ) ιδρύθηκε με σκοπό τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και ασκεί τις δραστηριότητες που ασκούνταν από τη «*Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ*» (ΔΕΣΜΗΕ ΑΕ), πλην εκείνων που μεταφέρονται στην «*Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ*» (ΑΔΜΗΕ ΑΕ).

Στο πλαίσιο του σκοπού του, ο Λειτουργός της Αγοράς ασκεί, ιδίως, τις ακόλουθες αρμοδιότητες:

1. Διενεργεί τον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό, ως εξής:
 - Προγραμματίζει τις εγχύσεις ηλεκτρικής ενέργειας στο ΕΣΜΗΕ, καθώς και τις απορροφήσεις ηλεκτρικής ενέργειας σε αυτό, κατά τα προβλεπόμενα στον Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.
 - Υπολογίζει την Οριακή Τιμή Συστήματος.
 - Εκκαθαρίζει τις συναλλαγές στο πλαίσιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού.
2. Συνεργάζεται με τον Διαχειριστή του ΕΣΜΗΕ σύμφωνα με τις ειδικότερες προβλέψεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας και του Κώδικα Διαχείρισης του ΕΣΜΗΕ.

3. Τηρεί ειδικό Μητρώο Συμμετεχόντων στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας και εγγράφει τους Συμμετέχοντες, σύμφωνα με τις ειδικότερες διατάξεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.
4. Παρέχει έγκαιρα και με κάθε πρόσφορο τρόπο στους Συμμετέχοντες στην Αγορά αυτή Ηλεκτρικής Ενέργειας τις απαραίτητες πληροφορίες για τη συμμετοχή τους στην Αγορά.
5. Αποφεύγει κάθε διάκριση μεταξύ των Συμμετεχόντων στην Αγορά Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας και εφαρμόζει κατά την παροχή των υπηρεσιών του διαφανή, αντικειμενικά και αμερόληπτα κριτήρια.
6. Συμμετέχει σε κοινές επιχειρήσεις, ιδίως με διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς, καθώς και χρηματιστήρια ηλεκτρικής ενεργείας και άλλους ανάλογους φορείς, με στόχο τη δημιουργία περιφερειακών αγορών στο πλαίσιο της εσωτερικής αγοράς ενέργειας.
7. Εισπράττει από τους Συμμετέχοντες τέλη για τη διαχείριση και λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και τηρεί τους αναγκαίους λογαριασμούς, σύμφωνα με τις ειδικότερες προβλέψεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας.
8. Συμμετέχει σε ενώσεις, οργανώσεις ή εταιρείες, μέλη των οποίων είναι λειτουργοί αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και χρηματιστήρια ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες έχουν σκοπό την επεξεργασία και διαμόρφωση κανόνων κοινής δράσης που συντείνουν, στο πλαίσιο της κοινοτικής νομοθεσίας, στη δημιουργία ενιαίας εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
9. Συνάπτει συμβάσεις πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγονται από εγκαταστάσεις ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ, εφόσον οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδέονται στο Σύστημα είτε απευθείας είτε μέσω του Δικτύου, και καταβάλει τις πληρωμές που προβλέπονται στις συμβάσεις αυτές.
10. Διενεργεί τη διευθέτηση των χρηματικών συναλλαγών στο πλαίσιο του Ημερήσιου Ενεργειακού Προγραμματισμού σε συνεργασία με τους Διαχειριστές του ΕΣΜΗΕ και του ΕΔΔΗΕ. Για τη διενέργεια της διευθέτησης των χρηματικών συναλλαγών, ο Λειτουργός της Αγοράς δύναται:
 - Να συστήνει ή να συμμετέχει σε εταιρείες με εξειδικευμένο σκοπό την παροχή χρηματοοικονομικών υπηρεσιών.
 - Να αναθέτει σε τρίτους, μετά από σύμφωνη γνώμη της ΡΑΕ, την ως άνω διευθέτηση, ιδίως αναφορικά με τη διαχείριση και εκκαθάριση χρηματικών συναλλαγών και τη διαχείριση πιστωτικού και συναλλακτικού κινδύνου, στο πλαίσιο της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Κατά την εκτέλεση των καθηκόντων του, ο Λειτουργός της Αγοράς διευκολύνει κατά κύριο λόγο την ολοκλήρωση της ενιαίας εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και για το σκοπό αυτόν αναλαμβάνει κάθε αναγκαία ενέργεια, στο πλαίσιο των αρμοδιοτήτων που του ανατίθενται.

Ο ΑΔΜΗΕ ως Διαχειριστής του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ) εκτελεί τα παρακάτω καθήκοντα:

- Διασφάλιση ότι η μακροχρόνια ικανότητα του Συστήματος ανταποκρίνεται σε εύλογες ανάγκες για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, υπό οικονομικά βιώσιμες συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψη την προστασία του περιβάλλοντος. Παροχή πρόσβασης στο Σύστημα στους κατόχους άδειας παραγωγής, προμήθειας ή εμπορίας ηλεκτρικής ενέργειας, σε όσους έχουν νόμιμα εξαιρεθεί από την υποχρέωση κατοχής τέτοιων αδειών και στους Επιλέγοντες Πελάτες.
- Παροχή της δυνατότητας σύνδεσης του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΔΔΗΕ) με το ΕΣΜΗΕ, σύμφωνα με όσα καθορίζονται στον Κώδικα Διαχείρισης του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Κώδικας Διαχείρισης ΕΣΜΗΕ).
- Διαχείριση των ροών της ηλεκτρικής ενέργειας στο Σύστημα, συνεκτιμώντας τις ανταλλαγές με άλλα διασυνδεδεμένα συστήματα μεταφοράς.
- Μέριμνα για την ασφαλή, αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία του Συστήματος, διασφαλίζοντας, μεταξύ άλλων, τη διαθεσιμότητα των αναγκαίων επικουρικών υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών που παρέχονται μέσω διαχείρισης της ζήτησης, στο βαθμό που η διαθεσιμότητά τους δεν εξαρτάται από άλλο διασυνδεδεμένο Σύστημα μεταφοράς.
- Κατάρτιση του προγράμματος κατανομής των μονάδων παραγωγής που συνδέονται με το Σύστημα, προσδιορισμός της χρήσης των διασυνδέσεων με άλλα συστήματα μεταφοράς και κατανομή σε πραγματικό χρόνο του φορτίου ηλεκτρικής ενέργειας στις διαθέσιμες εγκαταστάσεις παραγωγής.
- Παροχή στους Διαχειριστές άλλων Συστημάτων μεταφοράς και δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, με τα οποία συνδέεται το Σύστημα, επαρκών πληροφοριών για την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία, καθώς και τη συντονισμένη ανάπτυξη και τη διαλειτουργικότητα του Συστήματος και των παραπάνω συστημάτων και δικτύων.
- Παροχή στους Χρήστες του Συστήματος κάθε αναγκαίας πληροφορία για την εξασφάλιση της αποτελεσματικής πρόσβασής τους στο Σύστημα.
- Παροχή των πάσης φύσεως υπηρεσιών του εφαρμόζοντας διαφανή, αντικειμενικά και αμερόληπτα κριτήρια, ώστε να αποτρέπεται κάθε διάκριση μεταξύ των Χρηστών ή των κατηγοριών Χρηστών του Συστήματος και ιδίως κάθε διάκριση υπέρ των συνδεδεμένων με αυτόν επιχειρήσεων.
- Είσπραξη των τελών πρόσβασης στο Σύστημα και διευθέτηση των χρεοπιστώσεων που του αναλογούν στο πλαίσιο του μηχανισμού αντιστάθμισης μεταξύ διαχειριστών συστημάτων μεταφοράς, σύμφωνα με το άρθρο 13 του Κανονισμού (ΕΚ) 714/2009.
- Χορήγηση και διαχείριση της πρόσβασης τρίτων στο Σύστημα και παροχή ειδικά αιτιολογημένων επεξηγήσεων σε περίπτωση άρνησης πρόσβασης.
- Συμμετοχή σε ενώσεις, οργανώσεις ή εταιρείες, οι οποίες έχουν σκοπό την επεξεργασία και διαμόρφωση κανόνων κοινής δράσης που συντείνουν, στο πλαίσιο της κοινοτικής νομοθεσίας, στη δημιουργία ενιαίας εσωτερικής

αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και ειδικότερα στον καταμερισμό και την εκχώρηση δικαιωμάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των αντίστοιχων διασυνδέσεων, καθώς και στη διαχείριση των δικαιωμάτων αυτών για λογαριασμό των ως άνω διαχειριστών και ιδίως στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Διαχειριστών Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ENTSO-E).

- Εκπόνηση σε ετήσια βάση, κατόπιν διαβούλευσης με όλους τους υφιστάμενους και μελλοντικούς Χρήστες του ΕΣΜΗΕ, Δεκαετούς Προγράμματος Ανάπτυξης του ΕΣΜΗΕ
- Τήρηση των αναγκαίων διαχειριστικών λογιστικών λογαριασμών για την είσπραξη των εσόδων από τη διαχείριση συμφόρησης των διασυνδέσεων, ή άλλων χρεώσεων που προκύπτουν από τη λειτουργία και τη διαχείριση του ΕΣΜΗΕ
- Δημοσίευση στην ιστοσελίδα του καταλόγου όλων των εγκεκριμένων από τη ΡΑΕ τιμολογίων με τα οποία χρεώνει τους Χρήστες του Συστήματος.
- Υπολογισμός της Οριακής Τιμής Αποκλίσεων.
- Εκκαθάριση των Αποκλίσεων Παραγωγής - Ζήτησης και διευθέτηση των χρηματικών συναλλαγών στο πλαίσιο της διευθέτησης των Αποκλίσεων Παραγωγής - Ζήτησης σε συνεργασία με το ΛΑΓΗΕ και το Διαχειριστή του ΕΔΔΗΕ.
- Σύναψη, κατόπιν διαγωνισμού, συμβάσεων αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας, περιλαμβανομένων συμβάσεων διαχείρισης της ζήτησης, μόνον εφόσον αυτό απαιτείται για την παροχή των επικουρικών υπηρεσιών και για τις ανάγκες εξισορρόπησης των αποκλίσεων παραγωγής - ζήτησης κατά τη λειτουργία του συστήματος σε πραγματικό χρόνο και στο πλαίσιο των ρυθμίσεων του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος.
- Συνεργασία με το ΛΑΓΗΕ, σύμφωνα με τις διατάξεις του Κώδικα Συναλλαγών και του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος.
- Προσφορά συμβουλευτικών υπηρεσιών τεχνικής φύσεως σε θέματα της αρμοδιότητάς του σε διαχειριστές ή κυρίους συστημάτων μεταφοράς έναντι αμοιβής, καθώς και συμμετοχή σε ερευνητικά προγράμματα, καθώς και σε προγράμματα χρηματοδοτούμενα από την Ε.Ε., εφόσον δεν παρακωλύεται η άρτια εκτέλεση των καθηκόντων του. [2]

3.2 Λειτουργία του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς

3.2.1 Φορτία βάσης και αιχμής

Με τον όρο *Φορτίο* ονομάζουμε την ισχύ, η οποία αναφέρεται στην παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, σε κάποιο στιγμιαίο χρονικό διάστημα, σε κάποιο σημείο του συστήματος κατανάλωσης. Ενώ *φορτίο αιχμής* αποκαλούμε το μέγιστο φορτίο κατανάλωσης για ορισμένη χρονική περίοδο.

Σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο, είτε αυτό είναι ένα ισχυρό διασυνδεδεμένο δίκτυο (όπως αυτό της ηπειρωτικής χώρας) είτε είναι αυτόνομο (μεγάλης ή μικρότερης

ισχύος, όπως τα νησιά ανάλογα με το μέγεθός τους) σε κάθε χρονική στιγμή πρέπει να ικανοποιείται το ισοζύγιο της ισχύος, δηλαδή η ισχύς (το φορτίο) που απορροφάται από τους καταναλωτές πρέπει να είναι ίση, με μικρές αποκλίσεις, με αυτή που παράγουν οι βασικοί σταθμοί παραγωγής (θερμικοί, υδροηλεκτρικοί κλπ).

Η χρονική διακύμανση του φορτίου εντός της ημέρας είναι σχετικά προβλέψιμη ώστε να προσαρμόζεται σε αυτή η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από τους καταναμημένους σταθμούς για την κάλυψη του φορτίου. Για τεχνικούς λόγους και σε περιόδους χαμηλού φορτίου (π.χ πρώτες πρωινές ώρες), οι μεγάλοι θερμικοί σταθμοί δεν μπορούν να μειώσουν την παραγωγή τους κάτω από ένα τεχνικό ελάχιστο όριο, οπότε τις χρονικές αυτές περιόδους φαίνεται να περισσεύει ισχύς στο δίκτυο.

Η αύξηση της συμμετοχής της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται κυρίως από τους αιολικούς σταθμούς και τα φωτοβολταϊκά συστήματα, προκαλεί νέα τεχνικά προβλήματα στην διαχείριση ενός ηλεκτρικού δικτύου, τα οποία οφείλονται στην έντονη χρονική διακύμανση που παρουσιάζει η παραγωγή των αιολικών πάρκων, των φωτοβολταϊκών συστημάτων κ.τ.λ. και στην αδυναμία της ακριβής πρόβλεψης της παραγωγής τους.

Άρα στην ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας, που υπήρχε παραδοσιακά λόγω των τεχνικών ελαχίστων των μεγάλων θερμικών σταθμών παραγωγής και την κάλυψη των αιχμών ενός δικτύου, προστίθεται μία καινούργια που προέρχεται από την αύξηση της συμμετοχής των αιολικών πάρκων και των φωτοβολταϊκών σταθμών στο σύστημα παραγωγής.

Η ανάγκη αποθήκευσης μέρους της ενέργειας που προέρχεται από τις παραπάνω ΑΠΕ γίνεται τόσο πιο επιτακτική, ακόμη και σε ισχυρά διασυνδεδεμένα δίκτυα, καθώς η συμμετοχή της αιολικής ενέργειας συγκεκριμένα αρχίζει να πλησιάζει κάποια όρια πέρα από τα οποία προκαλείται αστάθεια στο ηλεκτρικό δίκτυο. Ήδη κάποιες χώρες έχουν φθάσει στο όριο αυτό οπότε η περαιτέρω ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας μπορεί να γίνει μόνο μέσω της ταυτόχρονης δυνατότητας αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα. Γενικά, η αποθήκευση της ενέργειας γίνεται αναγκαία τις ώρες που υπάρχει αυτή διαθέσιμη, έτσι ώστε να γίνει δυνατή και η παροχή της στο ηλεκτρικό δίκτυο κατά τις περιόδους αιχμής. [10]

Από όλους τους τρόπους αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων ισχύος και ενέργειας είναι αυτή της μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω άντλησης από μία χαμηλότερη στάθμη σε μία υψηλότερη. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την αποτελεσματική αντίστροφη διαδικασία, δηλ. την μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω υδροστροβίλων.

Η μέθοδος αυτή έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- ✓ Είναι αναστρέψιμη μέθοδος (αποθήκευση και τροφοδοσία του ηλεκτρικού δικτύου)
- ✓ Έχει γρήγορη απόκριση, δηλαδή δυνατότητα γρήγορης παραλαβής και

γρήγορης απόρριψης φορτίου πολύ μεγάλης ισχύος με αποτέλεσμα να αποτελεί την καλύτερη λύση που διαθέτει ο διαχειριστής ενός δικτύου ώστε να καλύπτει τις αιχμές φορτίου που παρουσιάζονται.

- ✓ Έχει σχετικά υψηλό βαθμό απόδοσης σε ένα πλήρη κύκλο
- ✓ Είναι τεχνολογικά ώριμη [11]

Γενικά, ο διαχειριστής ενός ηλεκτρικού δικτύου έχει να αντιμετωπίσει δύο ακραία προβλήματα:

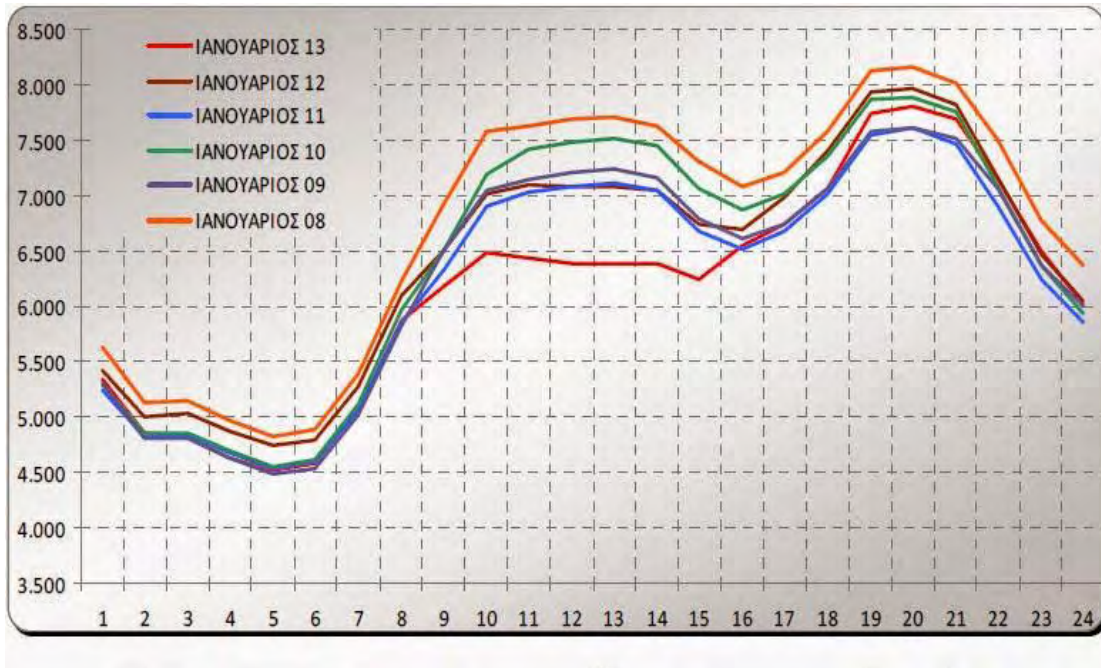
α) στις περιόδους χαμηλού φορτίου την καλύτερη δυνατή ενσωμάτωση στο δίκτυο της παραγωγής από τα αιολικά πάρκα, φωτοβολταϊκά κ.τ.λ. (προβλήματα ευστάθειας από την υψηλή διείσδυση) και

β) στις χρονικές περιόδους υψηλού φορτίου (υψηλής ζήτησης) και ιδιαίτερα στις αιχμές του φορτίου την διαθεσιμότητα μεγάλης ισχύος και ενέργειας μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Αναλυτικότερα, συνήθως για τις ώρες Ελλάδος, διακρίνονται οι εξής δύο περιπτώσεις:

1. **Φορτίο Βάσης:** Καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας, για την κύρια κάλυψη παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, λειτουργούν θερμοηλεκτρικοί σταθμοί οι οποίοι συντηρούνται με την καύση λιγνίτη, όμως απαιτούνται και επιπλέον μονάδες παραγωγής ενέργειας, όπως είναι τα αιολικά πάρκα κ.ο.κ, διότι οι σταθμοί αυτοί λόγω της ακατάπαυστης λειτουργίας τους δέχονται μεγάλες καταπονήσεις κυρίως στα καλώδια μεταφοράς.
2. **Φορτίο Αιχμής:** Στις ώρες αιχμής όσον αφορά την ζήτηση φορτίου (12μ.μ - 3.00μ.μ και 5μ.μ - 9.00 μ.μ), για την επαρκή κάλυψη των απαιτήσεων χρησιμοποιούνται μονάδες γρήγορης παραγωγής ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, φυσικού αερίου και υδροηλεκτρικές, οι οποίες όμως επιφέρουν και ένα μεγάλο κόστος για την λειτουργία τους εκείνο το χρονικό διάστημα.

Πίνακας 1.1: Παρακάτω δίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη ροής φορτίου που περιγράφει την ετήσια ζήτηση για τον μήνα Ιανουάριο.



Γενικά, οι καμπύλες φορτίου είναι χρήσιμες:

- ✓ Για τον ημερήσιο προγραμματισμό (διατήρηση διαθεσίμων σταθμών επαρκούς ισχύος για την αντιμετώπιση εκτάκτων ελλειμάτων)
- ✓ Για τον μακροχρόνιο προγραμματισμό (υπολογισμός πιθανών αναγκών κατανάλωσης)

3.2.2 Διαμόρφωση Οριακής Τιμής Συστήματος (ΟΤΣ)

Η Οριακή Τιμή του Συστήματος είναι η τιμή στην οποία εκκαθαρίζεται η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και είναι η τιμή που εισπράττουν όλοι οι όσοι εγχέουν ενέργεια στο Σύστημα και πληρώνουν όλοι όσοι ζητούν ενέργεια από το Σύστημα. Συγκεκριμένα, η Οριακή Τιμή του Συστήματος διαμορφώνεται από τον συνδυασμό των προσφορών τιμών και ποσοτήτων που υποβάλλουν κάθε μέρα οι διαθέσιμες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, και του ωριαίου φορτίου ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, που διαμορφώνεται σε καθημερινή βάση από τους καταναλωτές.

Επιχειρώντας μια απλή περιγραφή του τρόπου υπολογισμού της Οριακής Τιμής του Συστήματος, σύμφωνα με τις βασικές αρχές της μικροοικονομικής θεωρίας, μπορεί να αναφερθεί ότι οι μονάδες παραγωγής κατατάσσονται αναλόγως των προσφορών τους σε αύξουσα σειρά, ξεκινώντας από την χαμηλότερη προσφερόμενη τιμή για ορισμένη ποσότητα ενέργειας και καταλήγοντας στην υψηλότερη προσφερόμενη τιμή.

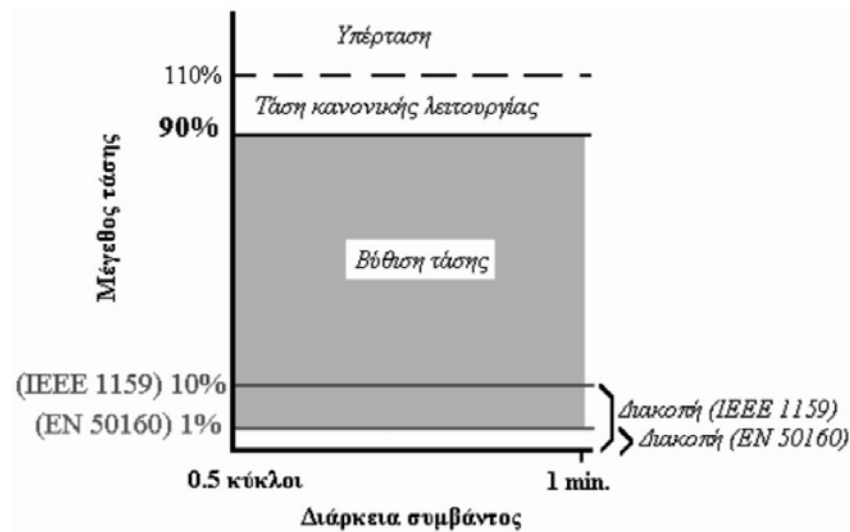
Στο σημείο, όπου οι προσφερόμενες ποσότητες ενέργειας εξυπηρετούν το ζητούμενο φορτίο, καθορίζεται και η Οριακή Τιμή του Συστήματος. Στην ουσία, η Οριακή τιμή του Συστήματος συμπίπτει με την προσφορά της τελευταίας μονάδας που πρέπει να λειτουργήσει για να καλυφθεί η ζήτηση.

Για λόγους προστασίας των καταναλωτών και διαμόρφωσης συνθηκών υγιούς ανταγωνισμού τίθεται διοικητικά ανώτερο όριο ως προς την προσφερόμενη τιμή, το οποίο έχει τεθεί ίσο με **150€/MWh** καθώς και κατώτερο επίπεδο προσφορών, το οποίο είναι το **μεταβλητό κόστος της μονάδας**, ώστε στις περισσότερες περιπτώσεις οι παραγωγοί να πληρώνονται το κόστος καυσίμου τους.

