

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1464**

**ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ**

**ΦΙΛΙΠΠΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ  
ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΠΟΠΤΕΥΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2015**

## Περίληψη

Ένα έξυπνο δίκτυο είναι ένα εκσυγχρονισμένο ηλεκτρικό δίκτυο που χρησιμοποιεί αναλογική ή ψηφιακή τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών για να συγκεντρώσει και να ενεργήσει με βάση πληροφορίες - όπως πληροφορίες σχετικά με τις συμπεριφορές των προμηθευτών και των καταναλωτών - με αυτοματοποιημένο τρόπο για να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα, την αξιοπιστία, την οικονομία, και τη βιωσιμότητα της παραγωγής και της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας με ηλεκτρονικά μέσα και ο έλεγχος της παραγωγής και της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν σημαντικές πτυχές του έξυπνου δικτύου. Η εφαρμογή της ψηφιακής επεξεργασίας και η επικοινωνία με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, καθιστώντας τη ροή των δεδομένων και τη διαχείριση πληροφοριών στο επίκεντρο του έξυπνου δικτύου. Διάφορες δυνατότητες απορρέουν από τη βαθιά ολοκληρωμένη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας με δίκτυα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα κύρια πλεονεκτήματα από τα πολύπλοκα αλλά αποδοτικά αυτά δίκτυα είναι: η βελτίωση των υποδομών, η μείωση του κόστους επέκτασης και συντήρησης του υφιστάμενου δικτύου, η ενίσχυση στην ένταξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η μείωση των απωλειών του δικτύου, η μείωση των αερίων ρύπων και η μείωση των blackouts και των διακοπών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (outages).

## **Abstract**

A smart grid is a modernized electricity network using analog or digital information and communication technology to gather and act on information - such as information about the behavior of suppliers and consumers - an automated way to improve the efficiency, reliability, economics, and sustainability of the production and distribution of electricity. The management of electricity by electronic means and the control of production and distribution of electricity are important aspects of the smart grid. The application of digital processing and communication with the electricity grid, makes the flow of data and information management a key point of the smart grid. Various possibilities stemming from the deep integrated use of digital technology in power grids. The main advantages of the complex but efficient smart networks are: improving infrastructure, reducing the expansion and maintenance costs of the existing network, strengthening the integration of renewable energy sources, reduction of network losses, the reduction of CO<sub>2</sub> emissions and reducing blackouts and interruptions in electricity supply (outages).

## Κατάλογος περιεχομένων

Περίληψη.....	1
Abstract .....	2
Κεφάλαιο 1	
1.1 Υφιστάμενη κατάσταση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και εμφάνιση της δισπαρμένης παραγωγής.....	5
1.2 Προσδιορισμός του όρου “Έξυπνο Δίκτυο” .....	10
1.3 Τι πρέπει να ελέγχεται σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.....	13
1.4 Ποια είναι τα οφέλη από την πιθανή ενσωμάτωση των Έξυπνων δικτύων .....	14
1.5 Ποιες είναι οι προκλήσεις.....	15
Κεφάλαιο 2.    Μετάβαση των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας στη Νέα Εποχή.....	16
2.1 Εισαγωγή .....	16
2.2 Απελευθέρωση αγορών ηλεκτρικής ενέργειας .....	16
2.3 Απελευθέρωση της ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην προμήθεια καταναλωτών.....	19
2.4 Πρωτόκολλο του Κιότο και βιώσιμη ανάπτυξη .....	20
2.5 Οι Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα.....	24
2.6 Εξοικονόμηση ενέργειας .....	33
Κεφάλαιο 3.    Από τα Μικροδίκτυα στα Έξυπνα Δίκτυα .....	38
3.1 Εισαγωγή .....	38
3.2 Χαρακτηριστικά Μικροδικτύων.....	38
3.3 Διατάξεις Μικροδικτύων .....	42
3.4 Έλεγχος Μικροδικτύου.....	50
3.4.1 Διαχείριση τάσης και συχνότητας.....	51
3.4.2 Ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης .....	52
3.4.3 Ποιότητα Ισχύος .....	52
3.4.4 Θέματα Μικροπηγών ενέργειας.....	53
3.4.5 Επικοινωνία μεταξύ των εξαρτημάτων του μικροδικτύου .....	53
3.5 Ανανεώσιμες μικρο - πηγές ενέργειας .....	53
3.5.1 Μικρές Ανεμογεννήτριες .....	53
3.5.2 Φωτοβολταϊκά .....	65
3.6 Μπαταρίες ως διατάξεις αποθήκευσης.....	71
Κεφάλαιο 4.    Μετάβαση στα Έξυπνα Δίκτυα.....	77
4.1 Εισαγωγή .....	77
4.2 Χαρακτηριστικά των Έξυπνων Δικτύων .....	79
4.3 Οφέλη των Έξυπνων Δικτύων .....	81
4.4 Έξυπνοι μετρητές .....	83
4.5 Οφέλη από έξυπνους μετρητές.....	89
Συμπεράσματα.....	91
Βιβλιογραφία.....	93

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1. Γεωγραφική κατανομή σταθμών παραγωγής .....	2
Εικόνα 2. Ανάπτυξη του κλάδου Ηλεκτροπαραγωγής από «νέες» ΑΠΕ στην Ευρώπη .....	5
Εικόνα 3. Γραμμές υψηλής τάσεις στο συμβατικός δίκτυο .....	7
Εικόνα 4. Υπεράκτια αιολική ενέργεια .....	9
Εικόνα 5. Ποσοστό ενέργειας από ΑΠΕ σε σχέση με τη συνολική κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη .....	23
Εικόνα 6. Ανάπτυξη του κλάδου Ηλεκτροπαραγωγής από «νέες» ΑΠΕ στην Ευρώπη .....	24
Εικόνα 7. Μείγμα πηγών ενέργειας στο διασυνδεδεμένο σύστημα .....	26
Εικόνα 8. Παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ στην Ελλάδα 1995-2012 .....	27
Εικόνα 9. Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ στην Ελλάδα 1995-2012.....	29
Εικόνα 10. Σχηματικό διάγραμμα μικροδικτύου .....	36
Εικόνα 11. Ένα τυπικό μικροδίκτυο μεγάλης έκτασης.....	38
Εικόνα 12. Τυπικές αποδόσεις αντιστροφών ανάλογα με το επίπεδο ισχύος .....	44
Εικόνα 13. Καμπύλη I-V Φ/B πηγής και όρια τάσεως και ρεύματος αντιστροφή.....	46
Εικόνα 14. Απόρριψη φορτίων (ρύθμιση ενεργού ισχύος) για τον έλεγχο της συχνότητας του μικροδικτύου.....	47
Εικόνα 15. Έλεγχος βυθίσεων τάσης (ρύθμιση αέργου ισχύος) του μικροδικτύου.....	48
Εικόνα 16. Απλοποιημένο διάγραμμα αυτόνομου συστήματος με Α/Γ μικρής ισχύος και μπαταρίες .....	50
Εικόνα 17. Απλοποιημένο διάγραμμα διασυνδεδεμένου συστήματος με Α/Γ μικρής ισχύος και μπαταρίες .....	51
Εικόνα 18. Απλοποιημένο διάγραμμα διασυνδεδεμένου συστήματος με Α/Γ μικρής ισχύος χωρίς μπαταρίες.....	52
Εικόνα 19. Αιολικό δυναμικό στην Ευρώπη .....	58
Εικόνα 20. Λειτουργία ημιαγωγών p και n .....	62
Εικόνα 21. Διασύνδεση φωτοβολταϊκού αντιστροφέα σε σύνδεση με το δίκτυο .....	67
Εικόνα 22. Φ/B σύστημα με μπαταρίες για αποθήκευση ενέργειας .....	68
Εικόνα 23. Κατάσταση μπαταρίας σε φόρτιση και αποφόρτιση.....	70
Εικόνα 24. Η έννοια του SmartGrid .....	75
Εικόνα 25. Συμβατικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.....	77
Εικόνα 26. Έξυπνο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας .....	77
Εικόνα 27. Ο μετρητής Reason .....	81
Εικόνα 28. Μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας στερεάς κατάστασης .....	83
Εικόνα 29. Βασικό μπλοκ διάγραμμα ενός ηλεκτρονικού μετρητή.....	84

## **1.1 Υφιστάμενη κατάσταση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και εμφάνιση της διεσπαρμένης παραγωγής**