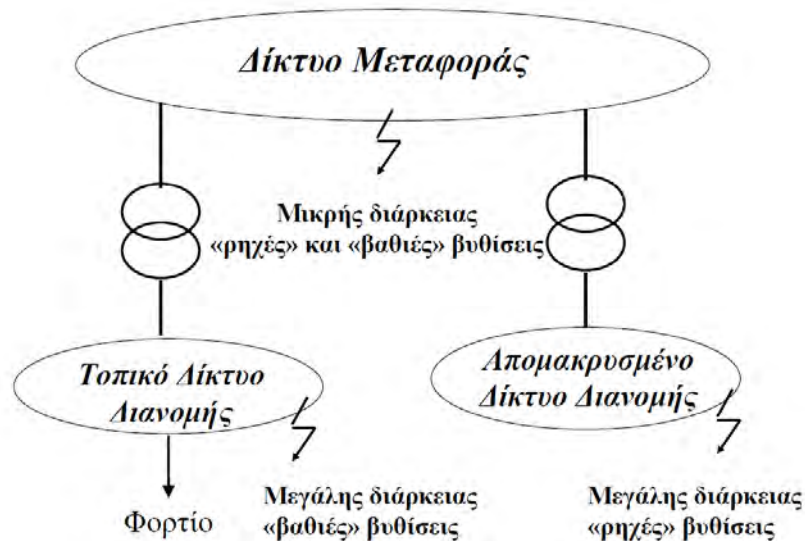
3.2.3 Πρόβλημα μετατόπισης αιχμής λόγω Φ/Β

Οι διαθέσιμες μονάδες παραγωγής των θερμικών σταθμών που θεωρούνται ως μονάδες τροφοδότησης του φορτίου βάσης του συστήματος ενισχύονται από τους συμπαραγωγικούς σταθμούς, όπως τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς και τους σταθμούς που χρησιμοποιούν τύπους ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΜΥΗΕ, CP, BI). Το άθροισμα αυτών των δύο τιμών προσδιορίζει την τιμή της συνολικής παραγόμενης ισχύος του συστήματος η οποία πρέπει να απορροφηθεί υποχρεωτικά από το σύστημα για την ασφάλεια λειτουργίας του.

Επομένως η κάλυψη της ζήτησης στις ώρες αιχμής ενισχύεται ειδικά από την παρουσία των Φωτοβολταϊκών συστημάτων και συγκεκριμένα για τις χειμερινές ώρες **12.00-17.00**, με αποτέλεσμα η αιχμή να μετατοπίζεται στο διάστημα **17.00 με 21.00** όπου τα Φ/Β αποσυνδέονται από το δίκτυο, λόγω μειωμένης ηλιοφάνειας. Όμως την στιγμή της αποσύνδεσης και για ένα χρονικό διάστημα της μιας (1) ώρας περίπου, οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί αδυνατούν να επαναφέρουν άμεσα την ισχύ που χάθηκε από το δίκτυο. Μια κατάσταση η οποία επιφέρει σημαντικά προβλήματα, όπως είναι η βύθιση τάσης (λόγω της αρχικής υψηλής τάσης) και αρκετές διαταραχές στην παροχή ρεύματος, καθώς οι λιγνιτικές μονάδες διατρέχουν προβλήματα καταπονήσεων και δεν μπορούν να εισφέρουν πάνω από 24 GWh έναντι αρχικών υπολογισμών της ΔΕΗ για 27GWh. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να θεωρείται αναγκαία η εισαγωγή μονάδων φυσικού αερίου και υδροηλεκτρικών την στιγμή της αποσύνδεσης των Φ/Β, ώστε το σύστημα να καταφέρει να λειτουργήσει επαρκώς και ισορροπημένα, μέχρι οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί να επαναφέρουν την ισχύ που απαιτείται.

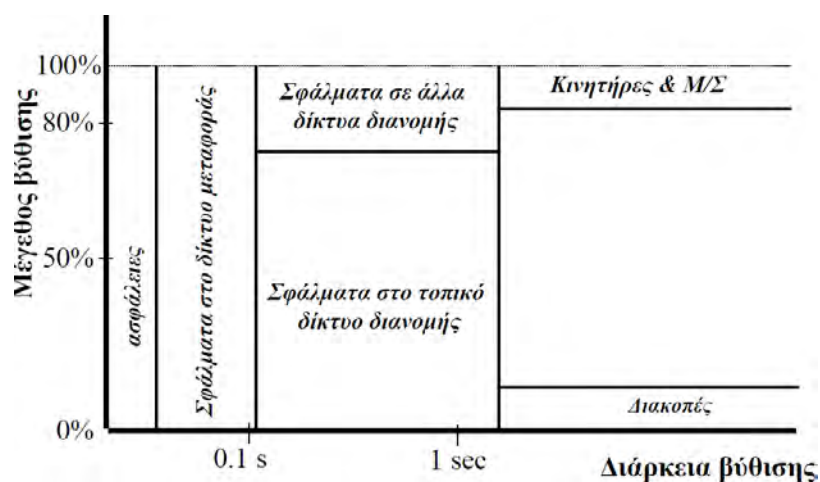


Αναλυτικότερα, και όπως αναφέρθηκε, η απότομη απώλεια κάλυψης φορτίου λόγω των Φ/Β προκαλεί βύθιση τάσης. **Βύθιση τάσης** είναι η μικρής διάρκειας μείωση της ενεργού τιμής της τάσης κυρίως λόγω σφαλμάτων στο δίκτυο ή λόγω της εκκίνησης μεγάλων κινητήρων. Ο τύπος του σφάλματος και οι συνδεσμολογίες των μετασχηματιστών μεταξύ του σφάλματος και του φορτίου επηρεάζουν το μέγεθος της τάσης. Η διάρκεια εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα λειτουργίας του συστήματος προστασίας προκειμένου να απομονωθεί το τμήμα του δικτύου όπου εμφανίστηκε το σφάλμα. Επίσης μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σε μεγάλο αριθμό συσκευών. Ηλεκτρονικοί υπολογιστές, κινητήρες ελεγχόμενης ταχύτητας (**adjustable speed drives ASD**), συστήματα ελέγχου (PLC) είναι φορτία ιδιαίτερα ευαίσθητα σε βυθίσεις τάσης. Κάποιες συσκευές δεν μπορούν να αντέξουν τάση κάτω από 90% της ονομαστικής για 1 ή 2 κύκλους. Πολλές ηλεκτρονικές συσκευές και κινητήρες ρυθμιζόμενης ταχύτητας παρουσιάζουν προβλήματα (λανθασμένη λειτουργία, αποσύνδεση λόγω λειτουργίας της προστασίας τους) για βυθίσεις τάσης κάτω από 70% για περισσότερο από 100 msec .



Συνοπτικά, οι αιτίες αναγράφονται παρακάτω:

1. Εκκίνηση κινητήρων ή απότομη αλλαγή φορτίου (απότομη πτώση, αργή ανάκαμψη, συμμετρική βύθιση).
2. Ενεργοποίηση μετασχηματιστών (απότομη πτώση, αργή ανάκαμψη, ασύμμετρη βύθιση).
3. Βραχυκυκλώματα - σφάλματα στο δίκτυο από εξωγενείς παράγοντες όπως εκσκαφές, καταστροφή τμημάτων του δικτύου μεταφοράς από κεραυνούς ή πτώση δέντρων ή πουλιά κ.τ.λ. (απότομη πτώση, απότομη ανάκαμψη, συμμετρική ή ασύμμετρη βύθιση). [12]



3.3 Λειτουργία στα Δίκτυα Διανομής

3.3.1 Συμβατική Λειτουργία Μετρητών

Σε αντίθεση με το συμβατικό ρολόι, ο έξυπνος μετρητής παρέχει μεγάλες δυνατότητες τόσο στον προμηθευτή όσο και στον καταναλωτή. Στόχος των ηλεκτρονικών- έξυπνων μετρητών είναι να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την ενεργειακή κατανάλωση του εκάστοτε καταναλωτή. Οι μετρητές αυτοί τείνουν να αλλάξουν τις ενεργειακές συνήθειες των καταναλωτών βραχυπρόθεσμα, και να αποτελέσουν επίσης ένα σημαντικό βήμα προς τη δημιουργία έξυπνων δικτύων στο μέλλον. Η συγκεκριμένη μορφή τεχνολογίας θα βοηθήσει στην εξοικονόμηση χρημάτων από τους καταναλωτές και θα συνεισφέρει στη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Έτσι, πλέον, οι ίδιοι οι καταναλωτές θα μπορούν να διαχειρίζονται την κατανάλωση τους (και το ενεργειακό κόστος) περισσότερο αποτελεσματικά ως προς το κόστος και θα είναι ευκολότερο να επιλέγουν και να αλλάζουν προμηθευτές. Οι προμηθευτές, από τη μεριά τους, θα μπορούν να προσφέρουν μεγαλύτερο εύρος οικονομικών πακέτων-προσφορών, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας σε ώρες μη αιχμής.

Οι έξυπνοι μετρητές και το τεχνολογικό πεδίο της τηλεμέτρησης παίζουν από κοινού ένα πολύ σημαντικό ρόλο όσον αφορά στη μείωση της ενέργειας που καταναλώνουν, αλλά και των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Επίσης, βελτιώνουν την ποιότητα, την ακρίβεια και το εύρος των υπηρεσιών που παρέχονται από τους προμηθευτές ενέργειας. Μακροπρόθεσμα, η τηλεμέτρηση θα αποτελέσει πολύ σημαντικό παράγοντα για τη δημιουργία έξυπνων ενεργειακών δικτύων.

Ένα από τα βασικότερα εργαλεία που χρησιμοποιείται για την υλοποίηση του ανοίγματος της αγοράς ενέργειας είναι η Μετρητική Διάταξη σε συνδυασμό με το συναφή εξοπλισμό καταγραφής και συγκέντρωσης δεδομένων, που αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα του συστήματος "Αυτόματης Διαχείρισης Μετρητών" (*Automated Meter Management-AMM*)/"Προηγμένων Υποδομών Μέτρησης" (*Advanced Meter Infrastructure-AMI*).

Αναπόσπαστο τμήμα της προτεινόμενης λύσης μέτρησης αποτελεί το Τηλεπικοινωνιακό και Πληροφοριακό Σύστημα που χρησιμοποιείται για τη συλλογή των μετρητικών δεδομένων, τις υπηρεσίες οπισθόζευξης (*backhaul*) των δεδομένων στο υποσύστημα AMM, και τα επόμενα συστήματα λογισμικού που απαιτούνται για την επικύρωση, εκτίμηση και επεξεργασία (VEE). Αυτό θα συμπεριλαμβάνει και τη διασύνδεση με τρίτα συστήματα επιπροσθέτως της τήρησης αρχείου ιστορικών στοιχείων και προβολής των δεδομένων της κατανάλωσης.

Επιπλέον, οι έξυπνοι μετρητές δίνουν τη δυνατότητα στον καταναλωτή να:

- ελέγχει online πόσο ρεύμα καταναλώνει, ώστε να υπάρχει ορθολογικότερη χρήση
- ενημερώνεται για τυχόν προγραμματισμένες διακοπές ρεύματος
- έχει πρόσβαση σε ιστορικά δεδομένα κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος.

Δεδομένου ότι με τους έξυπνους μετρητές θα καθιερωθεί φθηνότερο κόστος ενέργειας τις ώρες χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, θεωρητικά τουλάχιστον, θα ενθαρρυνθεί η χρήση λιγότερης ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές και η μετατόπιση της χρήσης σε ώρες εκτός αιχμής. Σημαντικό πλεονέκτημα του έξυπνου δικτύου είναι ο γρηγορότερος εντοπισμός βλαβών και η επαναφορά από blackout. Από την άλλη, το έξυπνο δίκτυο θα αυξήσει και σημαντικά τα σημερινά επίπεδα ηλεκτρομαγνητικής ρύπανσης, αφού οι έξυπνοι μετρητές, αλλά και οι έξυπνες ηλεκτρικές συσκευές που ήδη βρίσκονται στην αγορά, θα εκπέμπουν ακτινοβολίες είτε ασύρματα είτε μέσω των καλωδίων ρεύματος, για να επικοινωνήσουν μεταξύ τους.

3.3.2 Σκοπός και Υλοποίηση των Έξυπνων μετρητών

Ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε σχεδιάζει ως πρωταρχικό στόχο, την εφαρμογή Πιλοτικού Προγράμματος για την εγκατάσταση, δοκιμή και λειτουργία τουλάχιστον 160.000 μετρητών σε επιλεγμένες γεωγραφικές περιοχές του δικτύου διανομής, μέσα από το οποίο θα μπορεί να τεκμηριωθεί τεχνοοικονομικά η επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού τεχνολογίας Μετρητών, Τηλεπικοινωνιών και Κέντρου Συλλογής και Επεξεργασίας Μετρητικών Δεδομένων. Σε δεύτερο επίπεδο, το Πρόγραμμα αυτό στοχεύει στο να διασφαλίσει ότι τα Δεδομένα από το δίκτυο μετρητών μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άλλα εσωτερικά συστήματα του ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. και συγκεκριμένα από το Σύστημα Διαχείρισης Βλαβών, το Σύστημα Διαχείρισης του Δικτύου Διανομής και άλλα συστήματα (SAP, κ.λπ.). Η χρησιμοποίηση των δεδομένων από το δίκτυο μετρητών θα γίνεται χωρίς κάποια επιβάρυνση στη λειτουργία οποιουδήποτε διασυνδεδεμένου συστήματος ή του ιδίου του δικτύου μετρητών.



Οι γεωγραφικές περιοχές της χώρας που θα πραγματοποιηθεί το πιλοτικό πρόγραμμα είναι οι εξής:

- Νήσος Λέσβος
- Νήσος Λήμνος
- Νήσος Αγ. Ευστράτιος
- Νήσος Λευκάδα
- Αθήνα
- Θεσσαλονίκη
- Νομός Ξάνθης

Το Σύστημα στοχεύει στην επέκταση της υπάρχουσας υποδομής και στη δημιουργία της απαραίτητης νέας υποδομής και οργάνωσης, ώστε να επιτευχθεί:

- Η αποτελεσματική και έγκυρη συγκέντρωση, επεξεργασία, διαχείριση και αποθήκευση μετρητικών δεδομένων των πελατών και εν γένει χρηστών του Δικτύου Διανομής,
- Η παροχή πρόσβασης σε τέτοιου είδους πληροφορίες στους κατά το νόμο δικαιούχους.
- Η δυνατότητα για αυτόματη παραγωγή των στοιχείων που είναι απαραίτητα για την υποστήριξη μιας ανάλυσης κόστους/όφελους, που θα περιλαμβάνει την τεκμηρίωση όλων των ροών και διεργασιών που απαιτούνται για τη συγκριτική αξιολόγηση των λειτουργιών πριν και μετά την εγκατάσταση/τροποποίηση.

Επιπρόσθετα, η διαδικασία του Πιλοτικού στοχεύει στην επίτευξη των παρακάτω επιχειρηματικών στόχων, μέσω τεχνολογίας, που θα προωθήσει τη διαδικασία καθώς θα επεκταθεί η ανάπτυξη:

- Τεκμηρίωση των μέτρων που θα χρησιμοποιηθούν ως βάση για τη χρήση στοιχείων που είναι διαθέσιμα σήμερα, πριν από αναβαθμίσεις/επεκτάσεις του συστήματος, ώστε οι μελλοντικές διαμορφώσεις του συστήματος AMM/AMI να μπορούν να συγκριθούν και να φανεί η απτή αξία.
- Καθιέρωση ρεαλιστικών οδηγιών σε δημογραφικά στοιχεία, την αρχιτεκτονική και τις επιχειρηματικές λειτουργίες που περιβάλλουν καταναλωτές που θα μπορούσαν να ωφεληθούν από ένα σύστημα προπληρωμών.
- Καθιέρωση ρεαλιστικών οδηγιών σε δημογραφικά στοιχεία, την αρχιτεκτονική και τις επιχειρηματικές λειτουργίες που σχετίζονται με την ένταξη και λειτουργία των ηλεκτρικών οχημάτων στο δίκτυο διανομής.

Είναι σημαντική η υλοποίηση μιας διαδικτυακής πύλης (web portal) του καταναλωτή, που επιτρέπει στους καταναλωτές την πρόσβαση στα πρόσφατα και στα ιστορικά δεδομένα χρήσης καθώς και στα στοιχεία των χρεώσεων. Τα δεδομένα χρήσης λαμβάνονται από τη βάση δεδομένων του MDM (ή του MDM mirror, όπου έχει εφαρμογή) που περιλαμβάνεται στην υποδομή του ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε., και τα στοιχεία των χρεώσεων λαμβάνονται από τον προμηθευτή του πελάτη. Θα πρέπει να υπάρξουν και εφαρμοσθούν προβλέψεις για τη συνέχεια των δεδομένων και την απρόσκοπτη παρουσίασή τους.

Η διαδικτυακή πύλη του καταναλωτή επιτρέπει επίσης προηγμένες λειτουργίες όπως προπληρωμή και ενδεχομένως και αυτόματη πληρωμή του προμηθευτή. Με τη διαδικτυακή πύλη του καταναλωτή λειτουργεί και μία πλατφόρμα κινητής που επιτρέπει την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. και καταναλωτή ή μεταξύ καταναλωτή και προμηθευτή. Αυτή η λειτουργία

επιτρέπει την ειδοποίηση σε πραγματικό χρόνο των καταναλωτών και την επιβεβαίωση της λήψης, επιτρέποντας μεγαλύτερη ευελιξία στον προγραμματισμό γεγονότων του συστήματος, όπως η απόκριση ζήτησης. Θεωρείται ότι οι ίδιες περίπου λειτουργίες που υπάρχουν στη διαδικτυακή πύλη του καταναλωτή θα είναι διαθέσιμες και στην πλατφόρμα κινητής, οπότε και πάλι θα πρέπει να υπάρξουν και να εφαρμοσθούν προβλέψεις για τη συνέχεια των δεδομένων και την απρόσκοπτη παρουσίασή τους.

Ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. αναγνωρίζει ότι οι λειτουργίες που σχετίζονται με τις χρεώσεις της πλατφόρμας κινητής και της διαδικτυακής πύλης εξαρτώνται από τον προμηθευτή και ζητά το κόστος της ενσωμάτωσης και χρήσης αυτών των λειτουργιών να εμφανίζεται ξεχωριστά στο κείμενο της προσφοράς.

Το υπό προμήθεια **Κέντρο Τηλεμέτρησης** πρέπει στην παρούσα φάση, να έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει τουλάχιστον 250.000 ανεξάρτητα σημεία μέτρησης. Στην παρούσα φάση και στο πλαίσιο του συγκεκριμένου έργου τα μετρητικά σημεία που θα ενταχθούν στο Κεντρικό Σύστημα θα είναι περίπου 130.000 μονοφασικά και 30.000 τριφασικά.

Το Κεντρικό Σύστημα θα περιλαμβάνει και ένα **Εφεδρικό Σύστημα** (ίδιας δυναμικότητας) που θα εγκατασταθεί σε διαφορετικό χώρο και θα βρίσκεται σε κατάσταση “*hot stand-by*” με το Κεντρικό Σύστημα. Για την υλοποίηση του Πιλοτικού Έργου “*hot stand-by*” είναι η ικανότητα ανάληψης λειτουργίας σε περίπτωση **παύσης λειτουργίας** (*failover*) του Κυρίου Συστήματος σε μία ώρα από τη λήψη της απόφασης. Ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. διατηρεί το δικαίωμα να μειώσει το παραπάνω διάστημα για την εναρμόνιση με τα εσωτερικά συστήματα.

Το Εφεδρικό Σύστημα θα έχει όλες τις δυνατότητες του κύριου συστήματος και θα πρέπει να λειτουργεί όπως το κύριο σύστημα μέσα στο παραπάνω χρονικό διάστημα (*failover*), μετά τη λήψη της σχετικής απόφασης. Ωστόσο, για τις κρίσιμες λειτουργίες, και τα δύο συστήματα θα πρέπει να είναι συγχρονισμένα (ταυτόχρονη ανανέωση σε διάστημα ενός λεπτού) ώστε οι κρίσιμες λειτουργίες υλοποιούνται με επιτυχία, χωρίς διπλά συμβάντα, και ώστε κάθε σύστημα να αντανakλά την κατάσταση της λειτουργίας που ολοκληρώθηκε.

Τέτοιες κρίσιμες λειτουργίες είναι:

- Σύνδεση ή αποσύνδεση του καταναλωτή μέσω εντολής που αποστέλλεται στον μετρητή.
- Εντολή(ές) που αποστέλλονται στο μετρητή για τους σκοπούς της διαχείρισης φορτίου.
- Εντολές που έχουν σκοπό τη μεταβολή της διαμόρφωσης του μετρητή, της περιόδου χρέωσης, κ.λπ. [13]

3.4 Μειονεκτήματα του Ελληνικού Συστήματος

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας αντιμετωπίζουν συγκεκριμένα προβλήματα σχεδιασμού και λειτουργίας τα οποία κύρια αφορούν την ασφάλεια και την αξιοπιστία λειτουργίας τους και προκαλούν επιπτώσεις στο κόστος και την ποιότητα παροχής ηλεκτρικής ισχύος στους καταναλωτές. Επομένως πολύ συχνά κρίνεται αναγκαίο να εξασφαλίζεται μια επαρκής ποσότητα εφεδρικής παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, έτσι ώστε να είναι δυνατή η αντιμετώπιση κρίσιμων καταστάσεων λειτουργίας, όπως είναι η απώλεια των διαθέσιμων μονάδων παραγωγής του συστήματος λόγω εξαναγκασμένων βλαβών ή προγραμματισμένων εργασιών συντήρησης.

Επίσης, η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας αυξάνεται διαρκώς. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας οι ανάγκες του πλανήτη θα αυξηθούν κατά 35-40% μέσα στα επόμενα 15 χρόνια, κυρίως εξαιτίας της σημαντικής αύξησης του πληθυσμού της γης, της αύξησης των οικονομικών και αναπτυξιακών δραστηριοτήτων σε όλο τον πλανήτη και της σημαντικής βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου και όσων αυτή συνεπάγεται. Τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων του πλανήτη (άνθρακας και πετρέλαιο) δεν είναι ανανεώσιμα και σε προβλέσιμο χρονικό διάστημα θα εξαντληθούν. Επιπλέον, η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων προκάλεσε και συνεχίζει να προκαλεί σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, καθώς και σημαντικές κλιματολογικές αλλαγές, που αποτελούν μεγάλες απειλές για το μέλλον της ανθρωπότητας.

Πιο συγκεκριμένα, η χρήση των ορυκτών καυσίμων έχει προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στη ζωή και στο περιβάλλον προκαλώντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου και της όξινης βροχής, με τις καταστροφικές τους κλιματικές αλλαγές. Σύμφωνα με πηγές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας 160,000 άνθρωποι πεθαίνουν ετησίως από τις παρενέργειες της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας και υπολογίζεται ότι μέχρι το 2020 η περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη θα οδηγήσει σε αύξηση των θυμάτων των πλημμύρων κατά 240%. Ενώ, από μετρήσεις που γίνονται προκύπτει ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα αυξάνουν σταθερά χρόνο με το χρόνο, με τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής να έχει τη μεγαλύτερη άμεση συμμετοχή στις εκπομπές αυτές. Είναι, λοιπόν, για ακόμη μια φορά, επιτακτική η ανάγκη να ελαττώσουμε την εξάρτησή μας από τις συμβατικές μορφές ενέργειας αντικαθιστώντας τις με άλλες, ανανεώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον. Μελέτες δείχνουν ότι το συνολικό δυναμικό των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι τουλάχιστον 20 φορές μεγαλύτερο από αυτό που χρησιμοποιείται σήμερα.

Διάρκεια ζωής παγκόσμιων αποθεμάτων εξαντλήσιμων πηγών ενέργειας

Καύσιμο	Χρόνια
Λιγνίτες	510

Γαιάνθρακες	130
Φυσικό Αέριο	65
Πετρέλαιο	43

Υπολογίζεται ότι ο πρωτόγονος άνθρωπος χρησιμοποιούσε για τις ανάγκες του ενέργεια ίση με 6,3 MJ την ημέρα που έπαιρνε μέσω της τροφής του. Ο σημερινός άνθρωπος χρησιμοποιεί περίπου 1000 MJ δηλαδή 150 φορές περισσότερη.

Ενώ επιγραμματικά τα πλέον βασικά μειονεκτήματα μπορούν να συγκεντρωθούν ως εξής:

I. Περιορισμένο Σύστημα Μεταφοράς

Για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται ένα εποπτικό σύστημα ελέγχου Ηλεκτρικών Δικτύων και διαχείρισης Ενεργειακών Συστημάτων (SCADA), το οποίο παρέχει περιορισμένο εύρος ζώνης και σχετικά πιο αργούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, με αποτέλεσμα να απαιτούνται αρκετά δευτερόλεπτα ή περισσότερο για να ανταποκριθεί σε μια έκτακτη ανάγκη ή τυχόν αλλαγή συστήματος. Ενώ δεν υπάρχει «πρόσβαση» στο δίκτυο διανομής πέραν των υποσταθμών.

II. Υψηλό κόστος διακοπής του ρεύματος και της ποιότητας διακοπής του

Στην Ελλάδα κάθε χρόνο, η παροχή ρεύματος διακόπτεται για Χ ώρες, κάτι το οποίο οδηγεί σε μεγάλη οικονομική απώλεια, ιδιαίτερα στις βιομηχανίες που απαιτούν υψηλή ποιότητα και ποσότητα ρεύματος.