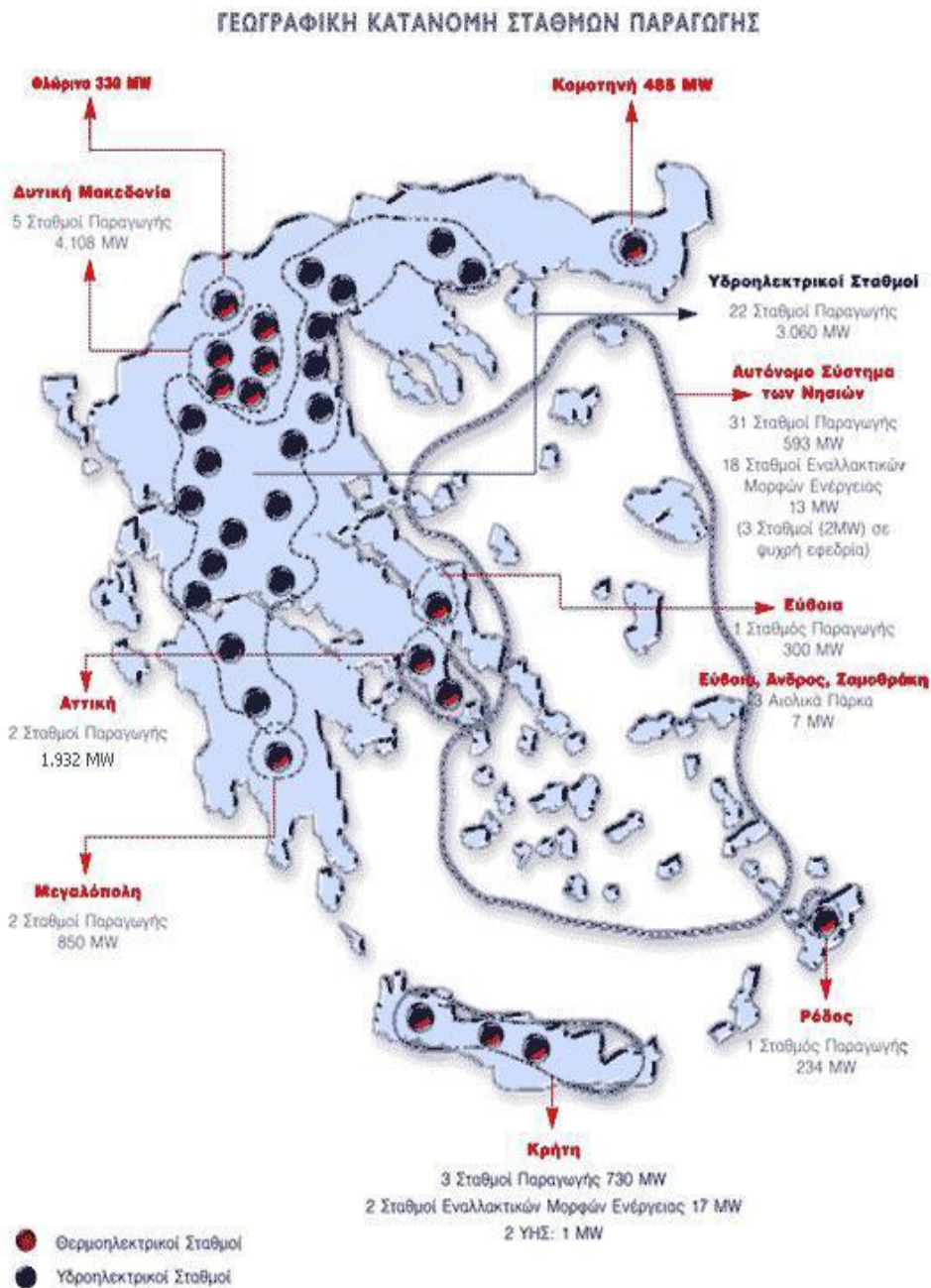
Το Ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας χωρίζεται στο διασυνδεδεμένο σύστημα που καλύπτει την ηπειρωτική χώρα και σε διάφορα αυτόνομα συστήματα που καλύπτουν τη νησιωτική χώρα. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ανέρχεται σε 17.657 MW. Το διασυνδεδεμένο σύστημα αποτελεί το 88,0% της εγκατεστημένης ισχύος, ενώ το αυτόνομο σύστημα των νησιών του Αιγαίου, πλην της Κρήτης, αποτελεί το 6,5%. Το σύστημα της Κρήτης αντιστοιχεί στο 5,5% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος σε όλη τη χώρα.