III. Η αναποτελεσματικότητα στη διαχείριση του φορτίου αιχμής

Οι απαιτήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας διαφέρουν συνεχώς, οπότε το κόστος, ώστε το δίκτυο να ανταποκριθεί σε αυτές, διαμορφώνεται αντίστοιχα. Για το υπάρχον δίκτυο, η παροχή πρέπει να αλλάζει συνεχώς σύμφωνα με τις απαιτήσεις και το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει επίσης να διατηρεί αποθηκευμένη επιπρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια, η οποία οδηγεί όμως σε χαμηλότερη απόδοση, υψηλότερες εκπομπές, και υψηλότερο κόστος.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω ζητήματα, το υπάρχον δίκτυο πρέπει να αλλάξει ριζικά για να ανταποκριθεί στις επιταγές της σύγχρονης κοινωνίας και να συνδυαστεί και με άλλες μορφές ενέργειας όπως εκείνες που αναφέρθηκαν ήδη. Αλλά ταυτοχρόνως να δοθεί και η δυνατότητα σε νέες και πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες όπως τα Έξυπνα Δίκτυα, που κατορθώνουν να καλύψουν πολλές από τις παραπάνω ανάγκες που αναφέρθηκαν.

Κεφάλαιο 4^ο

4.1 Περιγραφή Έξυπνου Δικτύου (Smart Grid)

Με τον απλό όρο Δίκτυο ορίζουμε το Ηλεκτρικό Σύστημα που υποστηρίζει μία ή όλες τις παρακάτω λειτουργίες: Παραγωγή, μεταφορά, διανομή και έλεγχος ενέργειας.

Ο όρος Έξυπνο Δίκτυο (ή αλλιώς Δίκτυο του μέλλοντος) αναφέρεται σε ένα τελειώς εκσυγχρονισμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας το οποίο παρακολουθεί, προστατεύει και βελτιστοποιεί τη λειτουργία των διασυνδεδεμένων σε αυτό στοιχείων από άκρο σε άκρο. Πρόκειται για μια υποδομή που στόχο έχει την ενίσχυση της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας μέσω αυτομάτου ελέγχου, μετατροπών υψηλής ισχύος, σύγχρονης δομής επικοινωνιών, τεχνολογιών αισθητήρων/ μετρητών και σύγχρονων τεχνικών διαχείρισης ενέργειας βασισμένων στη βελτιστοποίηση της ζήτησης, τη διαθεσιμότητα της ενέργειας και του δικτύου κ.ά. Το σύστημα περιλαμβάνει κεντρικές και κατακεντρωμένες ηλεκτρικές γεννήτριες μέσω του δικτύου υψηλής τάσης και σύστημα διανομής χαμηλής τάσης σε βιομηχανικούς χρήστες ή συστήματα αυτοματισμού οικιακών κτηρίων, σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας και σε τελικούς καταναλωτές.

Το έξυπνο δίκτυο θα χαρακτηρίζεται από αμφίδρομη ροή ηλεκτρικής ενέργειας και πληροφοριών για τη δημιουργία ενός αυτοματοποιημένου, ευρέως κατακεντρωμένου δικτύου διανομής ενέργειας. Ενσωματώνει στο δίκτυο τα πλεονεκτήματα των κατακεντρωμένων υπολογιστικών συστημάτων και των επικοινωνιών, για τη μεταφορά σε πραγματικό χρόνο πληροφοριών με σκοπό την εξισορρόπηση της παροχής και της ζήτησης ρεύματος. Επίσης, τα έξυπνα δίκτυα ηλεκτροδότησης μπορούν και διορθώνουν σφάλματα και ταραχές (black-outs), μετατρέποντας έτσι το δίκτυο σε ένα δυναμικό δίκτυο. Παράλληλα επιτρέπουν τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για κάλυψη αναγκών σε ευρεία κλίμακα και ανοίγουν το εμπόριο ενέργειας. Η εκπομπή διοξειδίων του άνθρακα και το κόστος μειώνονται σημαντικά. Τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούν, κυρίως, υπάρχουσες τεχνολογίες, αλλά τις εφαρμόζουν με νέους τρόπους στη λειτουργία του δικτύου. [9]

Παρακάτω παρατίθενται ορισμένες από τις βασικές διαφορές ανάμεσα στο υπάρχον και τα Smart Grids:

➤ Σύγκριση Παρόντος Δικτύου και Smart Grid

Παρόν Δίκτυο	Smart Grid
Ηλεκτρομηχανικό	Ψηφιακό
Μονής Κατεύθυνσης	Διπλής Κατεύθυνσης
Κεντρική Παραγωγή	Κατακεμημένη Παραγωγή
Ελάχιστοι Σένσορες	Παντού σένσορες
Manual monitoring	Self-monitoring
Manual restoration (χειροκίνητη αποκατάσταση δικτύου)	Self-healing (αυτο-άνοσο σύστημα)
Βλάβες και blackouts	Adaptive and islanding (αυτόνομη λειτουργία)
Περιορισμένος Έλεγχος	Διάχυτος Έλεγχος (Pervasive control)
Ελάχιστες επιλογές πελατών	Πολλές επιλογές πελατών

Το Έξυπνο δίκτυο (Smart Grid) είναι ένα σύνολο συμπληρωματικών στοιχείων όπως υποσταθμοί, λειτουργίες, υπηρεσίες κάτω από τον επιτήρηση υψηλά ανεπτυγμένων συστημάτων διαχείρισης και ελέγχου. Έτσι σε μια τεχνική μελέτη ενός Smart Grid, προκύπτουν παρακάτω τα 3 μεγάλα συστήματα:

- **Έξυπνο σύστημα υποδομής:** Είναι το σύστημα το οποίο είναι υπεύθυνο για την ενέργεια, την πληροφόρηση και την επικοινωνία όπου βασίζεται το έξυπνο δίκτυο, και υποστηρίζει: 1) την ανεπτυγμένη παραγωγή, μεταφορά και κατανάλωση ενέργειας, 2) την ανεπτυγμένη μέτρηση, παρακολούθηση και διαχείριση ενέργειας και 3) τις ανεπτυγμένες τεχνολογίες επικοινωνίας.
- **Έξυπνο σύστημα Διαχείρισης:** Το σύστημα αυτό προσφέρει υπηρεσίες διαχείρισης και ελέγχου της ενέργειας, με στόχους την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, των χαρακτηριστικών της ζήτησης, την μείωση του κόστους και τον έλεγχο των εκπομπών.
- **Έξυπνο σύστημα Προστασίας:** Είναι το υπεύθυνο για την αξιόπιστη χρήση του δικτύου, προστασία από πιθανές βλάβες, καθώς και άλλες υπηρεσίες ασφαλείας.

Οι προσκλήσεις που έχει να αντιμετωπίσει και οι ανάγκες του μελλοντικού έξυπνου δικτύου μεταφοράς συνοψίζονται σε τέσσερις κατηγορίες.

- ✓ **Προκλήσεις Υποδομής.** Η υπάρχουσα υποδομή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας περιέχει στοιχεία που γερνούν γρήγορα. Με την πίεση των αυξανόμενων απαιτήσεων φορτίου, η συμφόρηση του δικτύου γίνεται όλο

και χειρότερη. Τα γρήγορα εργαλεία online ανάλυσης, η ευρείας ζώνης παρακολούθηση, οι μετρήσεις και ο έλεγχος, και η γρήγορη και ακριβής προστασία κρίνονται ως απαραίτητα στοιχεία για να βελτιωθεί η αξιοπιστία των δικτύων.

- ✓ **Περιβαλλοντικές προκλήσεις.** Η παραδοσιακή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όντας η μεγαλύτερη δημιουργημένη από τον άνθρωπο πηγή εκπομπής CO₂, πρέπει να αλλάξει ώστε να αμβλυνθεί η κλιματική αλλαγή. Παράλληλα, έχει προβλεφθεί ανεπάρκεια ορυκτών καυσίμων στις επόμενες δεκαετίες. Φυσικές καταστροφές, όπως θύελλες, σεισμοί και τυφώνες μπορούν εύκολα να καταστρέψουν το δίκτυο μεταφοράς. Τέλος, ο διαθέσιμος και κατάλληλος χώρος για τη μελλοντική επέκταση του δικτύου έχει μειωθεί δραματικά.
- ✓ **Καινοτόμες Τεχνολογίες.** Από τη μία πλευρά, οι καινοτόμες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων νέων υλικών, προηγμένων ηλεκτρονικών ισχύος και τεχνολογιών επικοινωνιών, δεν είναι ακόμα ώριμες ή εμπορικά διαθέσιμες για την επανάσταση των δικτύων μεταφοράς. Από την άλλη, στο υπάρχον δίκτυο υπάρχει έλλειψη συμβατότητας για να δεχθεί την εφαρμογή spear-point τεχνολογιών στα πρακτικά δίκτυα.
- ✓ **Ανάγκες αγοράς/καταναλωτών.** Χρειάζεται να αναπτυχθούν ολοκληρωμένες τεχνολογίες λειτουργίας του συστήματος αλλά και πολιτικές για την αγορά ενέργειας, ώστε να στηρίξουν τη διαφάνεια και την ελευθερία της ανταγωνιστικής αγοράς. Η ικανοποίηση των πελατών από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να βελτιωθεί με την παροχή υψηλού λόγου ποιότητας/τιμής και με τη δυνατότητα των καταναλωτών να αλληλεπιδρούν με το δίκτυο. [8]

4.2 Βασικά χαρακτηριστικά των Smart Grids

- 1) **Αξιοπιστία και Ευστάθεια.** Με τον όρο αξιοπιστία αναφερόμαστε στην ικανότητα ενός συστήματος ή και στοιχείων αυτού να εκτελούν τις απαιτούμενες λειτουργίες υπό δεδομένες συνθήκες για καθορισμένο χρονικό διάστημα. Με την αξιοπιστία απαιτούμε οι βλάβες του συστήματος να συμβαίνουν με μικρή πιθανότητα, ενώ σε περίπτωση που κάτι πάει στραβά, η επίπτωσή του στο συνολικό σύστημα να είναι ελάχιστη και το δυσλειτουργικό στοιχείο να αντικατασταθεί ή επιδιορθωθεί όσο το δυνατόν συντομότερα. Το έξυπνο δίκτυο πρέπει να εγγυάται σταθερότητα της τάσης και του ρεύματος, να περιορίζει τη ζήτηση αιχμής και τη μεταβλητότητα του φορτίου.
- 2) **Διαθεσιμότητα.** Η διαθεσιμότητα της ενέργειας και των επικοινωνιών είναι ουσιώδης για τη ζήτηση ενέργειας και πληροφοριών από τους καταναλωτές και βασίζεται στη διαθεσιμότητα των 23 δεδομένων που ανταλλάσσονται στο

δίκτυο. Ο βαθμός διαθεσιμότητας που απαιτείται, ειδικά όταν πρόκειται για θέματα που σχετίζονται με την καθυστέρηση ή την ασφάλεια, είναι υψηλός.

- 3) **Ασφάλεια.** Η έννοια της ασφάλειας απευθύνεται στις δυσλειτουργίες του συστήματος που οφείλονται σε ανθρώπινα αίτια, όπως εσκεμμένες επιθέσεις και μη εξουσιοδοτημένες τροποποιήσεις. Μια ασφαλής και σίγουρη συνδεσιμότητα μεταξύ προμηθευτών και καταναλωτών παρέχει προστασία για τις κρίσιμες εφαρμογές και τα δεδομένα αλλά και άμυνες ενάντια σε παραβιάσεις της ασφάλειας.
- 4) **Ευελιξία.** Η ευελιξία επιτρέπει στο έξυπνο δίκτυο να παρέχει πολλαπλές εναλλακτικές διαδρομές για τη ροή της ενέργειας και των δεδομένων, ενώ επίσης παρέχει επιλογές για να είναι εφικτός ο έλεγχος και η λειτουργία όποτε χρειάζεται.
- 5) **Ψηφιοποίηση.** Πρόκειται για θεμελιώδες χαρακτηριστικό που θα διευκολύνει την υλοποίηση άλλων έξυπνων λειτουργιών. Το έξυπνο δίκτυο θα χρησιμοποιεί μια ψηφιακή πλατφόρμα για γρήγορη και αξιόπιστη ανίχνευση, μέτρηση, επικοινωνία, υπολογισμό, έλεγχο, προστασία, απεικόνιση και συντήρηση ολόκληρου του συστήματος μεταφοράς.
- 6) **Μετρησιμότητα και Ελεγκσιμότητα.** Η διακοπή υπηρεσιών και οι βλάβες είναι περιστατικά σοβαρά και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να συμβούν. Το έξυπνο δίκτυο είναι σε θέση να εντοπίζει και να διορθώνει λειτουργικές διαταραχές μέσω δυναμικών μετρήσεων και παρακολούθηση πραγματικού χρόνου.
- 7) **Δυνατότητα συντήρησης.** Αντανακλά ουσιαστικά τη μακροβιότητα και την αξιοπιστία ενός συστήματος. Το έξυπνο δίκτυο θα πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο που να διευκολύνει τη συντήρηση, έτσι ώστε τα διάφορα στοιχεία ενέργειας και επικοινωνιών να επιδιορθώνονται γρήγορα και με τρόπο οικονομικά αποδοτικό.
- 8) **Προσαρμογή.** Ο σχεδιασμός του έξυπνου δικτύου μεταφοράς θα είναι, για την ευκολία των φορέων εκμετάλλευσης, προσαρμοσμένος στον πελάτη, χωρίς να χάνει τις λειτουργίες του και τη διαλειτουργικότητα του. Επίσης, θα εξυπηρετεί τους πελάτες παρέχοντας περισσότερες επιλογές κατανάλωσης ενέργειας για έναν υψηλότερο λόγο ποιότητας/τιμής. Το έξυπνο δίκτυο θα απελευθερώσει περαιτέρω την αγορά ενέργειας με την αύξηση της διαφάνειας και τη βελτίωση του ανταγωνισμού για τους συμμετέχοντες στην αγορά.

4.3 Η Δομή του Smart Grid

Στην συνέχεια θα εξετάσουμε αναλυτικά τα 3 μεγάλα συστήματα στα οποία χωρίζεται το Smart Grid, τα οποία με την σειρά τους επιμερίζονται σε αρκετά υποσυστήματα.

4.3.1 Έξυπνο σύστημα υποδομής

Το Έξυπνο σύστημα υποδομής επιμερίζεται στα εξής:

- 1) Έξυπνο υποσύστημα ενέργειας
- 2) Έξυπνο υποσύστημα πληροφορίας και
- 3) Έξυπνο υποσύστημα επικοινωνίας

Όπως έχει αναφερθεί στην παρούσα εργασία, είναι γνωστό ότι η αρχική ενέργεια που παράγεται από τα εργοστάσια, μέσω θερμοηλεκτρικών, υδροηλεκτρικών σταθμών κ.ά., ενισχύεται από τους μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης με σκοπό την διανομή της στο δίκτυο μεταφοράς. Το δίκτυο μεταφοράς στέλνει την ενέργεια, μέσω των γραμμών μεταφοράς και μεγάλων αποστάσεων, στους υποσταθμούς. Κατά την μεταφορά της όμως στους υποσταθμούς, η τάση της θα υποβιβαστεί (σε voltage) από το επίπεδο μεταφοράς στο αντίστοιχο επίπεδο διανομής. Ενώ την στιγμή που εξέρχεται από τους υποσταθμούς, εισέρχεται στο δίκτυο διανομής. Τελικά κατά την άφιξη της, στην εκάστοτε τοποθεσία χρήσης, η τάση υποβιβάζεται και πάλι από το επίπεδο διανομής στο αντίστοιχο απαιτούμενο επίπεδο τάσης προς χρήση.

Σε αντίθεση όμως με το υπάρχον δίκτυο, η ροή της ενέργειας στα Smart Grids είναι πιο ευέλικτη. Για παράδειγμα, το δίκτυο διανομής είναι επίσης ικανό να παράγει ενέργεια με την χρήση ηλιακής και αιολικής ενέργειας. Έτσι το υποσύστημα ενέργειας διαχωρίζεται αντίστοιχα σε παραγωγή, μεταφορά και διανομή ενέργειας.

Εικόνα 4.1: Η αναλυτική ταξινόμηση της υποδομής του Συστήματος των Smart Grids στα επιμέρους υποσυστήματα. Πηγή: FANG et al.: SMART GRID - THE NEW AND IMPROVED POWER GRID: A SURVEY



4.3.1.1 Υποσύστημα Ενέργειας

Αναλυτικότερα, εξετάζουμε τους εξής τομείς που παρουσιάστηκαν νωρίτερα:

4.3.1.1.1 Παραγωγή Ενέργειας

Σε αντίθεση με την παραγωγή ενέργειας στο παραδοσιακό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του Smart Grid, λειτουργεί πιο

«έξυπνα» και αποδοτικότερα, καθώς υποστηρίζονται δύο κατευθύνσεις ροής ηλεκτρικής ενέργειας και πληροφοριών. Ένα βασικό παράδειγμα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του Smart Grid είναι η Διανεμημένη Παραγωγή (ΔΠ). Η ΔΠ εκμεταλλεύεται και μονάδες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (όπως π.χ. φωτοβολταϊκά και μικρές ανεμογεννήτριες), τα οποία είναι συχνά γεννήτριες ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας (από 3 kW έως 10000 kW), ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα του ρεύματος και η αξιοπιστία.

Μελέτη από το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας [19] επεσήμανε ότι ένα δίκτυο ενέργειας που βασίζεται σε ένα μεγάλο αριθμό αξιόπιστων μικρών μονάδων παραγωγής ενέργειας μπορούν να λειτουργούν με την ίδια αξιοπιστία με ένα δίκτυο με μεγάλες γεννήτριες. Επίσης, ανέφερε ότι οι συνήθεις δαπάνες λειτουργίας των διανεμημένων γεννητριών για την παραγωγή μιας μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλές σε σύγκριση με αυτό των παραδοσιακών εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας μεγάλης κλίμακας.

Όπως προβλέπεται από την ίδια έρευνα, μπορεί να εξελιχθεί από το παρόν σύστημα σε τρία στάδια:

- 1) Φιλοξενώντας μονάδες ΔΠ στο παρόν ηλεκτρικό δίκτυο.
- 2) Εισάγοντας ένα αποκεντρωμένο σύστημα μονάδων ΔΠ, το οποίο θα συνεργάζεται με το κεντρικό δίκτυο παραγωγής.
- 3) Μεγαλύτερη παροχή ρεύματος από τις ΔΠ, αντί για μια περιορισμένη ποσότητα που θα δίνεται από την κεντρική παραγωγή.

Η **Virtual Power Plant (VPP)** διαχειρίζεται μια μεγάλη ομάδα διανεμημένων γεννητριών με συνολική χωρητικότητα συγκρίσιμη με εκείνη ενός συμβατικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [19]. Αυτό το σύμπλεγμα των κατακεντημένων ηλεκτροπαραγωγών διοικείται συλλογικά από έναν κεντρικό ελεγκτή. (Microgrids που μπορούν να διαχωριστούν από την Macrogrid). Η συντονισμένη επιχειρησιακή λειτουργία προσφέρει επιπλέον οφέλη, όπως η δυνατότητα μεταφοράς της αιχμής του ηλεκτρικού φορτίου για σύντομο χρονικό διάστημα. Μια τέτοια VPP μπορεί να αντικαταστήσει μια συμβατική μονάδα παραγωγής ενέργειας, παρέχοντας παράλληλα υψηλότερη απόδοση και μεγαλύτερη ευελιξία. Σημειώστε ότι η μεγαλύτερη ευελιξία επιτρέπει στο σύστημα να αντιδρά καλύτερα σε τυχόν διακυμάνσεις. Ωστόσο, μια VPP είναι επίσης ένα περίπλοκο σύστημα που απαιτεί περίπλοκη βελτιστοποίηση, έλεγχο και ασφαλή μεθοδολογία επικοινωνίας.

4.3.1.1.2 Μεταφορά Ενέργειας

Από την πλευρά της μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, παράγοντες όπως οι προκλήσεις των υποδομών, όπως οι αυξανόμενες απαιτήσεις του φορτίου και οι καινοτόμες τεχνολογίες (όπως τα νέα υλικά, η προηγμένη ηλεκτρονικά ισχύς και οι τεχνολογίες επικοινωνίας) οδηγούν την ανάπτυξη των έξυπνων δικτύων μεταφοράς.

- **Έξυπνα κέντρα ελέγχου:** Κάποια από τα πολλά νέα χαρακτηριστικά των μελλοντικών έξυπνων κέντρων ελέγχου επιτρέπουν υψηλές δυνατότητες για την ανάλυση, τον έλεγχο, και την απεικόνιση.
- **Έξυπνα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας:** Παρότι είναι βασισμένα στην υπάρχουσα ηλεκτρική υποδομή μεταφοράς, η εμφάνιση των νέων τεχνολογιών (όπως τα νέα υλικά, αισθητήρες, μέθοδοι επικοινωνίας και επεξεργασία σήματος) μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας ισχύος και της χρήσης της ενέργειας και στην ασφάλεια και αξιοπιστία του συστήματος. Με αυτό τον τρόπο προωθείται η ανάπτυξη μιας νέας αρχιτεκτονικής πλαισίου για τα δίκτυα μεταφοράς.
- **Έξυπνοι υποσταθμοί:** Αν και η βασική σύνθεση των υποσταθμών υψηλής τάσης δεν έχει αλλάξει πολύ τα τελευταία χρόνια, η παρακολούθηση, μέτρηση και ο εξοπλισμός για τον έλεγχο έχουν υποστεί μια ριζική αλλαγή [20]. Τα κύρια χαρακτηριστικά των έξυπνων υποσταθμών περιλαμβάνουν την ψηφιοποίηση, αυτονομία, συντονισμός, και αυτο-ίαση. Με την υποστήριξη αυτών των λειτουργιών, ένας έξυπνος υποσταθμός είναι σε θέση να ανταποκριθεί γρήγορα και να παρέχει τη μέγιστη ασφάλεια στο χειριστή του.

Εν ολίγοις, τα έξυπνα κέντρα μεταφοράς ενέργειας προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία στον έλεγχο και την χρήση, καθώς και ενίσχυση της ανθεκτικότητας και βιωσιμότητας του δικτύου.

4.3.1.1.3 Διανομή Ενέργειας

Όσον αφορά το σύστημα διανομής ενέργειας, το μεγαλύτερο πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι ο τρόπος που αυτή θα διαμοιραστεί, ώστε να εξυπηρετηθούν αποδοτικότερα οι χρήστες του.

Παρότι από την μια πλευρά, η εισαγωγή ενός μεγάλου αριθμού (κατανεμημένων) γεννητριών στο Smart Grid, θα ενισχύσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο σύνολο της, από την άλλη, θα οδηγήσει στην πολυπλεξία

του ελέγχου ροής φορτίου, το οποίο με την σειρά του θα δημιουργήσει την ανάγκη για περαιτέρω ανάλυση και έρευνα στους «έξυπνους» μηχανισμούς διανομής.

Σε αυτή την κατεύθυνση, μια από τις μεθόδους που εφαρμόζεται είναι η εξής. Χωρίζουμε την παραγόμενη ενέργεια σε **πακέτα ενέργειας**, κεφαλίδα (**header**) και τερματικό (**footer**), τα οποία θα πρέπει να είναι στην αρχή και το τέλος του πακέτου αντίστοιχα. Επομένως, κάθε πακέτο είναι μια μονάδα ενέργειας, ενώ κατατάσσονται σύμφωνα με αριθμούς, καθιστώντας έτσι πιο εφικτή την αξιοποίηση της ενέργειας. Όταν ο δρομολογητής λαμβάνει τα πακέτα, εκείνα ταξινομούνται σύμφωνα με τις διευθύνσεις των κεφαλίδων, ενώ στη συνέχεια τα αποστέλλει και στα αντίστοιχα φορτία. Χρησιμοποιώντας ένα πακέτο ενέργειας, παρέχεται ενέργεια που εύκολα ρυθμίζεται με τον έλεγχο του αριθμού των απεσταλμένων πακέτων. Επιπλέον, πολλές ηλεκτρικές συσκευές του σπιτιού, λειτουργούν με ρεύμα DC και έχουν ενσωματωμένα κυκλώματα μετατροπής ισχύος για τη μεταγωγή της τάσης εισόδου σε AC. Έτσι, η κατανομή ισχύος DC είναι εφικτή. Συνεπώς, τα συστήματα αυτά θα αντικαταστήσουν τα κατ'οίκον συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας πιο αποδοτικά και πιο εύκολα στον έλεγχο της ροής του φορτίου.

4.3.1.1.4 Επιπλέον παραδείγματα Χρήσης των Smart Grids

Μικροδίκτυο (“Microgrid”):

Ένα μικροδίκτυο είναι μια τοπική συστάδα γεννητριών ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά την κανονική του λειτουργία, είναι συνδεδεμένο με ένα παραδοσιακό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (macrogrid). Οι χρήστες σε ένα μικροδίκτυο έχουν την δυνατότητα να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα χαμηλής τάσης, χρησιμοποιώντας την καταναμημένη παραγωγή, όπως ηλιακούς συλλέκτες, ανεμογεννήτριες, και τα κυψέλες πετρελαίου. Το μοναδικό σημείο κοινής ζεύξης με το macrogrid όμως μπορεί να αποσυνδεθεί, με το μικροδίκτυο να είναι σε θέση να λειτουργήσει και αυτόνομα.