Η απαραίτητη ενέργεια για τα φορτία της χώρας (οικιακά, εμπορικά, βιομηχανικά), παράγονται κυρίως στο ενεργειακό κέντρο της Δ. Μακεδονίας και μεταφέρονται με γραμμές διπλού κυκλώματος των 400 kV σε όλη την ηπειρωτική χώρα. Στην Δυτική Μακεδονία παράγεται το 70% της ενέργειας που χρειάζεται η Κεντρική και Νότια Ελλάδα, δηλαδή το 65% του φορτίου της χώρας.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στους σταθμούς παραγωγής, έχει χαρακτηριστικά χαμηλής τάσης και αν μεταφερόταν έτσι σε μεγάλες αποστάσεις οι απώλειες θα ήταν μεγάλες. Έτσι, 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.

Η ενέργεια που παράγεται, στόχος είναι να μεταφερθεί στον τελικό καταναλωτή με όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες. Για τον λόγο αυτό έχει δημιουργηθεί ένα κλιμακωτό σύστημα σταδιακής απομείωσης του επιπέδου τάσης με ανάλογη αύξηση του ρεύματος με τη βοήθεια κατάλληλων υποσταθμών μετασχηματιστών στο δίκτυο. Το δίκτυο μεταφοράς μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στους υποσταθμούς μέσης και χαμηλής τάσης, στους οποίους μετατρέπεται η τάση της ηλεκτρικής ενέργειας από υψηλή σε μέση και χαμηλή τάση,

προκειμένου με τη βοήθεια εναέριων ή υπόγειων γραμμών να διανεμηθεί σε βιομηχανίες που χρησιμοποιούν μέση τάση και σε σπίτια που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση.



Εικόνα 1. Γεωγραφική κατανομή σταθμών παραγωγής (Πηγή ΠΑΕ)

Το κύριο καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι ο λιγνίτης. Τα κυριότερα εκμεταλλεύσιμο κοιτάσματα λιγνίτη βρίσκονται στην Δυτική Μακεδονία και

συγκεκριμένα στις περιοχές Πτολεμαΐδας, Αμύνταιου και Φλώρινας. Ο λιγνίτης ως καύσιμο υλικό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αποφέρει στην Ελλάδα τεράστια εξοικονόμηση συναλλάγματος (περίπου 1 δις. δολάρια ετησίως). Ο λιγνίτης έχει εξελιχθεί σε καύσιμο στρατηγικής σημασίας για τη ΔΕΗ, κυρίως για το χαμηλό κόστος εξόρυξης και την άμεσα ελέγξιμη τιμή του. Παράλληλα, προσφέρει χιλιάδες θέσεις εργασίας στην ελληνική περιφέρεια, ιδιαίτερα σε περιοχές που εμφανίζουν μεγάλα ποσοστά ανεργίας. Συνεπώς μπορούμε να πούμε ότι ο λιγνίτης έχει συμβάλει σημαντικά στην αύξηση του εθνικού μας προϊόντος. Με βάση όμως τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της Ελλάδας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά επαρκούν για τα επόμενα 50 χρόνια.

Οι ατμοηλεκτρικοί σταθμοί (ΑΗΣ) συνιστούν την βάση του παγκόσμιου οικοδομήματος για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με λιγνίτη. Οι λιγνιτικές μονάδες προκαλούν εκτεταμένη ρύπανση του περιβάλλοντος με προεκτάσεις οικονομικές αλλά και στην υγεία των γύρω κατοίκων. Όπως έχει καταγράψει σε πολλές έρευνες η παραγωγή ρεύματος με τη χρήση λιγνίτη αποτελεί μια από τις κυριότερες μορφές ρύπανσης του φυσικού περιβάλλοντος.

Με βάση την κλιματική αλλαγή, συμφωνήθηκε μέσω του Πρωτοκόλλου του Κιότο η λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Το Πρωτόκολλο του Κιότο αποτελεί διεθνή συμφωνία που συνδέεται με τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή, η οποία δεσμεύει τα συμβαλλόμενα μέρη της θέτοντας διεθνώς δεσμευτικούς στόχους μείωσης των εκπομπών του θερμοκηπίου.