Η λειτουργία αυτή θα οδηγήσει σε μια απομονωμένη («*islanded*») microgrid, στην οποία οι καταναμημένες γεννήτριες συνεχίζουν να τροφοδοτούν τους χρήστες σε αυτό το μικροδίκτυο, χωρίς να λαμβάνουν ρεύμα από την ηλεκτρική εγκατάσταση που βρίσκεται στην macrogrid. Επομένως αυτή η σκόπιμη απομόνωση των γεννητριών δίνει τη δυνατότητα να παρέχεται μεγαλύτερη αξιοπιστία σε τοπικό επίπεδο από αυτή που παρέχεται από το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας στο σύνολό της [19]. Σημειώστε ότι, παρότι αυτοί οι «απομονωμένοι» χρήστες δεν λαμβάνουν ισχύ από την macrogrid, μπορούν να ανταλλάσσουν ορισμένες πληροφορίες με εκείνη. Για παράδειγμα, έχοντας πλήρη επίγνωση της κατάστασης της macrogrid, τους δίνεται η ελευθερία να αποφασίσουν αν θα πρέπει να επανασυνδεθούν με εκείνη, όταν κρίνεται αναγκαία η πρόσθετη παροχή ρεύματος (από την ηλεκτρική

εγκατάσταση). Αυτό συνεπάγεται μεγάλη αξιοπιστία, υψηλή διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών, της αυτόματης ίασης, του ενεργού έλεγχου του φορτίου, καθώς και της γενικής βελτίωσης της αποτελεσματικότητας.

Σε αυτό το πλαίσιο, ένα ακόμη παράδειγμα που δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε είναι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα (EVs). Πιο συγκεκριμένα, οι δύο κατηγορίες που θα διακρίνουμε είναι οι G2V και V2G, οι οποίες χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κινητήρες, αποφεύγοντας τα ορυκτά καύσιμα που είναι πλέον πιο δαπανηρά.

- **G2V: “Grid to Vehicle”**

Τα ηλεκτρικά οχήματα συνήθως τροφοδοτούνται από ενέργεια που έχει αποθηκευτεί (μέσω μπαταριών) από εξωτερική πηγή, οπότε ύστερα από την εξάντληση των αποθεμάτων θα πρέπει να γίνει επαναφόρτιση. Παρόλα αυτά, από την οπτική γωνία του ηλεκτρικού δικτύου, ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα στην διαδικασία της επαναφόρτισης είναι ότι εκείνη οδηγεί σε ένα νέο χαρακτηριστικό φορτίο πάνω στα υπάρχοντα δίκτυα κατανομής. Επιπλέον, κάποια εξίσου σημαντικά προβλήματα είναι η υποβάθμιση της επίδοσης και αποδοτικότητας του συστήματος ενέργειας, καθώς και υπερφόρτωση που μπορεί να προκύψει κάτω από υψηλές απαιτήσεις (μη-συντονισμένης) φόρτισης.

Μια από τις λύσεις, ώστε να μετριαστούν οι ενεργειακές επιπτώσεις των ηλεκτρικών αυτοκινήτων στο δίκτυο είναι η βελτιστοποίηση της διαδικασίας της φόρτισης. Με άλλα λόγια, πρέπει το peak της μέγιστης ζήτησης ενέργειας να διατηρείται σε όσο δυνατόν χαμηλότερα επίπεδα. Κάτι το οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί με τον συντονισμό των λειτουργιών φόρτισης διαφορετικών EVs, ώστε να μην φορτίζονται ταυτόχρονα.

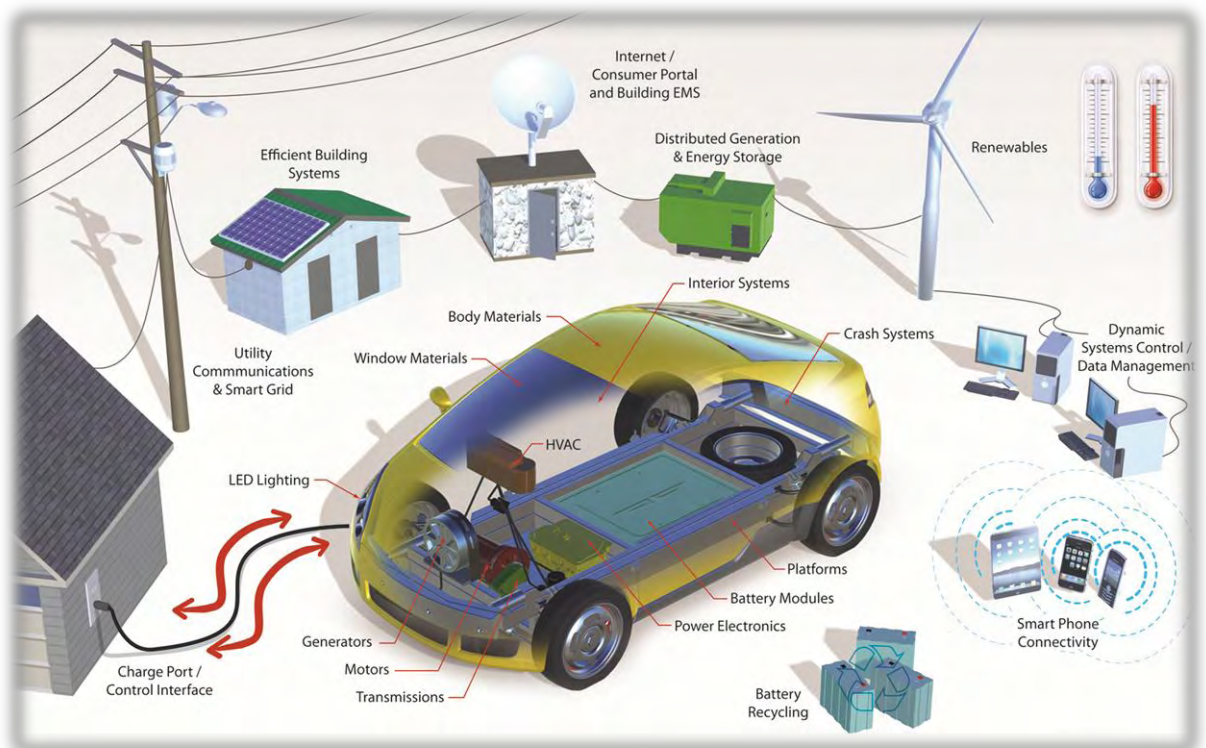
- **V2G: “Vehicle to Grid”**

Σε αυτό το είδος οχημάτων χρησιμοποιείται ένας νέος τρόπος αποθήκευσης και παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της επικοινωνίας των EVs με το δίκτυο (παραδείγματος χάριν όταν τα αυτοκίνητα είναι παρκαρισμένα και συνδεδεμένα με το δίκτυο). Μέχρι στιγμής, οι έρευνες έχουν επικεντρωθεί στη σύνδεση μεταξύ των μπαταριών και του δικτύου, στην εγκυρότητα και αποδοτικότητα του V2G συστήματος, στην εισαγωγή του στις νέες αγορές, καθώς και στα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Στην ίδια κατεύθυνση έχουν επιχειρηθεί και οι πρώτες δοκιμές, με την Toyota να παραχωρεί ορισμένα από τα μοντέλα της.

Επομένως από τα παραπάνω είναι αντιληπτό ότι οι δύο τύποι EVs είναι αντίστοιχα concept πάνω στην φιλοσοφία των Smart Grids. Για παράδειγμα, τα V2G συχνά χρησιμοποιούνται ώστε να παρέχουν ισχύ με σκοπό την εξισορρόπηση φορτίων. Κάτι το οποίο επιτυγχάνεται με τις μεθόδους “*peak shaving*”, όταν η ζήτηση είναι υψηλή άρα ισχύς πρέπει να στέλνεται πίσω στο δίκτυο και αντίστοιχα

με την “valley filling”, όταν η ζήτηση είναι χαμηλή και το V2G θα πρέπει να φορτιστεί. [14]

Εικόνα 4.2: Η πλήρης διαδικασία της λειτουργίας ενός Smart Grid σε ένα όχημα Phucket ως μια μορφή μικροδικτύου. Πηγή: <http://www.myseek.org/world-in-crisis/solution-create-a-smart-grid-on-phuket/>



4.3.1.2 Έξυπνο Υποσύστημα Πληροφορίας

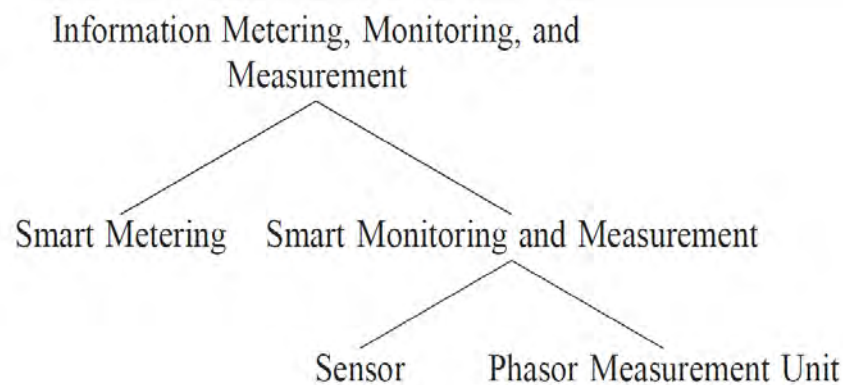
Η εξέλιξη των Smart Grids δεν βασίζεται μόνον στην αναβάθμιση της τεχνολογίας των συστημάτων ενέργειας, αλλά επίσης και στην βελτίωση ενός ακόμη πιο εξελιγμένου ηλεκτρονικού συστήματος παρακολούθησης, ανάλυσης, βελτιστοποίησης και ελέγχου από τα δίκτυα παραγωγής ενέργειας ως τα δίκτυα διανομής και μεταφοράς.

Πολλές από τις ανησυχίες του διανεμημένου αυτοματισμού θα πρέπει να εξεταστούν από την οπτική σκοπιά της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για τον διαμοιρασμό πληροφοριών, όπως η λειτουργικότητα των δεδομένων και η ενσωμάτωση των μελλοντικών συσκευών σε αυτές των υπάρχουσών, καθώς και άλλα συστήματα και εφαρμογές. Ως εκ τούτου, ένα έξυπνο υποσύστημα πληροφορίας χρησιμοποιείται για να υποστηρίξει την παραγωγή πληροφοριών, τη

Η εξέλιξη της Δομής και Λειτουργίας του Ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας προς τα Έμφυτά Δίκτυα (“Smart Grids”)

μοντελοποίηση, την ένταξη, την ανάλυση και τη βελτιστοποίηση στο πλαίσιο των Smart Grids.

Πρώτα θα εξετάσουμε το Έξυπνο Υποσύστημα Μέτρησης (“Information Metering & Measurement Subsystem”), το οποίο παράγει πληροφορία εν μέσω μετρητών («*smarter meters*», αισθητήρων («*sensors*») και *phasor measurement units*. Η πληροφορία αυτή χρησιμοποιείται συχνά για την τιμολόγηση, παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου και ελέγχου της συσκευής του χρήστη.



Εν συνέχεια θα ασχοληθούμε με το κομμάτι της Διαχείρισης της Πληροφορίας, όπου συμπεριλαμβάνεται η μοντελοποίηση των δεδομένων, η ανάλυση των πληροφοριών, η ενσωμάτωση και η βελτιστοποίηση.

4.3.1.2.1 Μέτρηση Πληροφορίας («Information Metering and Measurement»)

Το Information Metering and Measurement, όπως θα εξετάσουμε παρακάτω, διακρίνεται σε Smart Metering και Smart Monitoring and Measurement, το οποίο με την σειρά του διαχωρίζεται σε Sensor και Phasor Measurement units).

1. Ευφυής Μέτρηση («Smart Metering»)

Το Smart Metering θεωρείται ο πιο σημαντικός μηχανισμός που χρησιμοποιείται στα Smart Grids για λήψη πληροφοριών από τις (οικιακές και μη) συσκευές των χρηστών, ενώ παράλληλα ελέγχει και την συμπεριφορά τους.

Τα Αυτόματα συστήματα μέτρησης υποδομών (AMI: Automatic metering infrastructure), τα οποία είναι χτισμένα πάνω στα Αυτόματα συστήματα μετρητών ανάγνωσης (AMR), θεωρούνται ευρέως ως μια λογική στρατηγική για την κατασκευή ενός SG. Τα AMR είναι η τεχνολογία αυτόματης συλλογής, διάγνωσης

και επεξεργασίας των «δεδομένων κατάστασης» από τις συσκευές μετρήσεως της ενέργειας, ενώ στην συνέχεια τα δεδομένα αυτά μεταφέρονται σε μια κεντρική βάση δεδομένων για τιμολόγηση, ανάλυση, καθώς και αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων.

Σε αντίθεση, τα AMI διαφέρουν από τα παραδοσιακά AMR, καθώς επιτρέπουν την αμφίδρομη επικοινωνία (“*two way connection*”) με τον μετρητή. Ως εκ τούτου, σχεδόν όλες αυτές οι πληροφορίες είναι διαθέσιμες άμεσα και σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στον χρήστη πρόσβαση σε βελτιωμένες λειτουργίες του συστήματος, αλλά και στη διαχείριση ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι έξυπνοι μετρητές (Smart Meters) , οι οποίοι υποστηρίζουν την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του μετρητή και του κεντρικού συστήματος, είναι παρόμοιοι από πολλές απόψεις με τους μετρητές AMI, αν και κάποιες φορές θεωρούνται και ως μέρος των AMI. Ένας έξυπνος μετρητής είναι συνήθως ένας ηλεκτρικός μετρητής που καταγράφει την κατανάλωση σε διαστήματα μιας ώρας ή λιγότερο και στέλνει όλες αυτές τις πληροφορίες τουλάχιστον σε καθημερινή βάση πίσω στην υπηρεσία για κυρίως λόγους κοστολόγησης αλλά και γενικής παρακολούθησης. Επίσης, ένας έξυπνος μετρητής έχει τη δυνατότητα να αποσυνδεθεί/επανασυνδεθεί εξ αποστάσεως και να ελέγχει τις συσκευές των χρηστών για τη σωστότερη διαχείριση της ζήτησης φορτίου. Μια λειτουργία η οποία υπάγεται με την σειρά της στο πλαίσιο των μελλοντικών “*Έξυπνων κτιρίων*”.

Από την πλευρά του καταναλωτή, οι έξυπνοι μετρητές προσφέρουν ένα σημαντικό αριθμό πλεονεκτημάτων. Για παράδειγμα, οι «τελικοί χρήστες» μπορούν πλέον να έχουν μια γενική εκτίμηση για τους λογαριασμούς κάτι το οποίο εξυπηρετεί στην σωστότερη διαχείριση των ενεργειακών τους καταναλώσεων, με σκοπό την μείωση των λογαριασμών τους.

Σε αντίθεση, από την πλευρά της υπηρεσίας, με την χρήση των έξυπνων μετρητών της δίνεται η δυνατότητα για μια ακριβέστερη τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο, η οποία προσπαθεί να ενθαρρύνει στους χρήστες να μειώσουν τις απαιτήσεις τους σε περιόδους αιχμής του φορτίου ή να βελτιστοποιήσουν το κατά δύναμιν την χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, σύμφωνα με τις πληροφορίες που τους στέλνονται από την πλευρά της ζήτησης.

2. Ευφυής Παρακολούθηση και Μέτρηση («*Smart Monitoring and Measurement*»)

Μια ακόμη εξίσου σημαντική λειτουργία στο πλαίσιο των Smart Grids είναι η υπολογισμός και παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου, συνεπώς παρακάτω θα εξετάσουμε τους δύο τρόπους υλοποίησης των προαναφερθέντων λειτουργιών (sensors και phasor measurement units).

A) Αισθητήρες:

Οι Αισθητήρες του δικτύου χρησιμοποιούνται ήδη, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ως εργαλεία μέτρησης και παρακολούθησης, με σκοπό να εντοπιστούν τυχόν μηχανικές βλάβες στο δίκτυο παροχής ενέργειας, όπως αποτυχίες μεταφοράς ρεύματος, πτώση τάσης, hot spots και ακραίες μηχανικές συνθήκες. Σε αυτήν τη κατεύθυνση, δημιουργήθηκε η ανάγκη για τους **Ασύρματους Αισθητήρες Δικτύου (WSNs)**, οι οποίοι συμπεριλαμβανομένου του χαμηλού τους κόστους μπορούν να παρέχουν μια εύκολη στη χρήση και οικονομική πλατφόρμα επικοινωνίας με σκοπό την ασύρματη παρακολούθηση και διάγνωση της κατάστασης του δικτύου. Ήδη πάνω σε αυτήν την ιδέα έχουν βασιστεί πολλές έρευνες οι οποίες καταλήγουν στην σπουδαιότητα της ασύρματης διαχείρισης.

Παρόλα αυτά, οι Αισθητήρες ενός SG έχουν επίσης και αρκετές απαιτήσεις:

- i) **Ποιότητα των υπηρεσιών (QoS):** Η πληροφορία που παράγεται από τα δίκτυα των αισθητήρων θα πρέπει να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις όπως η αξιοπιστία, το latency και η συνολική απόδοση του δικτύου. Για παράδειγμα, τα κρίσιμα δεδομένα που παράγονται από τον αισθητήρα και σχετίζονται με βλάβες του δικτύου θα πρέπει να παραληφθούν από τον ελεγκτή σε εύθετο χρόνο. Το υποσύστημα της επικοινωνίας («*The communication subsystem*») που περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο, υποστηρίζει ότι αυτοί οι σένσορες θα πρέπει να παρέχουν μηχανισμούς ώστε να ικανοποιούνται αυτές τις QoS απαιτήσεις.
- ii) **Περιορισμοί των πόρων:** Οι κόμβοι των αισθητήρων έχουν συνήθως χαμηλό κόστος και περιορισμένους πόρους σε αριθμό συσκευών. Έτσι, τα προγράμματα ελέγχου για τα δίκτυα αισθητήρων θα πρέπει να είναι υψηλής ενεργειακής απόδοσης.
- iii) **Ασύρματη συντήρηση και διαμόρφωση:** Οι αισθητήρες πρέπει να έχουν πρόσβαση εξ αποστάσεως καθώς και την δυνατότητα διαμόρφωσης, έτσι ώστε να μπορούν να διαχειριστούν άμεσα και εύκολα μέσω τηλεχειρισμού.
- iv) **Υψηλές Απαιτήσεις Ασφάλειας:** Η ασφάλεια είναι πολύ σημαντική για συστήματα ηλεκτρικής ισχύος. Έτσι, η χρήση των αισθητήρων, μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τη λειτουργία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

- v) **Σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες:** Στα Smart Grid οι αισθητήρες μπορούν να υπόκεινται σε παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων (RF), σε άκρως διαβρωτικές περιβαλλοντολογικές συνθήκες, σε υψηλά επίπεδα υγρασίας, κραδασμών, βρωμιάς και σκόνης, ή γενικώς σε άλλες συνθήκες που μπορούν να προκαλέσουν τη δυσλειτουργία ενός τμήματος των κόμβων των αισθητήρων. Ως εκ τούτου, ο σχεδιασμός του δικτύου των αισθητήρων πρέπει να προβλέπει την δυνατότητα επιβίωσης.

B) Phasor Measurement unit:

Κύρια λειτουργία των PMUs είναι να συμβάλλουν στη δημιουργία μιας αξιόπιστης υποδομής μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Μια PMU μετρά τα ηλεκτρικά κύματα σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο για να καθορίσει την υγεία του συστήματος. Από τεχνικής απόψεως, ο φάσορας (phasor) είναι ένας μιγαδικός αριθμός που αντιπροσωπεύει τόσο το μέγεθος και η γωνία φάσης του ημιτονοειδούς κύματος που βρίσκονται στο ηλεκτρικό ρεύμα. Οι μετρήσεις του φάσορα που εμφανίζονται ταυτόχρονα καλούνται synchrophasor. Τυπικά, τα δεδομένα που «διαβάζει» ο PMU λαμβάνονται από διάφορες διεσπαρμένες θέσεις του δικτύου ενέργειας και συγχρονίζονται με τη χρήση του ευρέως διαδεδομένου συστήματος εντοπισμού θέσης (GPS). Με ένα μεγάλο αριθμό PMU και με την δυνατότητα σύγκρισης μορφών εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) από όλα τα σημεία του δικτύου, (οι οποίες χρησιμοποιούνται ως δεδομένα ανάγνωσης από τα PMU), οι διαχειριστές συστήματος μπορούν να χρησιμοποιήσουν δείγματα των δεδομένων για να εκτιμήσουν την κατάσταση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του συστήματος με ένα άμεσο και δυναμικό τρόπο. [21]

Τα ευρείας κλίμακας δεδομένα του PMU μπορούν να αποκτηθούν σε πραγματικό χρόνο, εφόσον οι διαχειριστές συστημάτων έχουν τη δυνατότητα εκτίμησης της κατάστασης του συστήματος, καθώς και των λειτουργιών που αποβλέπουν στην προστασία αυτού, καθιστώντας έτσι το σύστημα τροφοδοσίας αυτό-άνοσο σε τυχόν καταστροφικές βλάβες.

Ήδη αρκετές χώρες, όπως η Βραζιλία, η Κίνα, η Γαλλία, η Ιαπωνία, η Νότια Κορέα, Μεξικό, Νορβηγία, και οι ΗΠΑ, έχουν ήδη εγκαταστήσει PMU στα δίκτυα ενέργειας τους με σκοπό την έρευνα και την ανάπτυξη πρωτοτύπων. Η εγκατάσταση των PMU στο σύστημα μεταφοράς του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται πλέον μία πολύ σημαντική ενέργεια.

Καταλήγοντας, η έρευνα των PMU αποτελεί ένα άκρως ενδιαφέρον αντικείμενο τόσο σε βιομηχανικό, αλλά και σε ακαδημαϊκό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα, η βιομηχανία εστιάζει στο πώς να εγκατασταθεί το PMU, στην συλλογή των δεδομένων και στη δημιουργία διαύλου επικοινωνίας μεταξύ των εν

λόγω δεδομένων με τα κέντρα ελέγχου. Σε αντίθεση, στον ακαδημαϊκό χώρο, τα ερευνητικά πεδία είναι οι εφαρμογές της PMU για τις λειτουργίες προστασίας του δικτύου, όπως η παροχή απωλειών του δικτύου προστασίας, η παρακολούθηση περιπτώσεων σφάλματος, ο εντοπισμός διαταραχών/ανωμαλιών, η εκτίμηση της κατάστασης του δικτύου, η παρακολούθηση της ποιότητας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και η επινόηση πειραματικών εφαρμογών για την παρακολούθηση των ενεργών δικτύων διανομής.

4.3.1.2.2 Διαχείριση Πληροφορίας (“Information Management”)

Στα Smart Grids, καθώς ένα μεγάλο μέρος των δεδομένων και των πληροφοριών θα παράγονται από τη μέτρηση, από τους αισθητήρες και από την παρακολούθηση θα πρέπει να υποστηρίζεται μια προηγμένη διαχείριση αυτών των πληροφοριών. Το έργο αυτής της διαχείρισης είναι η μοντελοποίηση των δεδομένων, η ανάλυση, ενσωμάτωση και βελτιστοποίηση της πληροφορίας. Αναλυτικότερα:

A) Μοντελοποίηση Δεδομένων

Όπως αναφέρεται από το IEEE P2030 [19], ο στόχος των πληροφοριών (επάνω στην μοντελοποίηση των δεδομένων) που δίνονται στα SG είναι να παρέχει έναν οδηγό για τη δημιουργία μιας συμβατής, ευπαρουσίαστης, μεταβιβάσιμης και επεξεργάσιμης αναπαράστασης δεδομένων. Με άλλα λόγια, σκοπός είναι το **data modeling** να καταστεί όσο το δυνατόν λειτουργικότερο, χρησιμοποιώντας πάντα τα κατάλληλα πρότυπα. Αυτό αφορά ειδικά τα δεδομένα που αντιπροσωπεύουν τις πληροφορίες κατάστασης του δικτύου, καθώς και δεδομένα από τις συσκευές οικιακής κατανάλωσης των τελικών χρηστών.

Σύμφωνα με τα παραπάνω είναι εύκολο να συμπεράνουμε ότι το data modeling είναι σημαντικό για τους εξής δύο λόγους.

- i) Λαμβάνοντας υπόψη πως το SG είναι ένα ιδιαίτερα περίπλοκο σύστημα, τα δεδομένα (**application elements**) που στέλνονται από το ένα σύστημα στο άλλο θα πρέπει να είναι **συμβατά** και από τα δύο user interfaces, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή αναπαράσταση τους.
- ii) Επιπλέον, η **προσαρμογή και η παραμετροποίηση του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου** από τα SG θεωρείται ένα τεράστιο κεφάλαιο που χαίρει λύσης. Καθώς εάν ένα πολύ καλά δομημένο και προγραμματισμένο data model system θα μπορούσε να «απομνημονεύσει» πλήρως τις υπάρχουσες παραμέτρους και πληροφορίες, η μετάβαση από το ένα δίκτυο στο άλλο θα ήταν αισθητά ευκολότερη. Κάτι το οποίο θα μας έδινε επίσης την ευκαιρία να εκμεταλλευτούμε σε μεγαλύτερο βαθμό την τωρινή

υποδομή και δεδομένα με σκοπό την αδιάλειπτη ενημέρωση του SG που συνεχώς αναβαθμίζεται. Με λίγα λόγια, το *data modeling* εξυπηρετεί ως ένας *δίαυλος επικοινωνίας* μεταξύ του παλαιού και του νέου δικτύου.