Αναγνωρίζοντας ότι οι ανεπτυγμένες χώρες είναι κυρίως υπεύθυνες για τα σημερινά υψηλά επίπεδα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, ως αποτέλεσμα πάνω από 150 χρόνια βιομηχανικής δραστηριότητας, το πρωτόκολλο δίνει μεγαλύτερο βάρος στις ανεπτυγμένες χώρες, βάσει της αρχής των «κοινών αλλά διαφοροποιημένων ευθυνών».

Στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου του Κιότο, η ΕΕ-15 έχει αναλάβει κοινή δέσμευση για τη μείωση των εκπομπών κατά μέσο όρο 8% μεταξύ 2008 και 2012 σε σύγκριση με τις εκπομπές του έτους βάσης. Επισημαίνεται ότι σε αντίθεση με την ΕΕ-15, η ΕΕ-27 δεν έχει ουδεμία



υποχρέωση επίτευξης κάποιου κοινού στόχου στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου του Κιότο μέχρι το 2012.

Σε αυτό το πλαίσιο χαράχθηκε και η Ευρωπαϊκή πολιτική για τις ΑΠΕ που με το στόχο του 20-20-20 έχει δώσει σαφή κατεύθυνση σε όλα τα κράτη μέλη. Ειδικότερα για το σύνολο των Κρατών-Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το 2020, προβλέπεται:

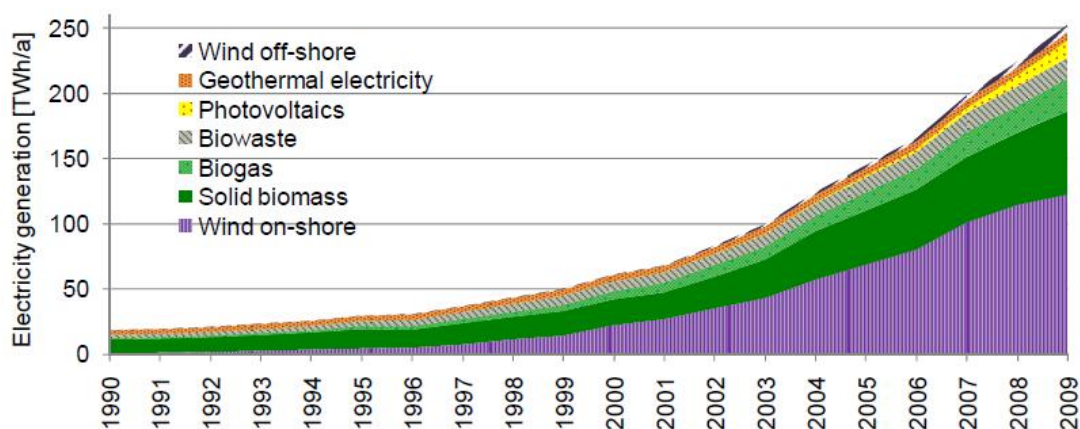
- 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 σύμφωνα με την Οδηγία 2009/29/EK,
- 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/EK και
- 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

Η δομή των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας αλλάζει λοιπόν βάσει περιβαλλοντικών, οικονομικών και τεχνολογικών κινήτρων. Οι κεντρικοί σταθμοί παραγωγής δίνουν χώρο σε νέες μικρές μονάδες παραγωγής ενέργειας που βρίσκονται διανεμημένες στο δίκτυο. Η διανεμημένη παραγωγή δεν έχει φτάσει ακόμα σε σημαντικά επίπεδα διείσδυσης αλλά στο μέλλον η κατάσταση αναμένεται να αλλάξει. Νέες τεχνολογίες αξιοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας, μερικές από τις οποίες κάνουν χρήση των ανανεώσιμων πηγών, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τις εκπομπές επικίνδυνων αερίων. Στη μεγάλη πλειοψηφία τους, αυτές οι πηγές περιλαμβάνουν διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος για την μετατροπή DC/AC.