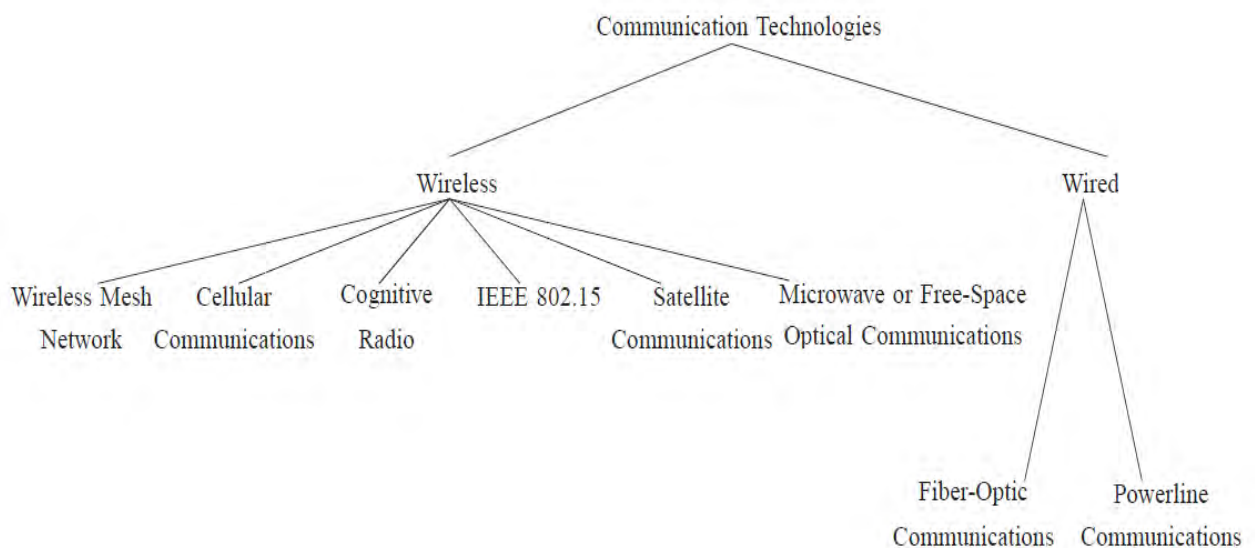
B) Ανάλυση, Ενσωμάτωση και Βελτιστοποίηση της Πληροφορίας

- Η *ανάλυση της πληροφορίας* χρειάζεται για να υποστηριχθεί η επεξεργασία, μετάφραση και η συσχέτιση των παρατηρήσεων (observations) του δικτύου, δεδομένου ότι τα ευρέως διαδεδομένα συστήματα παρακολούθησης και μέτρησης θα δημιουργήσουν ένα τεράστιο όγκο δεδομένων. Μια τέτοια ανάλυση θα υλοποιηθεί, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, με την χρήση των υπάρχοντων εφαρμογών καθώς και με την εισαγωγή νέων εφαρμογών που θα βασίζονται στην χρήση *workbench interfaces*.
- Η *ενσωμάτωση της πληροφορίας* εστιάζει στην συγχώνευση όλης της πληροφορίας από διάσπαρτες πηγές με διαφορετική εννοιολογική και τυπογραφική αναπαράσταση. Η IEEE P2030 [19] έδειξε ότι η ακεραιότητα των δεδομένων και το όνομα των υπηρεσιών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην ενσωμάτωση των πληροφοριών. Δεύτερον, όπως αναφέρεται στο [22], σήμερα οι περισσότερες εταιρίες ηλεκτρικής ενέργειας έχουν περιορισμένες υποδομές για την ενσωμάτωση πληροφορίας, δηλαδή, όσον αφορά τις εφαρμογές που σχετίζονται με το σχεδιασμό του συστήματος, την παράδοση ισχύος και την επικοινωνία με τον πελάτη. Στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτή η πληροφορία του κάθε τμήματος δεν είναι εύκολα προσβάσιμη από εφαρμογές ή χρήστες άλλων υπηρεσιών. Ως εκ τούτου, οι περιστάσεις επιβάλλουν ένα σύστημα Smart Grid που θα μπορεί να συγχωνεύσει δεδομένα και σε ένα γενικότερο εταιρικό πλαίσιο, με στόχο τη βελτιστοποίηση της ροής πληροφοριών.
- Η *βελτιστοποίηση της πληροφορίας* χρησιμοποιείται για τη αποτελεσματικότερη ενημέρωση. Το μέγεθος των δεδομένων στο μέλλον αναμένεται να είναι αρκετά μεγάλο, ως αποτέλεσμα μιας ευρείας κλίμακας παρακολούθησης, ανίχνευσης και μέτρησης. Ωστόσο, τα παραγόμενα δεδομένα μπορεί να έχουν ένα μεγάλο ποσοστό περιττών στοιχείων. Επομένως, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν αντίστοιχες προηγμένες τεχνολογίες με γνώμονα τη βελτίωση της ποιότητας των πληροφοριών (αποθήκευση μόνο των χρήσιμων), αλλά και την μείωση της επιβαρυνμένης και άσκοπης επικοινωνίας.

4.3.1.3 Έξυπνο Υποσύστημα Επικοινωνίας

Το τρίτο μέρος του Έξυπνου Συστήματος Υποδομής είναι το Έξυπνο Υποσύστημα Επικοινωνίας. Το υποσύστημα αυτό είναι υπεύθυνο για τη ζεύξη επικοινωνίας και μετάδοσης πληροφοριών μεταξύ συστημάτων, συσκευών και εφαρμογών στο πλαίσιο των Smart Grids.

Σε αυτή την ενότητα, θα δώσουμε πρώτα μια γενική εικόνα αυτού του Υποσυστήματος και μετέπειτα θα ασχοληθούμε με τις ασύρματες και ενσύρματες τεχνολογίες επικοινωνιών. Στη συνέχεια θα περιγραφεί η διαδικασία διαχείρισης των **end-to-end communications** μέσα σε αυτό το ετερογενές σύστημα επικοινωνίας, όπου διάφορες τεχνολογίες επικοινωνιών, υποδομές δικτύων και πλήθος συσκευών μπορούν να χρησιμοποιηθούν.



Το πιο σημαντικό ερώτημα στο υποσύστημα επικοινωνίας είναι, "Ποια είναι η ακριβής τεχνολογία δικτύου και επικοινωνιών που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί;". Παρόλα αυτά, υπάρχει μια γενική συμφωνία όσον αφορά την ανάγκη υποστήριξης μιας αμφίδρομης ροής πληροφοριών ("*two-way flow*") μεταξύ των διαφόρων μονάδων στο ηλεκτρικό δίκτυο. Σε αντίθεση με το παραπάνω, ακόμη δεν έχει βρεθεί κάποιο σημείο σύγκλισης σχετικά με το ποιες συγκεκριμένες τεχνολογίες πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε κάθε τομέα εφαρμογής των SG. Ένας λόγος για τον οποίο αυτό δεν είναι ακόμα σαφές, είναι επειδή η SG αποτελείται από πολλούς διαφορετικούς τύπους δικτύων, συμπεριλαμβανομένων, για παράδειγμα:

1. **Enterprise bus**, το οποίο συνδέει τις εφαρμογές του κέντρο ελέγχου, τις αγορές και τις γεννήτριες.
2. **Wide area networks** που συνδέονται γεωγραφικά με απομακρυσμένες τοποθεσίες.
3. **Field area networks** που συνδέει συσκευές, όπως «έξυπνες ηλεκτρονικές

Η εξέλιξη της Δομής και Λειτουργίας του Ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας προς τα Ενφυλά Δίκτυα ("Smart Grids")

συσκευές» που ελέγχουν διακόπτες και μετασχηματιστές.

4. **Premises networks** που περιλαμβάνουν τα δίκτυα των πελατών, όπως καθώς και ηλεκτρικά δίκτυα (των εγκαταστάσεων) που βρίσκονται στην περιοχή του πελάτη.

Παρά το γεγονός ότι μέχρι στιγμής η απάντηση δεν είναι σαφής και δεδομένου ότι η αξιόπιστη και αποτελεσματική ανταλλαγή πληροφοριών είναι το κλειδί για την επιτυχία των μελλοντικών SG, ένα υποσύστημα επικοινωνίας πρέπει τουλάχιστον να πληροί τις ακόλουθες βασικές προϋποθέσεις:

I. Να υποστηρίζει την **ποιότητα υπηρεσίας (QoS)** των δεδομένων [20]. Αυτό συμβαίνει επειδή τα κρίσιμα δεδομένα (π.χ. πληροφορίες για την κατάσταση του δικτύου) πρέπει να παραδίδονται αμέσως.

II. Να είναι **ιδιαίτερα αξιόπιστο**, δεδομένου ότι θα συνδεθεί ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών συσκευών και θα να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές τεχνολογίες επικοινωνίας.

III. Να είναι **άμεσα διαθέσιμο και προσπελάσιμο**. Αυτό επιβάλλεται από το αξίωμα ότι τα SG μπορούν να ανταποκριθούν έγκαιρα σε οποιαδήποτε κατάσταση (ή συμβάν) στο δίκτυο.

IV. Να **εγγυάται την ασφάλεια και την προστασία της μετάδοσης των πληροφοριών**. Στην πορεία, τα ζητήματα αυτά θα αναλυθούν εκτενώς.

Στο υπόλοιπο αυτής της ενότητας, θα δοθεί έμφαση στις τεχνολογίες δικτύωσης (ασύρματες και ενσύρματες).

4.3.1.3.1 Ασύρματες Τεχνολογίες («Wireless Communications»)

Οι ασύρματες τεχνολογίες προσφέρουν σημαντικά οφέλη σε σχέση με ενσύρματες τεχνολογίες, όπως παραδείγματος χάριν το χαμηλό κόστος εγκατάστασης, ταχεία ανάπτυξη, άμεση πρόσβαση κ.λπ., αλλά επίσης είναι και πιο κατάλληλες για απομακρυσμένη διαχείριση (*“remote end applications”*). Οι Ασύρματες τεχνολογίες έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί ευρέως στην καθημερινή ζωή μας και μπορεί να αναπτυχθούν οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Με βάση τα προηγούμενα, παρακάτω παρατίθεται μια λίστα με ασύρματες τεχνολογίες δικτύωσης που μελλοντικά είναι ιδιαίτερα πιθανό να εφαρμοστούν στα SG.

Wireless Mesh Network: Το WMN είναι ένα δίκτυο επικοινωνίας που αποτελείται από κόμβους ραδιόφωνων, οργανωμένους σε μια τοπολογία πλέγματος και έχει αναδειχθεί ως μια βασική τεχνολογία επόμενης γενιάς ασύρματης δικτύωσης. Σε αυτό το πλαίσιο, πρότυπες βιομηχανικές ομάδες, όπως το IEEE 802.11 και 802.16, εργάζονται συστηματικά για την δημιουργία νέων προδιαγραφών για τα WMNs, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι η τεχνολογία αυτή παρέχει και τη βασική υποδομή δικτύωσης για το σύστημα επικοινωνιών στα SG.

Κάποια από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των WMNs είναι τα ακόλουθα:

1. **Αυξημένη αξιοπιστία επικοινωνίας και αυτόματη συνδεσιμότητα.** Το WMN είναι αυτό-οργανωμένο και αυτό-προσαρμοζόμενο. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι εξαιρετικά βασικό για τον αυτοματισμού του ηλεκτρικού συστήματος, αφού «ωθεί» τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις στο να υιοθετήσουν νέες προδιαγραφές συνδεσιμότητας βασισμένες στις ανάγκες των καταναλωτών.
2. **Large coverage and high data rate.** Το *WiMAX mesh network* μπορεί να καλύψει τόσο μεγάλες αποστάσεις όσο και μεγάλους όγκους πληροφορίας. Αυτές οι μεγάλες ποσότητες δεδομένων, όπως έχουμε αναφέρει, προέρχονται από τους έξυπνους μετρητές, τους αισθητήρες και από τα PMUs, οι οποίοι στέλνονται στο σύστημα ελέγχου. [20]

Γενικά, το Δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και τα WMN είναι 2 παράλληλα concept και γι αυτό το λόγο τα SG θα προσπαθήσουν να τα ενσωματώσουν στο δικό τους ηλεκτρικό δίκτυο.

Cellular Communication Systems: Το CCS είναι ένα ραδιοφωνικό δίκτυο που επεκτείνεται πάνω από γεωγραφικές περιοχές που ονομάζονται *κυψέλες* (“cells”), από τις οποίες η κάθε μια εξυπηρετούσε τουλάχιστον έναν πομποδέκτη (“cell site”). Ένα από τα πιο γνωστά CCS συστήματα είναι το GSM και το 3G ή πλέον 4G (WCDMA και CDMA-2000), των οποίων αν χρησιμοποιηθεί το ήδη υπάρχον επικοινωνιακό τους δίκτυο, εύκολα και με ελάχιστο κόστος, τα SG θα αποκτήσουν μια μεγάλη γεωγραφική κάλυψη.

Cognitive Radio: Το σύστημα επικοινωνίας στο SG πρέπει να είναι σχεδιασμένο ώστε να καλύπτει τις τρέχουσες απαιτήσεις διαχείρισης του, καθώς και τα πιθανά προαπαιτούμενα των μελλοντικών εφαρμογών. Γενικά, σε αυτήν την τεχνολογία έχει πραγματοποιηθεί μικρή πρόοδος λόγω της πολυπλοκότητας των ραδιοφωνικών συχνοτήτων, ενώ οι διάφορες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί καταλήγουν στο ότι κρίνεται απαραίτητη και η χρήση συμπληρωματικής τεχνολογίας, όπως οι ασύρματοι αισθητήρες δικτύου του έξυπνου δικτύου.

Wireless Communications: Οι τρεις ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνιών, που βασίζονται στο πρωτόκολλο IEEE 802.15.4 και συνιστάται να χρησιμοποιηθούν στο SG είναι οι **ZigBee**, **WirelessHART** και **ISA100.11a**. Πιο συγκεκριμένα:

1. Η **ZigBee** είναι μια ασύρματη τεχνολογία που έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές ράδιο-συχνότητας που απαιτούν χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, μεγάλη διάρκεια ζωής και ασφαλή δικτύωση. Ενώ θα μπορούσε κάλλιστα να είναι μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες επικοινωνίας στο σπίτι του κάθε καταναλωτή. Το *ZigBee* και *ZigBee Smart Energy Profile* (SEP) έχουν οριστεί ως ένα από τα πρότυπα επικοινωνίας για τη χρήση του δικτύου του καταναλωτή, από το *U.S National Institute of Standards and Technology* (NIST) [19]. Επίσης, έχει επιλεγεί από πολλές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ως η βασική τεχνολογία επικοινωνίας για έξυπνες συσκευές μέτρησης, δεδομένου ότι παρέχει μια τυποποιημένη πλατφόρμα για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των έξυπνων συσκευών μέτρησης και των συσκευών που βρίσκονται στο χώρο του καταναλωτή. Τα χαρακτηριστικά που υποστηρίζονται από το SEP περιλαμβάνουν: ανταπόκριση στη προκειμένη ζήτηση, προηγμένη υποστήριξη μέτρησης, τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο, γραπτά μηνύματα, και έλεγχο του φορτίου.
2. Το **WirelessHART** χρησιμοποιεί μια αρχιτεκτονική πλέγματος αυτό-συγχρονισμένη, αυτό-οργανωμένη, και με την δυνατότητα αυτό-ίασης, ενώ υποστηρίζει λειτουργία σε φάσμα των 2,4 GHz, χρησιμοποιώντας **IEEE 802.15.4 standard radios**. Αναπτύχθηκε ως ένα multi-vendor, διαλειτουργικό ασύρματο πρότυπο, που ορίστηκε για τις απαιτήσεις των συσκευών του δικτύου.
3. Το **ISA100.11a** είναι μια ανοικτό wireless network technology standard που αναπτύχθηκε από το **International Society of Automation** στο πλαίσιο του “*Wireless Systems for Industrial Automation: Process Control and Related Applications*”. Για τις εφαρμογές πάνω στους ασύρματους αισθητήρες, όπως ένας υποσταθμός ή εργοστάσιο παραγωγής, συνιστάται να χρησιμοποιηθεί το **WirelessHART** ή το **ISA100.11a**. Αυτά τα δύο πρότυπα είναι παρόμοια σε λειτουργία, και ως εκ τούτου, οποιοδήποτε είναι πρότυπο κατάλληλο για ανάπτυξη [19].
4. Το **Satellite Communications** (ή Δορυφορικές Επικοινωνίες) αποτελούν μια καλή λύση για απομακρυσμένο έλεγχο και παρακολούθηση, καθώς παρέχουν παγκόσμια κάλυψη και άμεση εγκατάσταση. Σε κάποιες περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν υποδομές επικοινωνιακών συστημάτων, ιδιαίτερα για απομακρυσμένους υποσταθμούς, οι Δορυφορικές επικοινωνίες είναι μια οικονομική λύση.

Επιπλέον, μια αποκλειστικά υπαίθρια αρχιτεκτονική (“*terrestrial architecture*”) είναι ευάλωτη σε καταστροφές ή σφάλματα του συστήματος

επικοινωνίας. Ως εκ τούτου, προκειμένου να εξασφαλισθεί η ασφαλής λειτουργία και η παράδοση των κρίσιμων δεδομένων κίνησης (“*critical data traffic*”) σε τέτοιες περιόδους/συνθήκες, οι δορυφόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αντίγραφα ασφαλείας για τα υπάρχοντα δίκτυα επικοινωνίας.

Ωστόσο, πρέπει επίσης να σημειώσουμε τα μειονεκτήματα των δορυφορικών επικοινωνιών, καθώς υπάρχουν δύο σημαντικές ελλείψεις. Πρώτον, ένα σύστημα δορυφορικής επικοινωνίας έχει σημαντικά υψηλότερη καθυστέρηση από εκείνη ενός συστήματος υπαίθριων επικοινωνιών. Αυτό κάνει κάποια πρωτόκολλα (π.χ. TCP), τα οποία έχουν σχεδιαστεί αρχικά για υπαίθρια επικοινωνία, ακατάλληλα για δορυφορική επικοινωνία [19]. Δεύτερον, τα χαρακτηριστικά του δορυφορικού καναλιού διαφέρουν ανάλογα με τον βαθμό της φθοράς του, αλλά και των καιρικών συνθηκών. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να υποβαθμίσει αισθητά την απόδοση του όλου συστήματος της δορυφορικής επικοινωνίας.

5. Microwave or Free-Space Optical Communications:

Οι τεχνολογίες microwaves χρησιμοποιούνται ευρέως για **point-to-point επικοινωνίες**, δεδομένου ότι το μικρό μήκος κύματος τους επιτρέπει τη χρήση σε ένα μεγάλο αριθμό κατευθυντικών κεραιών για την απόκτηση ασφαλούς διαβίβασης πληροφοριών σε υψηλό εύρος ζώνης (*bandwidth*). Ενώ μια από τις πιο πρόσφατες έρευνες επισημαίνεται ότι πάνω από το 50% των σταθμών βάσης κινητής τηλεφωνίας σε παγκόσμιο επίπεδο, συνδέονται με τη χρήση point-to-point τεχνολογίας μικροκυμάτων.

Η *Free-space optical communications* είναι μια οπτική τεχνολογία επικοινωνίας που μπορεί να χρησιμοποιήσει το φως που διαδίδεται στον ελεύθερο χώρο για τη μετάδοση *point-to-point data*. Παρέχει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (*bit rate*) με χαμηλά ποσοστά σφάλματος. Επιπλέον, είναι πολύ ασφαλής και παρέχει δυνατότητα point-to-point επικοινωνίας μεταξύ μεγάλων αποστάσεων, όπως σε απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές. Οι τεχνολογίες αυτές “*Optical wireless*” επίσης διαθέτουν point-to-point λύσεις, κατάλληλες για χρήση σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, όπου οι τεχνολογίες των μικροκυμάτων είναι ανέφικτες από την άποψη τυχόν παρεμβολών [23]. Ωστόσο, τόσο η τεχνολογία μικροκυμάτων όσο και η free-space optical είναι ιδιαίτερα επιρρεπής τόσο σε καιρικές όσο και στα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής. Επομένως, τα συγκριτικά τους πλεονεκτήματα επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τα τυχόν εμπόδια (όπως κτίρια, λόφοι κτλ), αλλά και από δυνατές βροχοπτώσεις, χιονοπτώσεις κτλ.

Τα όσα παρατέθηκαν μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι ασύρματες επικοινωνίες είναι πολύ σημαντικές για τα μελλοντικά Smart Grids, αλλά σε αυτό το πλαίσιο θα πρέπει να εξεταστεί η καθεμία ως προς την καταλληλότητα της με γνώμονα το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα. Ορισμένες από αυτές τις

συγκριτικές παραμέτρους θα πρέπει να είναι η *αξιοπιστία*, η *καθυστερήση*, η *ανθεκτικότητα* καθώς και το *εύρος ζώνης (bandwidth)* και οι *ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων (bit rate)*.

4.3.1.3.2 Ενσύρματες Τεχνολογίες («Wired Communications»)

Σε αυτή την ενότητα θα εξετάσουμε, την πιθανή προσαρμογή και των Ενσύρματων τεχνολογιών στα SG. Ενώ παρακάτω παρατίθενται μια λίστα με τις επικρατέστερες:

1. **Fiber-optic Communications:** Η τεχνολογία αυτή ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένη για την χρήση της σε μεγάλες εταιρίες παραγωγής ενέργειας, με σκοπό την σύνδεση του δικτύου παραγωγής με τα δίκτυα ελέγχου των εγκαταστάσεων. Επιπροσθέτως, η ανοσία τους σε παρεμβολές είτε ηλεκτρομαγνητικές είτε ραδιοφωνικές την έκανε ιδανική για περιβάλλοντα υψηλών voltage [23].

Σύμφωνα με το υψηλό *bandwidth capacity* και τα χαρακτηριστικά ανοσίας που την διακρίνουν, η τεχνολογία αυτή θεωρείται ότι μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο στο κεντρικό δίκτυο πληροφοριών των SG. Ανεξαρτήτου του σημαντικού κόστους εγκατάστασης, οι οπτικές ίνες διατηρούν ένα χαμηλό κόστος υποδομής για υψηλές ταχύτητες επικοινωνίας, καθώς έχουν ευρέως εξαπλωθεί στο υπάρχον δίκτυο (*network backbones*), όπου ένα μεγάλο μέρος των δυνατοτήτων του παραμένει αχρησιμοποίητο.

2. **Powerline Communications:** Το PLC είναι μια τεχνολογία που μεταφέρει δεδομένα σε έναν αγωγό που επίσης χρησιμοποιείται για τη μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος. Τις τελευταίες δεκαετίες, πλήθος επιχειρήσεων παροχής ρεύματος σε όλο τον κόσμο είχαν χρησιμοποιήσει PLC για απομακρυσμένη μέτρηση και εφαρμογές ελέγχου φορτίων. Ενώ η διαμάχη σχετικά με το ποιος είναι ο πραγματικός ρόλος του PLC στα μελλοντικά SG εξακολουθεί να είναι ανοιχτή. Ορισμένοι υποστηρίζουν ότι PLC είναι μια πολύ αξιόλογη υποψήφια τεχνολογία για ορισμένες εφαρμογές, ενώ άλλοι εκφράζουν τις ανησυχίες τους σχετικά με τα θέματα ασφαλείας, λόγω της φύσης των καλωδίων του ηλεκτρικού ρεύματος. Παρά το γεγονός ότι τα SG θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν πολλές διαφορετικές τεχνολογίες επικοινωνιών, το PLC είναι η μόνη ενσύρματη τεχνολογία που χωρίς

αμφιβολία έχει κόστος εφαρμογής συγκρίσιμο με τις ασύρματες τεχνολογίες, δεδομένου ότι οι γραμμές του ήδη υπάρχουν [24].

4.3.1.3.2 End-to-end Communication Management

Ένα σημαντικό ζήτημα στο υποσύστημα επικοινωνίας είναι το *end-to-end communication management*. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτό το ετερογενές υποσύστημα επικοινωνίας, όπου διάφορες τεχνολογίες, δομές του δικτύου και συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν, θα πρέπει να προσδιορίζουμε κάθε φορέα (πιθανώς με το δίνουμε ένα μοναδικό ID στο κάθε ένα), κάτι το οποίο θα λύσει το πρόβλημα της διαχείρισης των *end-to-end communications* (ίσως και μεταξύ οποιουδήποτε ζεύγους).

Πρόσφατα, υπάρχει μια αυξανόμενη τάση προς τη χρήση **TCP/IP τεχνολογιών** (συνήθως με βάση το IPv6 address) ως μια κοινή και σταθερή προσέγγιση για την επίτευξη των *end-to-end* επικοινωνιών. Οι TCP/IP τεχνολογίες είναι μια εύκολη λύση στο πρόβλημα της διαχείρισης των συστημάτων που βασίζονται σε ασύμβατες *lower layer technologies*. Ως εκ τούτου, οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις μπορούν να αναπτύξουν πολλαπλά συστήματα επικοινωνίας, ενώ χρησιμοποιώντας την τεχνολογία TCP/IP ως μια πλατφόρμα διαχείρισης (με σκοπό την επίτευξη της *end-to-end* επικοινωνίας), απολαμβάνουν ουσιαστικά το μονοπώλιο στην αγορά.

Η NIST ανέφερε επίσης ότι υπάρχει μια σειρά πλεονεκτημάτων που καταστούν το TCP/IP μια σημαντική τεχνολογία για τα SG, συμπεριλαμβανομένου του μεγάλου αριθμού προτύπων, τη διαθεσιμότητα των εργαλείων και των εφαρμογών που μπορούν να εφαρμοστούν σε περιβάλλοντα SG, καθώς και η ευρεία χρήση του τόσο στα ιδιωτικά όσο και τα δημόσια δίκτυα [19].

4.3.2 Έξυπνο σύστημα Διαχείρισης

Όπως έχουμε αναφέρει στα SG, η υποστήριξη της αμφίδρομης ροής ηλεκτρικής ενέργειας και πληροφορίας, θέτει τα θεμέλια για την υλοποίηση διαφόρων λειτουργιών και στόχων διαχείρισης, όπως η βέλτιστη ενεργειακή απόδοση, η μείωση του κόστους λειτουργίας, η ζήτηση και το ισοζύγιο εφοδιασμού, ο έλεγχος των εκπομπών και η μεγιστοποίηση της χρησιμότητας γενικά. Μια επιφανειακή επισκόπηση του SG μας δίνει την λανθασμένη εντύπωση ότι μονάχα οι υποδομές (της ενέργειας, των πληροφοριών και της επικοινωνίας) που διέπουν τα SG είναι “έξυπνες”.

Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε την *ανταπόκριση στη ζήτηση*, ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα που υποστηρίζονται από τα SG. Παραδοσιακά, οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις προσπαθούν να συμβαδίσουν την προσφορά ενέργειας με τη ζήτηση της. Ωστόσο, αυτό μπορεί όχι μόνο να είναι δαπανηρό, αλλά επίσης μη πρακτικό, έως και ανέφικτο σε μια πιο μακροπρόθεσμη προσέγγιση. Αυτό συμβαίνει επειδή η συνολική ποσότητα της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από τους χρήστες μπορεί να έχει μια ευρεία κατανομή πιθανοτήτων, η οποία να απαιτεί από εφεδρικά εργοστάσια παραγωγής που βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής να ανταποκριθούν στην ταχέως μεταβαλλόμενη χρήση της ενέργειας. Παραδείγματος χάριν, το τελευταίο 10% των δυνατοτήτων παραγωγής μπορεί να ζητηθεί σε ένα διάστημα λιγότερο από το 1% του χρόνου. Οι προσπάθειες για την επιτυχή κάλυψη της ζήτησης θα μπορούσαν να αποτύχουν, με αποτέλεσμα πιθανές πτώσεις τάσης), blackouts (ήτοι διακοπή ηλεκτρικού ρεύματος) και ακόμη διαδοχικές αποτυχίες σύνδεσης. Στα SG, η ανταπόκριση στην ζήτηση διαχειρίζεται την κατανάλωση της ενέργειας από τους πελάτες σύμφωνα με τα αποθέματα. Πιο συγκεκριμένα, με τη χρήση της ανταπόκρισης στη ζήτηση, τα SG δεν χρειάζεται να προσαρμόζουν την προσφορά στη ζήτηση, αλλά αντίθετα προσπαθούν να πείσουν τους καταναλωτές (π.χ. μέσω μεταβλητής τιμολόγησης) με σκοπό να επιτύχουν μεγαλύτερα επίπεδα χρήσης.

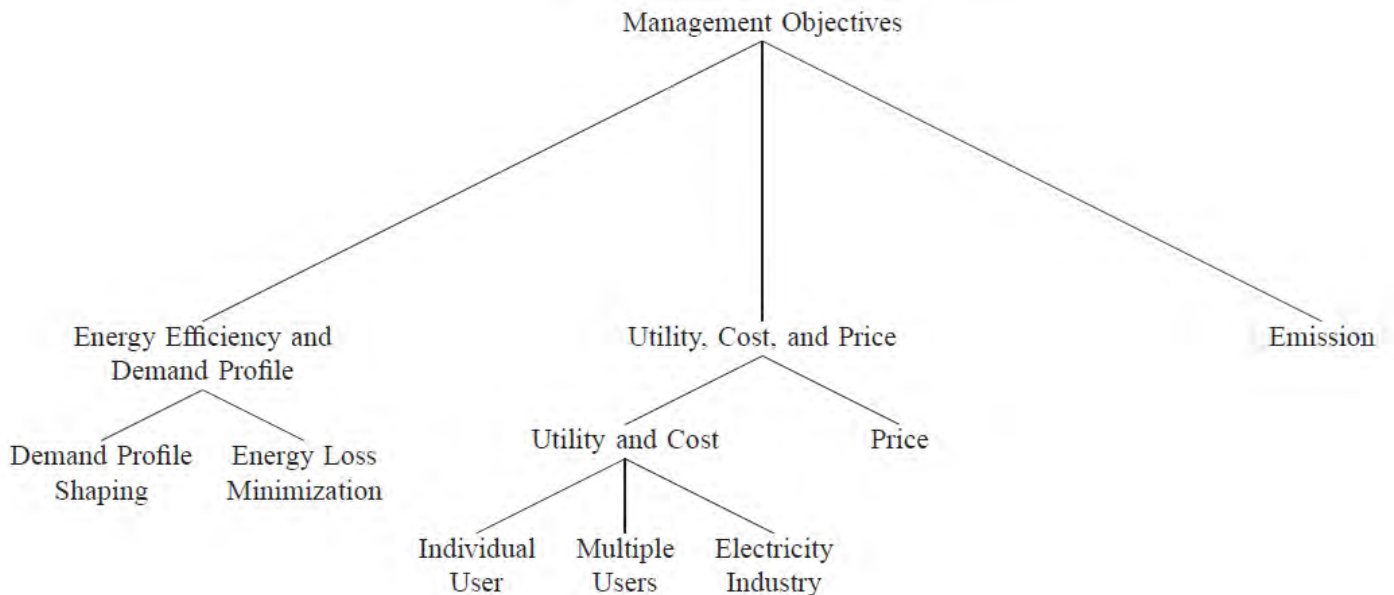
Στην ενότητα αυτή, θα διερευνήσουμε τις τεχνικές της έξυπνης διαχείρισης στα SG, αρχικά σύμφωνα με τους στόχους τους και στη συνέχεια, σύμφωνα με τις μεθόδους και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται.

4.3.2.1 Στόχοι Διαχείρισης

Η υλοποίηση πολλών από τους στόχους διαχείρισης, που θεωρητικά κρίνεται από δύσκολη έως ανέφικτη για τα συμβατικά ηλεκτρικά δίκτυα, καθίσταται δυνατή και μάλιστα εύκολη στο πλαίσιο των SG. Μέχρι στιγμής, οι μελέτες της έξυπνης διαχείρισης επικεντρώνονται κυρίως στους ακόλουθους τρεις στόχους:

1. *Ενεργειακή απόδοση και βελτίωση της σχέσης προσφοράς και ζήτησης.*
2. *Μείωση του κόστους και σταθεροποίηση των τιμών.*
3. *Έλεγχος των εκπομπών.*

Το παρακάτω Σχήμα δείχνει μια λεπτομερή ταξινόμηση των ερευνητικών εργασιών που σχετίζονται με τους στόχους διαχείρισης.



Η έρευνα για την ενεργειακή απόδοση και τα χαρακτηριστικά της ζήτησης εστιάζεται κυρίως σε δύο θέματα. Το πρώτο κατηγοριοποιείται ως *demand profile shaping* και μπορεί να βοηθήσει στην προσαρμογή της ζήτησης σύμφωνα με τη διαθέσιμη προσφορά. Ο κλασικός τρόπος για τη διαμόρφωση της ζήτησης είναι η μετατόπιση (*shifting*), ο προγραμματισμός ή ακόμη και η μείωση της ζήτησης, προκειμένου να το σύστημα να ανταπεξέλθει στις ώρες αιχμής ή ακόμη να μειώσει το **peak-to-average ratio**. Όπως συζητήθηκε προηγουμένως, δεδομένου ότι ηλεκτρική παραγωγή και τα συστήματα μεταφοράς συνήθως προσαρμόζονται ώστε να ανταπεξέρχονται στο peak της ζήτησης, η μείωση της ζήτησης στις ώρες αιχμής συντελεί επίσης και στη ελάττωση των εργοστασιακών απαιτήσεων, αλλά και του συνολικού κόστους κεφαλαίου, ενώ αυξάνεται η αξιοπιστία του συστήματος. Στη συνέχεια θα περιγράψουμε εν συντομία αυτές τις ερευνητικές μελέτες.

Το δεύτερο θέμα της ενεργειακής απόδοσης είναι η ελαχιστοποίηση της απώλειας της ενέργειας. Ωστόσο, η χρήση της κατανεμημένης ενέργειας στα SG κάνει αυτό το πρόβλημα πιο περίπλοκο. Σύμφωνα με τις έρευνες που διεξήχθησαν, η βελτίωση της χρήσης (*utility*), η αύξηση του κέρδους και η μείωση του κόστους αποτελούν επίσης σημαντικούς στόχους. Οι ερευνητές πραγματοποιούν αυτούς τους στόχους σε διάφορα επίπεδα, όπως για την ενιαία κοστολόγηση της ενέργειας ή για το σύνολο μιας ομάδας χρηστών, τα οφέλη κάθε χρήστη και το κόστος του κλάδου της ηλεκτρικής ενέργειας και του συστήματος [25]. Η σταθεροποίηση των τιμών είναι επίσης ένα ακόμη ερευνητικό ζήτημα στα SG.

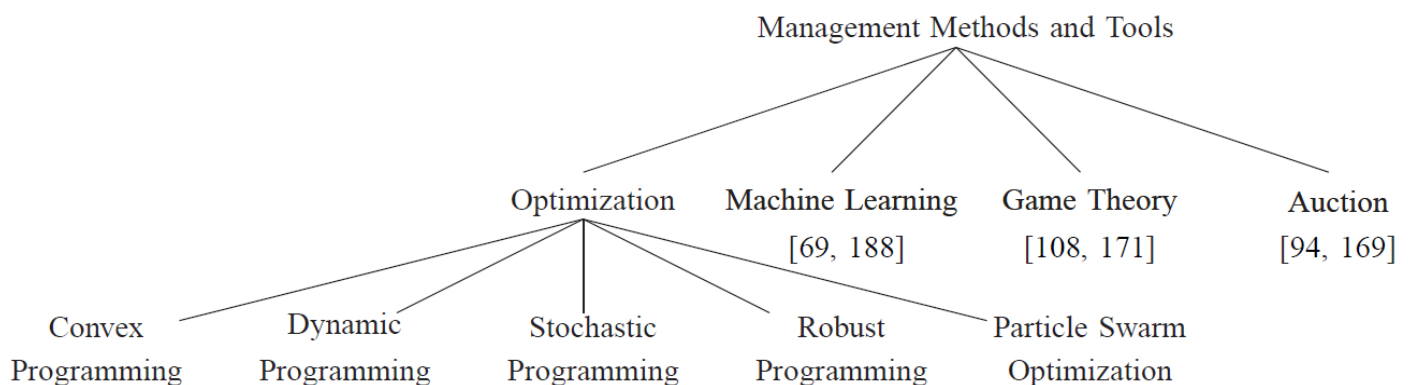
Ο έλεγχος των εκπομπών, είναι ένας άλλος σημαντικός στόχος της διαχείρισης στη βιομηχανία της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς έχει σημαντική επίδραση στην προστασία του περιβάλλοντος. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι η ελαχιστοποίηση του κόστους της παραγωγής και η μεγιστοποίηση της

απόδοσης/κέρδους δεν είναι άμεσα ισοδύναμες με την ελαχιστοποίηση των εκπομπών από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό συμβαίνει επειδή, γενικά, το κόστος της παραγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν είναι πάντοτε το χαμηλότερο.

Συμπεριλαμβανομένου της σημασίας των Microgrids και των G2V/V2G, αξίζει να παρατεθούν τα εξής συμπεράσματα πάνω στις έρευνες που διεξήχθησαν. Όπως αναφέρθηκε στο τμήμα 1.3.1.1.4 στα G2V, τα υψηλά επίπεδα ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούν τα ηλεκτρικά οχήματα (EV), μπορούν να μειώσουν σημαντικά την απόδοση του συστήματος, ακόμη και να προκαλέσουν υπερφόρτωση. Η συντονισμένη φόρτιση έχει ως εκ τούτου προταθεί για την εξομάλυνση αυτών των αρνητικών επιπτώσεων, με την χρήση στοχαστικού προγραμματισμού (*stochastic programming*), τετραγωνικής βελτιστοποίησης (*quadratic optimization*) και δυναμικού προγραμματισμού (*dynamic programming*) [19]. Στα V2G αντίστοιχα, συχνά απαιτείται η αποφόρτιση της μπαταρίας με σκοπό την παροχή ρεύματος στο δίκτυο και στη συνέχεια όταν η τιμή είναι χαμηλή, η επαναφόρτιση. Ως εκ τούτου, ένα βασικό ερώτημα που προκύπτει είναι το πώς θα καθοριστούν οι κατάλληλοι χρόνοι φόρτισης και αποφόρτισης κατά τη διάρκεια της ημέρας, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις απαιτήσεις των ιδιοκτητών των οχημάτων όσο και των εγκαταστάσεων παροχής ηλεκτρικού ρεύματος.

4.3.2.2 Μέθοδοι και Εργαλεία Διαχείρισης

Κάποιες από τις μεθόδους και τα εργαλεία που χρησιμοποιούν οι ερευνητές για να επιτύχουν τους στόχους που εξετάστηκαν νωρίτερα, είναι τα εξής, όπως φαίνονται και στο σχήμα:



Στην κατεύθυνση της βελτιστοποίησης, τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μαθηματικά εργαλεία είναι ο κυρτός προγραμματισμός (*convex programming*) και δυναμικός προγραμματισμός (*dynamic programming*). Δεδομένου ότι η ενέργεια

που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές είναι μια διαδικασία που συχνά ποικίλλει με το χρόνο, άλλες τεχνικές βελτιστοποίησης όπως ο *stochastic programming* και ο *robust programming* άρχισαν να χρησιμοποιούνται ευρέως. Επιπλέον, η *particle swarm optimization* μπορεί να λύσει γρήγορα και με ακρίβεια πολύπλοκα προβλήματα βελτιστοποίησης, και χωρίς κανένα περιορισμό διαστάσεων στο όριο φυσικής μνήμης του υπολογιστή, επομένως αποτελεί ακόμη ένα εύχρηστο εργαλείο [23, 24].

Η εκπαίδευση επί των μηχανών εστιάζει στο σχεδιασμό και την ανάπτυξη των αλγορίθμων που επιτρέπουν στα συστήματα ελέγχου να εξελίξουν την συμπεριφορά τους με βάση τα εμπειρικά δεδομένα, όπως από τον αισθητήρα ή **phasor measurement unit data** (PMU). Λαμβάνοντας έτσι υπόψη ότι θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας μεγάλος αριθμός έξυπνων μετρητών, αισθητήρων και PMUs, θεωρούμε ότι μηχανική κατάρτιση θα διαδραματίσει ένα σημαντικό ρόλο στην ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων των χρηστών και μελών του δικτύου.

Η θεωρία του παιγνίου ("*Game Theory*") είναι επίσης άλλο ένα ισχυρό εργαλείο ανάλυσης για τη διαχείριση των SG, καθώς δεν είναι ρεαλιστικό να απαιτούμε πάντα και από όλους τους χρήστες να είναι συνεργάσιμοι. Συνεπώς, η θεωρία παιγνίων μπορεί να μας βοηθήσει να σχεδιάσουμε με επιτυχία ορισμένα συστήματα που θα αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά αυτή την κατάσταση. Ένας ακόμη λόγος για τον οποίο η θεωρία παιγνίων είναι ιδανική είναι ότι επειδή τα SG θα οδηγήσουν σε ένα μεγάλο αριθμό αγορών, οι οποίες θα είναι παρόμοια με *multi-player* παιχνίδια. Για παράδειγμα, οι καταναλωτές σε ένα μικροδίκτυο μπορεί να δημιουργήσουν μια αγορά για την εμπορία της ηλεκτρικής ενέργειας. Ενώ η θεωρία των παιγνίων μπορεί να συντελέσει στην ανάλυση των νέων αγορών.

Η *κατανεμημένη παραγωγή ενέργειας* και η *MicroGrid* θα χρησιμοποιηθούν ευρέως σε αυτά. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι καταναλωτές σε ένα μικροδίκτυο μπορεί να δημιουργήσουν μια αγορά για την ανταλλαγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, η υποβολή προσφορών και η δημοπρασία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πώληση ενέργειας εντός μιας τοπικής αγοράς μικροδικτύου. Σε αυτό το πλαίσιο οι αναλυτές [25] πρότειναν την μείωση της ζήτησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ανταπόκριση στη ζήτηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να μειωθεί το φορτίο αιχμής του συστήματος. Κατά τη διάρκεια της περιόδου αιχμής φορτίου, οι πελάτες θα στέλνουν τις προσφορές της μείωσης της ζήτησης τους στο εργοστάσιο παραγωγής, αναλόγως της εκάστοτε δυνατότητας σε μείωση της ζήτησης και τιμής αντίστοιχα. Εν ολίγοις, το πρόγραμμα ενθαρρύνει τους πελάτες της να μειώσουν τις απαιτήσεις τους σε «φορτίο» σε όσο μεγαλύτερο βαθμό αυτό είναι εφικτό.

4.3.2.3 Μελλοντική Έρευνα

Πιστεύουμε ότι αυτή η προηγμένη υποδομή θα οδηγήσει σε μια πληθώρα λειτουργιών και ότι όλο και περισσότερες υπηρεσίες και εφαρμογές θα εμφανιστούν. Παρακάτω αναφέρονται δύο πιθανές υπηρεσίες.

1. **Η ενσωμάτωση του διάχυτου υπολογισμού (*pervasive computing*):** Το *Pervasive computing* είναι ένα μοντέλο το οποίο επεξεργάζεται πληροφορίες, οι οποίες έχουν ενσωματωθεί σε αντικείμενα και δραστηριότητες καθημερινής χρήσης. Έτσι, χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που παρέχονται, το SG είναι σε θέση να εξυπηρετεί τους χρήστες πιο αποτελεσματικά και έξυπνα, βελτιώνοντας το βιοτικό επίπεδο των καταναλωτών.
2. **Smart Grid Store:** Όπως το "*Application Store της Apple*", πολλές εφαρμογές και υπηρεσίες της διαχείρισης είναι απευθείας διαθέσιμες. Οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν τις υπηρεσίες που επιθυμούν και να τις κατεβάσουν στο τοπικό τους σύστημα (π.χ. ένας έξυπνος μετρητής). Για παράδειγμα, ένας χρήστης, ο οποίος χρειάζεται ένα πρόγραμμα διαχείρισης το οποίο να υποστηρίζει τον έξυπνο έλεγχο π.χ. του κλιματιστικού, μπορεί να αγοράσει ένα τέτοιο πρόγραμμα από το διαδικτυακό κατάστημα Smart Grid και να το κατεβάσει. Αυτό το "e-shop" παρέχει μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα, η οποία μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων προγραμμάτων διαχείρισης και παράλληλα να βοηθάει τους χρήστες στην εύκολη προσαρμογή των υπηρεσιών του.

Παρά όμως το γεγονός ότι ένα έξυπνο σύστημα διαχείρισης παρουσιάζεται ως πολλά υποσχόμενο, εξακολουθούν να υπάρχουν ακόμη πολλές προκλήσεις. Στη συνέχεια θα αναλυθούν οι σημαντικότερες εξ αυτών, καθώς και οι αντίστοιχες πιθανές ερευνητικές κατευθύνσεις.

1. **Ρύθμιση αναδυόμενων αγορών:** Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα μικροδίκτυα θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην εμφάνιση νέων αγορών μέσα σε ένα μικροδίκτυο για τους χρήστες με στόχο την ανταλλαγή ηλεκτρικής ενέργειας. Λόγω της έλλειψης ελέγχου, η πρόκληση είναι να ρυθμίζονται τέτοιου είδους νέες αγορές. Για παράδειγμα, σε μια αγορά δημοπρασίας, οι καταναλωτές στο πλαίσιο ανταλλαγής ενέργειας εντός του μικροδικτύου, δεν μπορούν να εξασφαλίσουν αξιόπιστη συνεργασία με το κέντρο, δεδομένου ότι ορισμένοι χρήστες έχουν την δυνατότητα να δηλώνουν ψευδή στοιχεία προκειμένου να εξαπατήσουν τον πωλητή και να λάβουν επιπλέον μέρισμα από εκείνο που τους αντιστοιχεί.
2. **Η αποτελεσματικότητα του κατανεμημένου συστήματος διαχείρισης:** Τα SG αναμένεται να αξιοποιούν πιο συχνά τα κατανεμημένα συστήματα διαχείρισης, δεδομένου ότι η κατανεμημένη παραγωγή και τα **plug-and-play** συστατικά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ευρέως ώστε να σχηματίσουν αυτόνομα και διανεμημένα υποδίκτυα (όπως τα μικροδίκτυα). Ωστόσο, αυτό συνεπάγεται μια πιο έγκαιρη ενημέρωση και εξυπνότερες αποφάσεις στο πλαίσιο της διαχείρισης. Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη τον περιορισμό στις προσπελάσιμες πληροφορίες, τα κατανεμημένα συστήματα συνήθως δεν είναι σε θέση να εκτιμήσουν τη

βέλτιστη απόφαση σε παγκόσμιο επίπεδο. Πρέπει ως εκ τούτου να εξεταστεί με ποιο τρόπο θα καθοριστεί το βέλτιστο μέγεθος ενός υποδικτύου, το οποίο θα ελέγχεται από ένα καταναμημένο σύστημα διαχείρισης και αντίστοιχα με ποιόν τρόπο θα ληφθούν οι απαραίτητες πληροφορίες, έτσι ώστε η απόφαση (σε τοπικό επίπεδο) είναι ικανοποιητική.

3. **Οι επιπτώσεις του ad-hoc δικτύου:** Στα SG, πολλά τμήματα (όπως ηλιακοί συλλέκτες) έχουν αναπτυχθεί με ένα καταναμημένο τρόπο και επιβάλλεται να λειτουργούν ως plug-and-play components. Η μεγαλύτερη ευελιξία όμως από την πλευρά των χρηστών οδηγεί σε μεγαλύτερη δυσκολία στο σχεδιασμό και τη διαχείριση του συστήματος, κάτι το οποίο θίγει πολλά πιθανά ερευνητικά θέματα. Για παράδειγμα, πρέπει να μελετήσουμε την αυτόματη ρύθμιση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και περαιτέρω με ποιόν τρόπο αυτό το αυτόματα διαμορφωμένο σύστημα θα διαχειριστεί την μεταφορά της ενέργειας. Ας εξετάσουμε όμως μια πιο συγκεκριμένη περίπτωση. Σε ένα σύστημα τροφοδοσίας το οποίο περιέχει πολλά μικροδίκτυα, ορισμένα components είναι πιθανό να σταματήσουν να λειτουργούν σε κάποιο από αυτά. Σε αυτή την περίπτωση, θα ήταν ενδιαφέρον να μελετηθεί με ποιον βέλτιστο τρόπο θα μπορούσαν να διανεμηθούν οι κατάλληλοι πόροι (π.χ. γεννήτριες ενέργειας) από τα υπόλοιπα μικροδίκτυα σε εκείνο που παρουσιάζει επιπλοκές, με σκοπό να βελτιώσει τη συνολική απόδοση ολόκληρου του συστήματος.
4. **Οι επιπτώσεις της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:** Η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή, καθιστούν τη διαχείριση ακόμη πιο δύσκολη λόγω της κυμαινόμενης φύσης τους (εξαιτίας των συνεχών διακοπών παροχής ενέργειας). Το σύστημα όμως οφείλει να διατηρήσει την αξιοπιστία του αλλά και να ικανοποιήσει παράλληλα τις λειτουργικές του απαιτήσεις, λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη τον συντελεστή μεταβλητότητας που διακρίνει αυτές τις ενεργειακές πηγές.

4.3.3 Έξυπνο σύστημα Προστασίας

Το έξυπνο σύστημα προστασίας στα SG πρέπει όχι μόνο να βρει συμβιβαστικές λύσεις για την υποδομή του δικτύου, λόγω τυχόν σφαλμάτων των χρηστών, βλαβών του εξοπλισμού και φυσικών καταστροφών, αλλά και λόγω εσκεμμένων επιθέσεων στον κυβερνοχώρο, από π.χ. δυσαρεστημένους υπαλλήλους, βιομηχανικούς κατασκόπους και τρομοκράτες.