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ορίζονται οι ακόλουθες πηγές ενέργειας:

- Ηλιακή Ενέργεια
- Αιολική Ενέργεια
- Βιομάζα
- Υδροηλεκτρική Ενέργεια
- Γεωθερμία
- Ενέργεια της Θάλασσας (παλιρροιακά κύματα)

Η Ελλάδα διαθέτει πλούσιο δυναμικό σε ΑΠΕ. Το εξαιρετικά υψηλό αιολικό δυναμικό της χώρας κατατάσσεται μεταξύ των πλέον ελκυστικών στην Ευρώπη, με απόδοση πάνω από 8 μέτρα/δευτερόλεπτο ή/και 2,500 ώρες παραγωγής αιολικής ενέργειας, σε πολλά σημεία της χώρας. Η Ελλάδα παρουσιάζει επίσης ένα ιδιαίτερα υψηλό ηλιακό δυναμικό, περίπου 1.400-1.800 (kWh/(m<sup>2</sup>.yr)) ετησίως σε οριζόντιο επίπεδο, ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος και το ανάγλυφο της περιοχής.



Εικόνα 2. Ανάπτυξη του κλάδου Ηλεκτροπαραγωγής από «νέες» ΑΠΕ στην Ευρώπη  
(Πηγή D8 Report, RE-Shaping)

Η Ελλάδα κατέχει επίσης ένα αξιόλογο δυναμικό στην γεωθερμική ενέργεια, τόσο για άμεση χρήση, όπως επί παραδείγματι σε θερμοκήπια, όσο και επαρκή γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο τέλος του 2007 η συνολική εγκατεστημένη θερμική ισχύς από άμεσες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας υπολογίζεται περίπου σε 75MWt. Κατά προσέγγιση η μισή από αυτήν την ισχύ αντιστοιχεί σε ιαματικές πηγές (και σε κάποιες περιπτώσεις συνδυάζεται με παράλληλη θέρμανση του χώρου) καθώς και σε θέρμανση ανοιχτών ή κλειστών πισινών.

Σήμερα οι άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας στην Ελλάδα επικεντρώνονται κυρίως στην θέρμανση των θερμοκηπίων, σε ιχθυοτροφία, στην καλλιέργεια σπιρουλίνας καθώς και σε

αποξήρανση λαχανικών και φρούτων. Οι αντλίες θερμότητας από υπόγεια ύδατα έχουν αναπτυχθεί ιδιαίτερα το τελευταίο διάστημα αλλά το ποσοστό που καταλαμβάνουν στην αγορά είναι ελάχιστο σε σχέση με άλλα κράτη της κεντρικής ή Βόρειας Ευρώπης. Προς το παρόν δεν παράγεται στην Ελλάδα ηλεκτρική ενέργεια παρά την ύπαρξη πολλών γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας στο ηφαιστειακά ενεργό τόξο του Αιγαίου πελάγους. Το δυναμικό για τη άμεση χρήση της γεωθερμίας στην Ελλάδα ξεπερνάει τα 1000 MWth ενώ για την παραγωγή ηλεκτρισμού υπολογίζεται περί τα 25 MW κυρίως στα νησιά της Μήλου και της Νισύρου.

## **1.2 Προσδιορισμός του όρου “Έξυπνο Δίκτυο”**

Στη δεκαετία του 1930 έγινε μια σημαντική αλλαγή στο Ηνωμένο Βασίλειο με τη σύνδεση όλων των ανεξάρτητων τοπικών συστημάτων σε αυτό που καλείται τώρα σύστημα μεταφοράς ή εθνικό δίκτυο. Οι κύριοι λόγοι για αυτό ήταν να παρέχουν καλύτερη ασφάλεια εφοδιασμού και μείωση των εξόδων. Με αυτόν τον τρόπο ήταν δυνατό να συνδέονται στο δίκτυο μεγαλύτεροι και πιο αποδοτικοί σταθμοί παραγωγής μακριά από τα σημεία κατανάλωσης.