Στην ενότητα αυτή, θα γίνει πρώτα μια ανασκόπηση των ερευνών που σχετίζονται με την ανάλυση της αξιοπιστίας του συστήματος και των μηχανισμών

προστασίας, ενώ στη συνέχεια, θα εστιάσουμε στην ασφάλεια και στα θέματα προστασίας προσωπικών δεδομένων στα SG.

4.3.3.1 Αξιοπιστία Συστήματος και Προστασία

Η αξιοπιστία είναι η ικανότητα ενός εξαρτήματος ή συστήματος να εκτελεί απαραίτητες λειτουργίες υπό καθορισμένες συνθήκες και για δεδομένο χρονικό διάστημα. Η αξιοπιστία του συστήματος είναι ένα σημαντικό θέμα για την έρευνα και το σχεδιασμό του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Παραδείγματος χάριν στις Η.Π.Α, το ετήσιο κόστος των διακοπών για το 2002 εκτιμήθηκε ότι θα κυμαινόταν στις \$79 Billion, ενώ τα συνολικά έσοδα λιανικής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας ήταν \$249B. Επιπλέον, υπάρχει σημαντική πιθανότητα διαδοχικών διακοπών ρεύματος (*blackouts*). Για παράδειγμα, στη περιβόητη συσκότιση το 2003 Ανατολική Ακτή, 50 εκατομμύρια άνθρωποι στις ΗΠΑ και στον Καναδά δεν είχαν παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για 6 ημέρες [26].

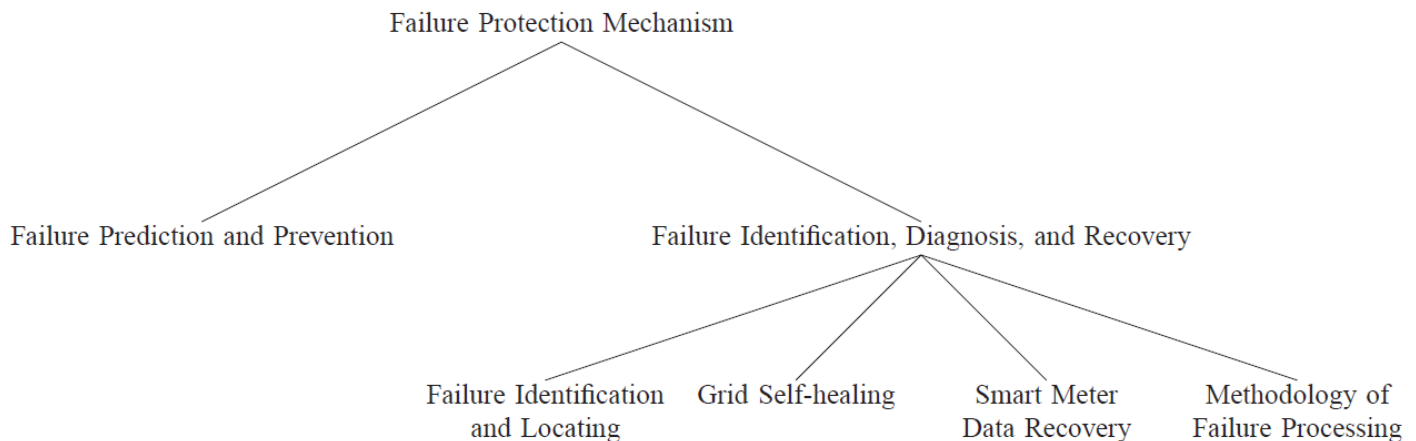
Μια πρώτη εξέταση των μεθόδων ανάλυσης των διαδοχικών βλαβών στα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου μπορεί να βρεθεί στο [15]. Τα μελλοντικά SG αναμένεται να παρέχουν πιο αξιόπιστη λειτουργία συστήματος και πιο έξυπνους μηχανισμούς προστασίας. Πιο αναλυτικά:

1. **Αξιοπιστία Συστήματος:** Αναμένεται ότι η κατανεμημένη παραγωγή (ΚΠ) θα πρέπει να χρησιμοποιείται ευρέως στην SG. Ενώ η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την *σταθερότητα του δικτύου*. Οι συγγραφείς του [23] δήλωσαν ότι τα καινοτόμα σχέδια και αρχιτεκτονικές μπορούν να συνεισφέρουν ενεργά στην επιτυχή σύνδεση των ΚΠ στο δίκτυο, χωρίς να θυσιάζεται η αξιοπιστία. Αναλυτικότερα, η αξιοπιστία και η σταθερότητα ενός SG εξαρτώνται επίσης από την συνολική αξιοπιστία του συστήματος μέτρησης, που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της λειτουργίας του. Πρόσφατα, το σύστημα μέτρησης ευρείας περιοχής (WAMS), που βασίζεται στα *phasor measurement units* (PMU), έγινε ένα σημαντικό εργαλείο για την παρακολούθηση, τον έλεγχο και την προστασία των SG.

Ένα διαφορετικό αντικείμενο έρευνας χρησιμοποιεί μεθόδους προσομοίωσης για την ανάλυση της αξιοπιστίας του συστήματος. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερη ακρίβεια μπορεί να δώσει μια πλατφόρμα προσομοίωσης στην συμπεριφορά και απόδοση της αρχιτεκτονικής των SG, τόσο καλύτερα θα καταλάβουμε τα πλεονεκτήματα, τις δυνατότητες αλλά και τις ελλείψεις. Ωστόσο, το ερώτημα είναι πώς θα δημιουργηθεί ένα σύστημα προσομοίωσης που είναι ακριβές, ευέλικτο, ευπροσάρμοστο και επεκτάσιμο.

2. Μηχανισμός Προστασίας από Σφάλματα

Σε αυτή την υποενότητα, θα εξεταστούν αρχικά δύο θέματα που σχετίζονται με την αποτυχία του μηχανισμού προστασίας. Πρώτον, η *πρόβλεψη και η πρόληψη της αποτυχίας* παίζουν σημαντικό ρόλο στο έξυπνο σύστημα προστασίας διότι προσπαθούν να αποτρέψουν τυχόν αποτυχίες από να συμβούν. Δεύτερον, όταν το σύστημα έχει αποτύχει, η *αναγνώριση βλάβης, η διάγνωση και η αποκατάσταση* καλούνται να επαναφέρουν το σύστημα προκειμένου να ανακτήσει όλες τις λειτουργίες του το συντομότερο δυνατό. Το Σχ. 16 δείχνει μια ταξινόμηση των διαδικασιών που σχετίζονται με αυτά τα δύο ζητήματα. Επιπλέον, δεδομένου ότι το MicroGrid θεωρείται ένα από τα πιο σημαντικά νέα στοιχεία των SG, θα επανεξετάσουμε τις μελέτες που εστιάζουν στην προστασία του μικροδικτύου.



- ✓ **Η αποτυχία Πρόβλεψης και Πρόληψης:** Για τα SG, μια αποτελεσματική προσέγγιση για την πρόληψη βλαβών είναι η επισήμανση των αδύνατων σημείων ή της περιοχής όπου υπάρχει σταθερότητα στο υποσύστημα της ενέργειας.
- ✓ **Η Αποτυχία αναγνώρισης, Διάγνωσης και Αποκατάστασης:** Μόλις μια αποτυχία προκύπτει, το πρώτο βήμα θα πρέπει να είναι ο γρήγορος εντοπισμός και αξιολόγηση της βλάβης ώστε να αποφευχθούν παρόμοια διαδοχικά συμβάντα. Λόγω της μεγάλης ανάπτυξης των PMUs στο SG, οι συγγραφείς του [21, 23] πρότειναν ότι το δίκτυο θα έπρεπε να επωφεληθεί από τις πληροφορίες που αυτά προσφέρουν για τον εντοπισμό της γραμμής διακοπής και των παραμέτρων σφάλματος του δικτύου.

Η ικανότητα να "αυτό-επουλωθούν» σε περίπτωση βλάβης εκτιμάται ότι θα είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της SG σύμφωνα με τα πρότυπα [19] από το **Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (NIST)**. Μια αποτελεσματική προσέγγιση είναι να διαιρεθεί το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας σε μικρά, μη διασυνδεδεμένα islands (π.χ. μικροδίκτυα), τα οποία θα μπορούν να ανταπεξέλθουν πλήρως κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας και επίσης να συνεχίσουν κατά τη διάρκεια των διακοπών. Με τον κατάλληλο έλεγχο της αναδιάρθρωσης του συστήματος, οι επιπτώσεις των αποτυχιών μπορούν να περιοριστούν εντός των islands ή γενικά να απομονωθούν. Τα διαδοχικά συμβάντα και οι περαιτέρω αστοχίες του συστήματος μπορούν, ως εκ τούτου, να αποφευχθούν. Συνεπώς, η συνολική απόδοση του συστήματος αποκατάστασης μπορεί να βελτιωθεί αισθητά.

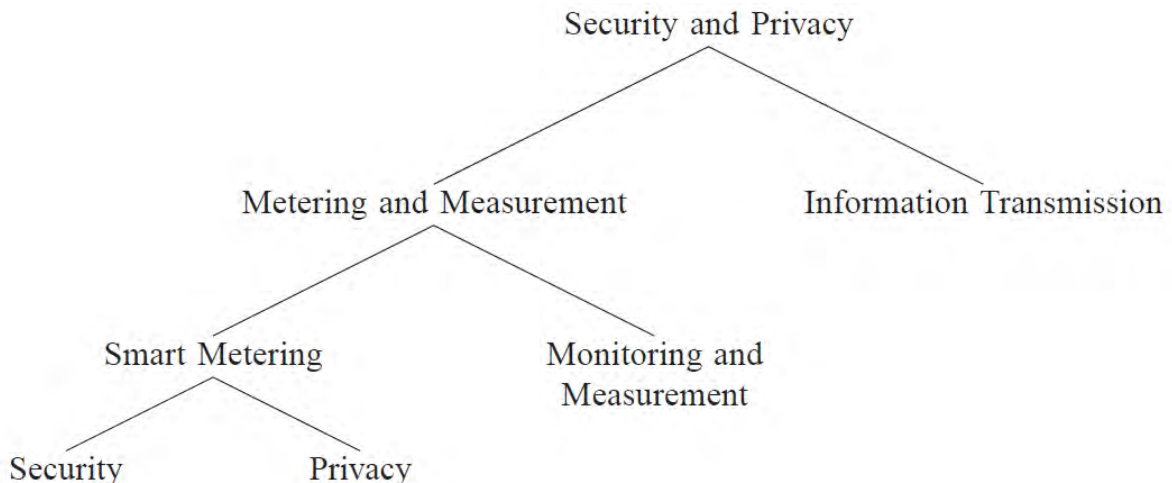
Αποτυχίες θα μπορούσαν επίσης να λάβουν χώρα και στους τους έξυπνους μετρητές, με αποτέλεσμα το φορτίο των δεδομένων να περιέχει αλλοιωμένες ή αποσπασμένες πληροφορίες. Η επεξεργασία ή ακόμη και η ανάκτηση των δεδομένων αυτών είναι καίρια, δεδομένου ότι περιέχει ζωτικής σημασίας πληροφορίες για την καθημερινή εκτέλεση των λειτουργιών και της ανάλυσης του συστήματος.

- ✓ **Προστασία Μικροδικτύου:** Η προστασία του μικροδικτύου κατά τη διάρκεια της κανονικής (ή της island) λειτουργίας αξίζει επίσης να ερευνηθεί, εάν λάβουμε υπόψη ότι τα μικροδίκτυα θα χρησιμοποιηθούν ευρέως στα SG. Για παράδειγμα, η παραδοσιακή προστασία για τα δίκτυα διανομής είναι σχεδιασμένη για υψηλά επίπεδα σφαλμάτων στην παροχή ρεύματος. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια μιας islanding λειτουργίας του μικροδικτύου, τα υψηλά σφάλματα δεν υπάρχουν. Επιπροσθέτως, οι περισσότερες από τις μονάδες της Καταναμημένης Παραγωγής, η οποία θα συνδεθεί με το μικροδίκτυο χαμηλής τάσης, θα μετατραπούν/διασυνδεθούν με περιορισμένο αριθμό σφαλμάτων. Αυτό σημαίνει ότι η παραδοσιακή ασφάλεια του χαμηλού δικτύου τάσης δεν ισχύει πλέον για το μικροδίκτυο συν ότι θα πρέπει να αναπτυχθούν νέες μέθοδοι προστασίας.

4.3.3.2 Ασφάλεια και Προστασία Προσωπικών Δεδομένων

Η ασφάλεια είναι ένα ανοιχτό θέμα που υστερεί επίλυσης και δυστυχώς η ασφάλεια στα SG δεν αποτελεί εξαίρεση. Η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο θεωρείται ως μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στο πλαίσιο των SG, καθώς οι αδυναμίες του συστήματος μπορεί να επιτρέψουν σε ένα εισβολέα να διεισδύσει σε αυτό, αποκτώντας πρόσβαση στον έλεγχο του λογισμικού, με σκοπό να τροποποιήσει τις συνθήκες του φορτίου και να αποσταθεροποιήσει (με απρόβλεπτο τρόπο) το δίκτυο

[166]. Το Σχ. 17 δείχνει μια ταξινόμηση των λειτουργιών σχετικά με την ασφάλεια και την προστασία. Πρέπει να σημειωθεί ότι η προηγμένη υποδομή που χρησιμοποιείται, από την μια πλευρά μας ωθεί να χρησιμοποιήσουμε πιο ισχυρούς μηχανισμούς για την προάσπιση ενάντια στις επιθέσεις, αλλά από την άλλη δημιουργεί νέες αδυναμίες. Συνεπώς, στη συνέχεια, θα τεθούν υπό εξέταση και πολλά νέα ζητήματα ασφάλειας και προστασίας, λόγω της ανάπτυξης των έξυπνων μετρητών, αισθητήρων και των PMUs, μαζί με ορισμένες λύσεις.



4.3.3.2.1 Information Metering and Measurement

Ασφάλεια στο Smart Metering: Ένα από τα ζητήματα ασφάλειας που έχουν προκύψει προέρχεται από τους έξυπνους μετρητές, οι οποίοι είναι εξαιρετικά ελκυστικοί στόχοι για τους κακόβουλους χάκερ, καθώς τα τρωτά τους σημεία μπορούν εύκολα να αποτιμηθούν χρηματικά. Οι Hackers που υποβιβάζουν την ασφάλεια ενός έξυπνου μετρητή μπορούν άμεσα να διαχειριστούν τα ενεργειακά κόστη που παράγονται ή να παραποιήσουν τις ενδείξεις των μετρητών (παραγόμενης ενέργειας) για να επωφεληθούν χρηματικά. Μια κοινή απάτη σε βάρος των καταναλωτών στο παραδοσιακό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι οι πελάτες μετατρέπουν ένα φυσικό μετρητή σε μια ηλεκτρική πρίζα ώστε να προκαλέσουν την αντίστροφη φορά μέτρησης. Λόγω της χρήσης των έξυπνων μετρητών, αυτή η επίθεση μπορεί να γίνει ακόμη και με απομακρυσμένους υπολογιστές.

Επιπλέον, η εκτεταμένη χρήση των έξυπνων μετρητών μπορεί να παρέχει ένα δυνητικά μεγάλο αριθμό ευκαιριών στους αντιπάλους. Για παράδειγμα, η παραπληροφόρηση αυτή θα μπορούσε να ωθήσει το κεντρικό δίκτυο να πάρει

λάθος αποφάσεις σχετικά με τις τοπική ή περιφερειακή χρήση και δυνατότητα (σε παροχή ρεύματος κτλ). Ας θεωρήσουμε μια απλή, αλλά αποτελεσματική επίθεση, **Denial-of-Service (DoS)**. Ένας εισβολέας πλαστογραφεί το αίτημα ζήτησης ενός έξυπνου μετρητή, εξακολουθώντας να ζητά μία μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Στο πλαίσιο των SG, είναι πιθανό η ηλεκτρική εταιρεία να αποσυνδέει όλες τις συσκευές που συνδέονται με αυτό το μετρητή, έτσι ώστε όλες οι υπηρεσίες παροχής ενέργειας να απαγορευτούν για τον συγκεκριμένο χρήστη.

Όμως η εκτεταμένη ανάπτυξη των έξυπνων μετρητών δεν οδηγεί μόνο σε ένα σημαντικό αριθμό ευκαιριών για τους ανταγωνιστές, αλλά επίσης, δημιουργεί ένα μεγάλο κενό για τυχόν επιθέσεις στον κυβερνοχώρο που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε καταστροφές μεγάλης κλίμακας. Ας εξετάσουμε ένα παράδειγμα που δίνεται από τον Anderson και Fuloria [7]. Μια ιδανική επίθεση κατά μιας χώρας-στόχου είναι να διακοπεί η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους πολίτες της. Μέχρι τώρα, ο μόνος τρόπος για να υλοποιηθεί κάτι τέτοιο συνεπάγεται επιθέσεις σε κρίσιμα περιουσιακά στοιχεία παραγωγής, μεταφοράς και διανομής, τα οποία προστατεύονται όλο και περισσότερο. Εντούτοις, η εμφάνιση των έξυπνων μετρητών αλλάζουν αυτό το παιχνίδι. Το εφιαλτικό σενάριο είναι ότι κάθε χώρα εγκαθιστά δεκάδες εκατομμύρια των έξυπνων μετρητών, οι οποίοι ελέγχονται από λίγους κεντρικούς ελεγκτές. Ο εισβολέας μπορεί να «απειλήσει» αυτούς τους ελεγκτές και να στείλει το συνδυασμό των εντολών που θα προκαλέσουν διακοπή της παροχής, μια επίθεση η οποία θα ήταν σε θέση να προκαλέσει καταστροφικά αποτελέσματα.

Προκειμένου να βελτιωθεί η ασφάλεια των έξυπνων συστημάτων μέτρησης, οι ερευνητές ερεύνησαν πολλές πιθανές επιθέσεις και πρότειναν τις παρακάτω λύσεις.

Προστασία προσωπικών δεδομένων στο Smart Metering: Οι έξυπνοι μετρητές έχουν επίσης ακούσιες συνέπειες για την προστασία προσωπικών δεδομένων (ΠΠΔ) των πελατών. Το NIST επισήμανε ότι «το σημαντικότερο όφελος που παρέχεται από τα SG, είναι επίσης και η Αχίλλειος πτέρνα του, όσον αφορά το κομμάτι της ΠΠΔ» [19]. Η προφανής ανησυχία εστιάζεται στο ότι οι πληροφορίες χρήσης της ενέργειας αποθηκεύονται σε ένα μετρητή που λειτουργεί ως πλευρικό κανάλι, πλούσιο σε πληροφορίες, το οποίο μπορεί να αναδιαμορφωθεί από τους εμπλεκόμενους ώστε να αποκαλύψουν προσωπικές πληροφορίες, όπως συνήθειες του κάθε χρήστη, συμπεριφορές, δραστηριότητες και προτιμήσεις. Ένα πείραμα μικρής κλίμακας που διεξήχθη για μια ιδιωτική κατοικία [22] έδειξε ότι οι προσωπικές πληροφορίες μπορεί να εκτιμηθούν με υψηλή ακρίβεια, ακόμα και με σχετικά απλούς αλγορίθμους hardware.

Ασφάλεια στην παρακολούθηση και μέτρηση: Η ευρεία ανάπτυξη των συσκευών παρακολούθησης και μέτρησης (π.χ. αισθητήρες και PMUs) θα μπορούσε επίσης να

οδηγήσει σε «ευαίσθητα σημεία» του συστήματος. Αυτές οι μετρήσεις συνήθως μεταφέρονται σε ένα κέντρο ελέγχου, όπως τα **Συστήματα Εποπτικού Ελέγχου και Απόκτησης Δεδομένων (SCADA)**, ενώ οι κρατικοί αναλυτές μέσω του κέντρου ελέγχου εκτιμούν την κατάσταση του δικτύου, αναλύοντας τα δεδομένα των μετρήσεων και τα μοντέλα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Ως εκ τούτου, είναι πολύ σημαντικό να διασφαλιστεί η ακεραιότητα των στοιχείων.

Μια τυπική επίθεση που δύναται να θέσει σε κίνδυνο την ακεραιότητα των δεδομένων είναι η «**αόρατη επίθεση**» (*false-data injection attack*), η οποία ήταν η πρώτη μελετήθηκε από τον Liu et al στο [27] και έδειξε ότι ένας hacker μπορεί να χειραγωγήσει και να τροποποιήσει όλο το σύστημα, χωρίς εκείνο να είναι σε θέση να ενεργοποιήσει ούτε καν τους κατάλληλους μηχανισμούς ειδοποίησης παραβίασης των δεδομένων (συναγερμούς κοκ).

4.3.3.2 Πληροφορίες Μεταφοράς

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω θα εστιάσουμε περισσότερο στην ασύρματη επικοινωνία, δεδομένου ότι τα ασύρματα δίκτυα αναμένεται να είναι πιο διαδεδομένα από τα ενσύρματα στο SG. Για παράδειγμα, τα **wireless mesh networks (WMNs)** θεωρούνται πολύ αξιόπιστα, διότι παρέχουν έναν σημαντικό αριθμό διαδρομών επικοινωνίας, αλλά επίσης είναι ευάλωτα σε επιθέσεις από έξυπνους hackers. Το **ZigBee** είναι ένα χαμηλού κόστους και ισχύος, πρότυπο ασύρματης δικτύωσης, με βάση το πρότυπο IEEE 802.15.4. Ωστόσο, υπάρχουν γνωστά τρωτά σημεία που σχετίζονται με τις εφαρμογές IEEE 802.15.4 [22].

Οι κακόβουλες επιθέσεις κατά τη διαβίβαση πληροφοριών στην SG μπορεί να ταξινομηθούν στις ακόλουθες τρεις μεγάλες κατηγορίες, με βάση τους στόχους τους.

1. **Η διαθεσιμότητα του δικτύου:** Οι κακόβουλες επιθέσεις που στοχεύουν στη διαθεσιμότητα του δικτύου μπορούν να θεωρηθούν ως επιθέσεις DoS και προσπαθούν να καθυστερήσουν, να μπλοκάρουν ή ακόμα και αλλοιώσουν πληροφορίες μετάδοσης, προκειμένου οι πόροι του δικτύου να είναι μη διαθέσιμοι στους κόμβους, οι οποίοι ανταλλάσσουν πληροφορίες με τα SG. Όπως επισημαίνεται από το NIST [19], ο σχεδιασμός των δικτύων μεταφοράς, τα οποία είναι ανθεκτικά σε επιθέσεις, κρίνεται ως πρώτη προτεραιότητα, καθώς η μη διαθεσιμότητα του δικτύου μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια παρακολούθησης των κρίσιμων υποδομών ενέργειας σε πραγματικό χρόνο, αλλά και σε καταστροφές στο σύστημα ενέργειας.

2. **Η ακεραιότητα των δεδομένων:** Οι επιθέσεις στην αξιοπιστία των δεδομένων, επιδιώκουν να τροποποιήσουν ή να καταστρέψουν δεδομένα, κάτι το οποίο μπορεί να είναι εξαιρετικά επιζήμιο για τα SG.
3. **Πληροφορίες ιδιωτικότητας:** Οι προσπάθειες επίθεσης στις πληροφορίες προσωπικών δεδομένων των χρηστών αποσκοπούν στην υποκλοπή συνόλου των επικοινωνιών, ώστε να αποκτήσουν τον επιθυμητό όγκο πληροφορίας (όπως πχ τον αριθμό του λογαριασμού του πελάτη και τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας).

4.3.3.2.3 Μελλοντική Έρευνα

Συνοψίζοντας τα όσα εξετάσαμε παραπάνω, αξίζει να σημειωθεί ότι η θεμελίωση ενός αξιόπιστου συστήματος, διαμορφωμένου ώστε να αποτρέπει τις επιθέσεις των hacker, αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των SG. Παρόλα αυτά, η επίτευξη αυτών των στόχων θέτει αντίστοιχα πολλές προκλήσεις, πάνω στις οποίες ήδη συγκλίνουν αρκετές μελλοντικές μελέτες.

1. **Λειτουργικότητα μεταξύ Κρυπτογραφημένων συστημάτων:** Στα SG θα χρησιμοποιηθούν πολλές διαφορετικές τεχνολογίες επικοινωνίας και πρωτόκολλα, το καθένα από τα οποία μπορεί να έχει τις δικές του απαιτήσεις κρυπτογραφίας και ανάγκες ασφάλειας. Επομένως η **διαλειτουργικότητα μεταξύ των κρυπτογραφικών συστημάτων** δεν μπορεί να θεωρηθεί ένα απλό ζήτημα. Πριν χρησιμοποιηθεί η κρυπτογραφία, χρειαζόμασταν μια μέθοδο όπου θα η έκδοση και ανταλλαγή των κρυπτογραφικών κλειδιών θα γινόταν με ασφάλεια. Μια πιθανή λύση (όπως προτάθηκε στο [17]) είναι να σχεδιαστεί ένα **δημόσιο κλειδί (infrastructure approach)**, το οποίο μπορεί να μιμηθεί την πολυεπίπεδη προσέγγιση που χρησιμοποιείται στα μοντέλα επικοινωνίας.
2. **Σύγκρουση μεταξύ διαφύλαξης της ιδιωτικότητας και προσβασιμότητας σε πληροφορίες:** Η σωστή εξισορρόπηση των δύο ζητημάτων κρίνεται απαραίτητη για την αξιόπιστη λειτουργία του δικτύου. Παραδείγματος χάριν, όσες περισσότερες πληροφορίες, σχετικά με τα πρότυπα ζήτησης, είναι πρόθυμοι να αποκαλύψουν οι χρήστες, τόσο πιο έξυπνες αποφάσεις μπορεί να πάρει το σύστημα διαχείρισης για τη μεγιστοποίηση των κερδών του. Ωστόσο, οι προσιτές αυτές πληροφορίες συνήθως συνεπάγονται περισσότερες διαρροές των προσωπικών δεδομένων των χρηστών. Πιο συγκεκριμένα, προτείνουμε να καθοριστούν **πολλά επίπεδα διατήρησης ασφαλείας**, παρόμοια με εκείνα του ελέγχου πρόσβασης, εκ των οποίων, το καθένα θα περιγράφει τον όγκο πληροφοριών που έχει διαρρεύσει. Σε κάθε επίπεδο, με βάση τις

προσπελάσιμες πληροφορίες, μπορούμε να ορίσουμε και τους στόχους διαχείρισης. Για παράδειγμα, η πολιτική προστασίας προσωπικών δεδομένων μπορεί να επιτρέψει την πλήρη ανταλλαγή πληροφοριών στο σύνολο μιας ομάδας χρηστών. Ως εκ τούτου, αυτή η ομάδα των χρηστών μπορεί να βελτιστοποιήσει τα κέρδη της, χρησιμοποιώντας τις κοινόχρηστες αυτές πληροφορίες. Πρόσθετοι μηχανισμοί που χρησιμοποιούν προηγμένες τεχνικές κρυπτογράφησης μπορεί να εφαρμοστούν επίσης.

3. **Οι επιπτώσεις της αυξημένης πολυπλοκότητας του συστήματος και η επέκταση των δρόμων επικοινωνίας:** Η προηγμένη υποδομή που χρησιμοποιείται στα SG είναι ένα δίκτυο μαχαίρι. Από τη μία πλευρά, θέτει τα θεμέλια για το μελλοντικό προηγμένο δίκτυο που έχει τεράστια δυναμική. Από την άλλη πλευρά όμως, η αύξηση της πολυπλοκότητας του συστήματος και του αριθμού των δρόμων επικοινωνίας μπορεί εύκολα να οδηγήσει σε αντίστοιχη κλιμάκωση των επιθέσεων στον κυβερνοχώρο, λόγω της εμφάνισης πολλών τρωτών σημείων και σφαλμάτων του συστήματος. Επιπρόσθετα, αξίζει να σημειωθεί ότι ένα πλήρως εφαρμοσμένο SG μπορεί να αποτελείται από δεκάδες εκατομμύρια κόμβων. Αυτή η κλίμακα του συστήματος καθιστά δύσκολο να προβλεφθεί ο τρόπος εκδήλωσης αυτών των επιθέσεων από έναν «έξυπνο αντίπαλο», καθώς και το τι αποτυχίες θα μπορούσαν να συμβούν λόγω αστάθμητων παραγόντων [19]. Μια πιθανή κατεύθυνση της έρευνας για την επίλυση αυτής της πρόκλησης είναι να διαιρεθεί όλο σύστημα σε πολλά αυτόνομα υποδίκτυα, ώστε να μειωθεί δραματικά η πολυπλοκότητα του. Ως εκ τούτου, η επίπτωση των βλαβών του συστήματος και των επιθέσεων μπορεί να περιοριστεί σε σημαντικό βαθμό. Το οποίο ουσιαστικά θεωρείται παρόμοιο με την έννοια του μικροδικτύου. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι η «αυτονομία» δεν σημαίνει απόλυτα και απώλεια σύνδεσης μεταξύ των υποδικτύων αυτών και των εταιρειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το αποτέλεσμα της ύπαρξη τέτοιων συνδέσεων είναι ότι οι αποτυχίες/επιθέσεις δεν θα είναι εντελώς απομονωμένες. Έτσι, μια ολοκληρωμένη λύση πρέπει να βρεθεί που να συνδυάζει κατάλληλα τόσο την αυτονομία και τη συνδεσιμότητα.
4. **Επιπτώσεις της αύξησης κατανάλωσης ενέργειας και της αξιοποίησης των περιουσιακών στοιχείων:** Το σύγχρονο δίκτυο εργάζεται στο μεταίχμιο της αξιόπιστης λειτουργίας (σε όλο και περισσότερες τοποθεσίες) και με εντατικότερο ρυθμό λόγω της αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας και ειδικότερα λόγω της εκμετάλλευσης των «περιουσιακών στοιχείων», με τη χρήση σύγχρονων μεθόδων [27]. Αυτό αναπόφευκτα αυξάνει τον κίνδυνο για την αξιοπιστία του συστήματος, η οποία για να βελτιωθεί, πρέπει πρώτα να αναπτυχθούν αποτελεσματικές μέθοδοι παρακολούθησης για τον υπολογισμό σε πραγματικό χρόνο των περιθωρίων κέρδους. Και τέλος, όπως

προαναφέρθηκε, η αύξηση της χρήσης των «περιουσιακών στοιχείων» θα μπορούσε να μειώσει τα περιθώρια κέρδους και επομένως να αυξήσει τον κίνδυνο του συστήματος για πιθανή αποτυχία. Οπότε η στάθμιση των δύο καταστάσεων θεωρείται αναγκαία.

5. **Σύνθετη διαδικασία λήψης αποφάσεων:** Για να επεξεργαστούμε τις αποτυχίες στα SG, συνήθως πρέπει λυθούν πολύ πιο σύνθετα προβλήματα, αλλά σε συντομότερο χρονικό διάστημα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ένα εμπορικό SG μπορεί να έχει δεκάδες εκατομμύρια κόμβων, συνειδητοποιούμε ότι αυτό είναι μια τεράστια πρόκληση. Μια πιθανή λύση είναι να χρησιμοποιηθούν περισσότερο τα **διανεμημένα συστήματα λήψης αποφάσεων**. Δηλαδή, με την τοποθέτηση ενός μεγάλου αριθμού ελεγκτών αποτυχίας, οι οποίοι θα επιβλέπουν τις διάφορες συσκευές του δικτύου και θα λαμβάνουν αποφάσεις σε τοπικό επίπεδο, θα υπάρξει αισθητή μείωση της πολυπλοκότητας στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και επομένως στον χρόνο αντίδρασης. Ωστόσο, μια τοπικά βέλτιστη απόφαση δεν θεωρείται πάντοτε και η βέλτιστη σε παγκόσμιο επίπεδο. Ως εκ τούτου, η απάντηση βρίσκεται στην σωστή εξισορρόπηση μεταξύ του χρόνου απόκρισης και της αποτελεσματικότητας των τοπικών αποφάσεων.

Κεφάλαιο 5^ο

5.1 Σύνοψη & Μελλοντική Εξέλιξη των Smart Grids

Πέραν των μελλοντικών ερευνών και στόχων που εξερευνήθηκαν σε κάθε ενότητα ξεχωριστά θα παρουσιάσουμε συνοπτικά τα χαρακτηριστικά εκείνα που αποτελούν το συγκριτικό πλεονέκτημα μεταξύ του υπάρχοντος δικτύου και των Smart Grids. Ενώ θα δοθεί και μια διάσταση όσον αφορά την μελλοντική τους εξέλιξη.

Σταδιακά το παλαιό μοντέλο δικτύων θα αρχίσει να μετασχηματίζεται σε ένα νέο μοντέλο, το γνωστό ως έξυπνο δίκτυο, το οποίο θα έχει ενεργό ρόλο και θα εξασφαλίζει αμφίδρομη ροή ισχύος. Ένα έξυπνο δίκτυο είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο το οποίο μπορεί να αποστηθίζει και να ενσωματώνει ευφυώς τη συμπεριφορά και τις ενέργειες όλων των χρηστών (παραγωγοί και καταναλωτές) σε αυτό, με σκοπό την εξασφάλιση της ασφάλειας, της σταθερότητας αλλά και της οικονομίας παροχής ενέργειας. Επομένως το έξυπνο δίκτυο αποτελεί ένα συνδυασμό εξοπλισμού και λογισμικού, δίνοντας τη δυνατότητα στους χρήστες να ελέγχουν τη ζήτηση ενέργειας.

Στα Ευρωπαϊκά πλαίσια, οι μονάδες παραγωγής των ηλεκτρικών συστημάτων κατανέμονται ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε αγοράς, ενώ το κέντρο ελέγχου του δικτύου αναλαμβάνει την γενική εποπτεία. Επομένως οι μεγάλοι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής θα αντικατασταθούν σταδιακά από τις διανεμημένες μονάδες παραγωγής και τις τεχνολογίες ΑΠΕ. Παράλληλα στα έξυπνα δίκτυα θα διεισδύσουν οι συνεχώς αναπτυσσόμενες τεχνολογίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για παροχή εφεδρείας και άλλους λόγους. Επομένως, θα χρειαστούν πολλές αλλαγές στα δίκτυα διανομής και μεταφοράς, καθώς θα απαιτούνται πολλές διασυνδέσεις και την βέλτιστη επικοινωνία.

Τα δίκτυα του μέλλοντος προβλέπεται να έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- ✓ Εκτεταμένη μικρή και διανεμημένη παραγωγή τοπικά κοντά στο σημείο κατανάλωσης και τελικής χρήσης.
- ✓ Εναρμονισμένο νομικό πλαίσιο το οποίο θα επιτρέπει την διασυνοριακή συναλλαγή των υπηρεσιών ενέργειας και δικτύων.
- ✓ Συντονισμένη τοπική ενεργειακή διαχείριση και πλήρης διείσδυση διανεμημένης παραγωγής και τεχνολογιών ΑΠΕ στην μεγάλης κλίμακας παραγωγή ενέργειας.

- ✓ Η ποιότητα, η ασφάλεια και η αξιοπιστία μπορούν να καθορίζονται από το χρήστη στη νέα ψηφιακή εποχή.
- ✓ Ευέλικτη διαχείριση της ζήτησης και ενσωμάτωση υπηρεσιών με τις οποίες ο καταναλωτής μπορεί να συμμετέχει σε αυτή.
- ✓ Ευέλικτη, βέλτιστη και στρατηγική λειτουργία, επέκταση και συντήρηση των δικτύων.

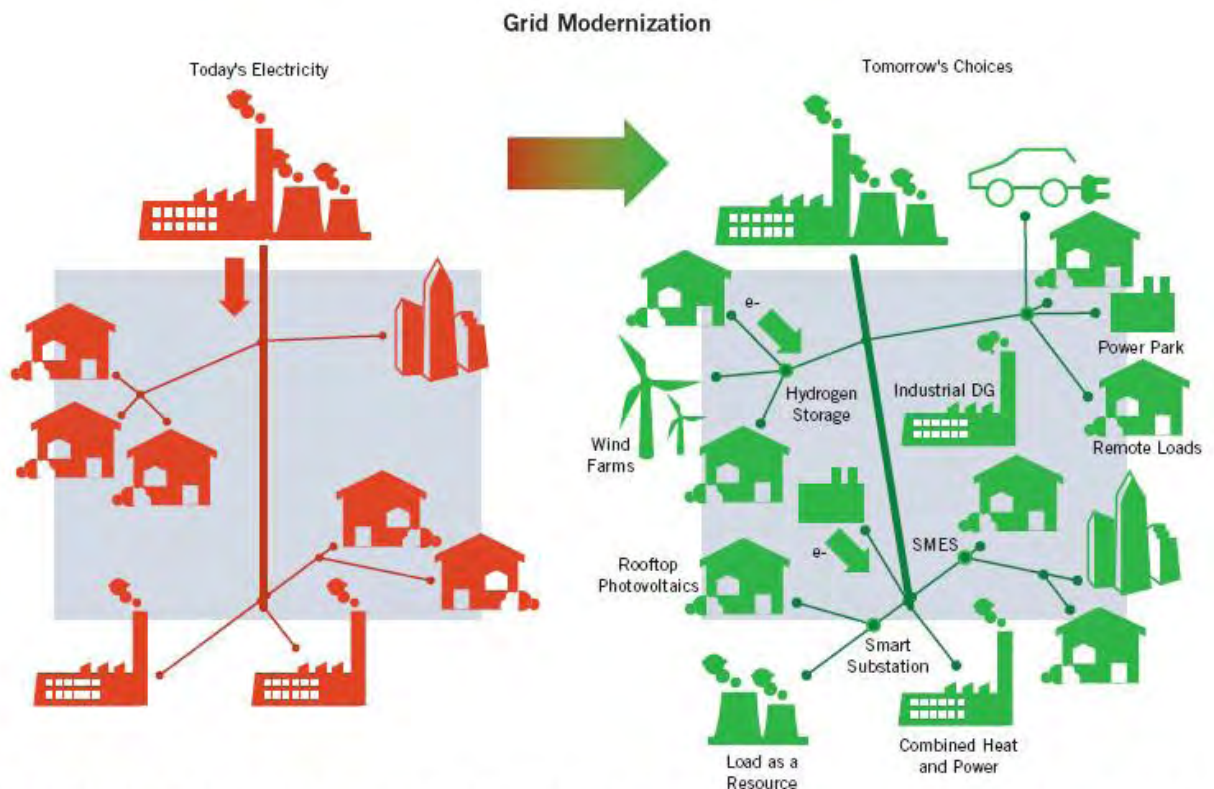


Fig. 1. The IEEE's version of the Smart Grid involves distributed generation, information networks, and system coordination, a drastic change from the existing utility configurations.

Όσον αφορά το πρώτο χαρακτηριστικό, σκοπός της Διανεμημένης Παραγωγής είναι να παρέχει μια πηγή ενεργής ισχύος. Οπότε οι μονάδες της έχουν ως στόχο την κάλυψη των αναγκών σε ενεργή ισχύ σε μια περιοχή όπως και την κάλυψη για ατμό έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί από μικρές βιομηχανικές μονάδες. Διάφορες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που θεωρούνται ΔΠ είναι οι μικροστρόβιλοι ή ατμοστρόβιλοι, οι κυψέλες καυσίμου, τα φωτοβολταϊκά συστήματα καθώς και οι ανεμογεννήτριες. Πιο συγκεκριμένα, από τις παραπάνω τεχνολογίες, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας έχουν αρχίσει να γίνονται οικονομικές βιώσιμες και εμπορικά διαθέσιμες, ενώ στα επόμενα χρόνια προβλέπεται περαιτέρω βελτίωση τους. Συνδυάζοντας όλες αυτές τις μικρές μονάδες παραγωγής ενέργειας σε ένα δίκτυο χαμηλής τάσης το οποίο εξυπηρετεί τοπικούς χρήστες (συνοικίες, μικρές περιοχές), δημιουργείται το λεγόμενο μικροδίκτυο. Τα μικροδίκτυα μπορούν να συνδέονται στο κύριο δίκτυο (μακροδίκτυο) ή να λειτουργούν αυτόνομα (islanding). Η ιδέα ενός μικροδικτύου βασίζεται στην ύπαρξη συνόλου θερμικών και

ηλεκτρικών φορτίων τα οποία προέρχονται από τις αντίστοιχες παραγωγικές τοπικές μονάδες θερμικής ενέργειας και ηλεκτρικής ισχύος μικρής κλίμακας καθώς και υποδομές αποθήκευσης θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Η διασύνδεση με τον τοπικό πάροχο ηλεκτρισμού είναι τέτοια ώστε ένα μικροδίκτυο να συμπεριφέρεται σαν ένα σωστό φορτίο.

Μελλοντικά, ο κύριος στόχος των ηλεκτρικών και θερμικών δικτύων θα είναι η αξιοπιστία, η εξοικονόμηση ενέργειας, η προσαρμογή στις τοπικές ανάγκες και η ασφάλεια απέναντι στον χρήστη. Απαραίτητες προϋποθέσεις για την επίτευξη των συγκεκριμένων στόχων είναι η εκτεταμένη εφαρμογή διατάξεων αποθήκευσης θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας.

Ενώ συνοπτικά αξίζει να αναφερθούν επιγραμματικά και τα εξής πλεονεκτήματα:

- ✓ Βελτιώνει την ανθεκτικότητα στις βλάβες/διακοπές
- ✓ Αυτοματοποιεί τη συντήρηση και τη λειτουργία
- ✓ Βελτιστοποιεί την αξιοποίηση των εγκαταστάσεων και αποτρέπει την κατασκευή εφεδρικών (για φορτία αιχμής) σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- ✓ Βελτιώνει την αξιοπιστία και την ποιότητα της ενέργειας
- ✓ Χρησιμοποιεί κατανεμημένες πηγές ενέργειας
- ✓ Μειώνει την κατανάλωση πετρελαίου, μειώνοντας την ανάγκη για ανεπαρκή παραγωγή κατά τις περιόδους χρήσης αιχμής
- ✓ Διευκολύνει την ευρεία ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- ✓ Παρουσιάζει ευκαιρίες για τη βελτίωση της ασφάλειας του δικτύου
- ✓ Ενισχύει τη χωρητικότητα και την αποδοτικότητα των υπαρχόντων ηλεκτρικών δικτύων
- ✓ Επιτρέπει την προληπτική συντήρηση και την αυτό-αποκατάσταση σε περίπτωση διαταραχών του συστήματος
- ✓ Αυξάνει τις επιλογές των καταναλωτών
- ✓ Δίνει τη δυνατότητα για νέα προϊόντα, υπηρεσίες και αγορές και επιτρέπει την πρόσβαση των καταναλωτών σε αυτά. [8]

5.2 Έξυπνα Δίκτυα με ΑΠΕ άλλων χωρών

Κάποιες επιπλέον Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που αναμένεται να χρησιμοποιηθούν ευρέως στο μέλλον από τα Έξυπνα Δίκτυα, ιδιαιτέρως στον Ελλαδικό τομέα είναι οι εξής:

Τεχνολογίες Υδρογόνου

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εναλλακτικό καύσιμο σε πλήθος (κατάλληλα τροποποιημένων) τεχνολογιών καύσης όπως καταλυτικούς καυστήρες, λέβητες αερίου, αεριοστροβίλους και κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η καύση του υδρογόνου παράγει νερό αλλά, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών καύσης, παράγονται και οξειδία του αζώτου.

Κυματική Ενέργεια

Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.

Γεωθερμική Ενέργεια

Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται από τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές, είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Θέσεις Εργασίας σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από φυσικό αέριο

Μια μονάδα ηλεκτροπαραγωγής από φυσικό αέριο μπορεί να λειτουργήσει με 25-40 άτομα εξειδικευμένο προσωπικό. Απασχολεί γύρω στους 300 εργαζόμενους για τα 2,5 χρόνια που χρειάζονται για την κατασκευή της.

Πηγή: <http://www.pacificenvironment.org/article.php?id=266>

Κατασκευή, κόστος και ζωή μιας μονάδας παράγωγης ηλεκτρισμού από Φ.Α

Η Κατασκευή μια μονάδας Φ.Α χρειάζεται 27-30 μήνες και κοστίζει 500 με 600 Ευρώ για κάθε κιλοβάτ που θα μπορεί να παράγει (δηλαδή κατασκευή ενός εργοστασίου Φ.Α. 400 MW κοστίζει 200 με 240 εκατ. Ευρώ), Η ζωή μιας τέτοιας μονάδας είναι 20 χρόνια.

Πηγή: DGEMP (2003) - Reference Costs for Power Generation <http://www.industrie.gouv.fr/energy/electric/cdr-anglais.pdf> Tarjanne R & Luostarinen K (2003) - Competitiveness Comparison of the Electricity Production

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. “*Electric power distribution*” from **Wikipedia, the free encyclopedia**
2. Πηγή: Ιστοσελίδα ΑΔΜΗΕ (www.admie.gr)
3. “*Electric power transmission*” from **Wikipedia, the free encyclopedia**
4. Πηγή: Ιστοσελίδα ΛΑΓΗΕ (www.lagie.gr)
5. Πηγή: Ιστοσελίδα ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ (<http://www.ypeka.gr>)
6. **Βικιπέδια** – Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
7. Πηγή: Ιστοσελίδες ΑΔΜΗΕ [8], ΛΑΓΗΕ [9], ΔΕΔΔΗΕ [10].
8. **Ευάγγελος Μπουλμέτης:** Διπλωματική Εργασία με θέμα «*Μελέτη της συμπεριφοράς διεσπαρμένης παραγωγής από σταθμό με κωφάλες καυσίμου που συνδέεται σε ένα μικροδίκτυο*»
9. **Βαγγελόγλου Αθανάσιος, Κύργιας Χρήστος:** Διπλωματική Εργασία με θέμα «*Κατασκευή εργαστηριακού μοντέλου δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας*»
10. **Ανδρέας Κατεργανάκης:** Διπλωματική Εργασία με θέμα «*Δυναμική τιμολόγηση και μελέτη περίπτωσης / προσομοίωσης της ωριαίας ανάλυσης καταναλώσεων και τιμών ενέργειας σε δίχωρο διαμέρισμα*»
11. **Δ. Παπαντώνης:** «*Τεχνολογικές Επιλογές και Τεχνολογικοί Περιορισμοί του Εξοπλισμού της Μονάδας Αντλησιοταμίευσης Υβριδικών Σταθμών Παραγωγής*», ΤΕΕ Χανιά 2009
12. **Λιάνα Αριστείδη:** Διπλωματική Εργασία με θέμα «*Μελέτη της συμπεριφοράς ενός ρυθμιστή τάσης που βασίζεται σε στατικό αντισταθμιστή STATCOM και χρησιμοποιείται σε αυτοδιεγχειρόμενες επαγωγικές γεννήτριες που τροφοδοτούν μη γραμμικά φορτία.*»
13. **ΔΕΔΔΗΕ:** Διακήρυξη Δημοπρασίας Έργου: «*Πιλοτικό σύστημα Διαμέτρησης και Διαχείρισης της ζήτησης Παροχών Ηλεκτρικής ενέργειας*»

οικιακών και μικρών εμπορικών καταναλωτών και εφαρμογής έξυπνων δικτύων».

14. **Xi Fang, Satyajayant Misra, Guoliang Xue and Dejun Yang:** Smart Grid Survey – “*The New and Improved Power Grid*”
15. **Βασίλης Σούλιος:** Ερευνητική εργασία «Ευφυή συστήματα ηλεκτροδότησης με την χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας»
16. **Χριστοφορίδη Ευγενία:** Οικονομοτεχνική Αξιολόγηση Συνεισφοράς Υδροηλεκτρικών Σταθμών (ΥΗΣ) Αναστρέψιμης Λειτουργίας στο ΣΗΕ Κρήτης
17. **Τσικαλάκης Α.,** «Συμβολή στον προγραμματισμό λειτουργίας Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας με μεγάλη Δείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής και συσκευών αποθήκευσης», Διδακτορική Διατριβή, Ιούλιος 2008
18. **Ιωάννης Βούλγαρης** Διπλωματική Εργασία 2007
19. **Κασιμάς Σ.,** «Η επίδραση των συστημάτων διεσπαρμένης παραγωγής με τεχνολογίες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού – θερμότητας και αποθήκευσης καθώς και της φορολογίας άνθρακα σε ένα μικροδίκτυο βάσει του μοντέλου DER-CAM», Διπλωματική Εργασία, 2009
20. **Γεώργιος Κορρές,** CHAPTER 1 - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΚΕΝΤΡΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
21. Πηγή: **FANG et al:** SMART GRID – THE NEW AND IMPROVED POWER GRID: A SURVEY
22. **A. Bose.** Smart transmission grid applications and their supporting infrastructure. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 1(1):11–19, 2010.
23. **P. Zhang, F. Li, and N. Bhatt.** Next-generation monitoring, analysis, and control for the future smart control center. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 1(2):186–192, 2010.
24. A. Ipakchi. Implementing the smart grid: Enterprise information integration. *GridWise Grid-Interop Forum*, pages 121.122–1 – 121.122–7, 2007.

25. **S. Little.** Is microwave backhaul up to the 4G task. *IEEE microwave magazine*, 10(5):67–74, 2009.
26. **S. Galli**, A. Scaglione, and Z. Wang. Power line communications and the smart grid. *IEEE SmartGridComm'10*, pages 303–308, 2010.
27. **A.-H. Mohsenian-Rad, V. W. S. Wong, J. Jatskevich, R. Schober, and A. Leon-Garcia.** Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 1(3):320–331, 2010.
28. North American Electric Reliability Corporation. <http://www.nerc.com/?lez/blackout.html>
29. **Y. Liu, P. Ning, and M. Reiter.** False data injection attacks against state estimation in electric power grids. *ACM CCS*, pages 21–32, 2009.