Ως εκ τούτου, τα προηγούμενα ανεξάρτητα τοπικά συστήματα ξεπεράστηκαν σταδιακά και έγιναν τα συστήματα διανομής που έχουμε σήμερα. Το Smart Grid θα είναι η επόμενη σημαντική ανάπτυξη του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Όταν το Smart Grid, είναι πλήρως λειτουργικό γύρω στο 2030, θα:

*"Ενσωματώσει οικονομικά αποδοτικά τις ενέργειες όλων των χρηστών που συνδέονται με αυτό - γεννήτριες, καταναλωτές και εκείνων που παράγουν και καταναλώνουν - έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ένα οικονομικά αποδοτικό, βιώσιμο σύστημα ενέργειας με χαμηλές απώλειες και υψηλά επίπεδα ποιότητας και ασφάλειας εφοδιασμού και προστασίας."*

Αυτός ο ορισμός του έξυπνου δικτύου βασίζεται σε αυτόν που προτείνεται από την Ομάδα των Ευρωπαϊκών Ρυθμιστικών Αρχών για την Ηλεκτρική Ενέργεια και το Φυσικό Αέριο.

Η ανεξέλεγκτη σύνδεση πηγών μπορεί να προκαλέσει πολλά προβλήματα στο δίκτυο. Ένας βελτιωμένος τρόπος διαχείρισης των διανεμημένων μονάδων παραγωγής προκύπτει από την προσέγγιση του υποσυστήματος συνολικά, ως ένα μικρό δίκτυο με παραγωγή και κατανάλωση, ενσωματώνοντας τα φορτία που τροφοδοτούνται άμεσα από τη μονάδα παραγωγής. Με αυτόν τον τρόπο, ο έλεγχος του εκάστοτε συστήματος γίνεται τοπικά, αφαιρώντας την ανάγκη κεντρικής επιτήρησης.



Εικόνα 3. Γραμμές υψηλής τάσεως στο συμβατικό δίκτυο

Η σύνδεση μικρών συστημάτων παραγωγής ενέργειας στο δίκτυο χαμηλής τάσης διαμορφώνει έναν νέο τύπο συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που ονομάζεται Μικροδίκτυο ή Έξυπνο Δίκτυο. Τα έξυπνα δίκτυα είναι συστήματα παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες και συμβατικές πηγές, που εγκαθίστανται σε απομακρυσμένες κυρίως περιοχές και καλύπτουν τις ανάγκες φορτίων μικρής κλίμακας. Τα συστήματα αυτά, μπορεί να λειτουργούν αυτόνομα με συντονισμένο και ελεγχόμενο τρόπο ή/και να έχουν τη δυνατότητα σύνδεσης με το δίκτυο. Εγκαθίστανται κυρίως σε περιοχές που δεν εξυπηρετούνται από το δημόσιο δίκτυο ή σε περιπτώσεις ασταθούς δικτύου, ώστε η τροφοδότηση των φορτίων να είναι συνεχής και απρόσκοπτη.

Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί μια μοναδική αλυσίδα εφοδιασμού, διότι οι νόμοι

της φυσικής απαιτούν ότι η παραγωγή, η διανομή και η κατανάλωση συμβαίνουν ακαριαία και πρέπει να διατηρούνται σε τέλεια ισορροπία σε συνεχή βάση. Είναι το απόλυτο “just in time” σύστημα σχετικά με το χρόνο παράδοσης. Για να λειτουργήσει το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας με ασφάλεια με αυτό τον τρόπο απαιτεί εξειλιγμένα, ευφυή (Εξυπνα) συγκροτήματα ελέγχου καθώς και εξειδικευμένη εποπτεία και παρεμβάσεις από τους μηχανικούς ελέγχου.

Η κύρια διαφορά μεταξύ του τρέχοντος δικτύου και των μελλοντικών Smart Grid θα είναι ο τρόπος ότι η παραγωγή και η ζήτηση θα βρίσκονται σε ισορροπία. Στο σημερινό μας σύστημα, το δίκτυο μεταφοράς υψηλής τάσης είναι ένα εξειλιγμένο, πολύ ελεγχόμενο δίκτυο που προμηθεύει ηλεκτρική ενέργεια στα δίκτυα διανομής, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν απλά ως καλώδια παροχής ηλεκτρικού ρεύματος προς τους χρήστες. Το δίκτυο μεταφοράς πρέπει να καλύπτει ό, τι ζήτηση υπάρχει από το σύστημα διανομής, δηλαδή από τους χρήστες. Αυτό επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της παροχής από ένα σχετικά μικρό αριθμό μεγάλων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Μεγάλες αλλαγές είναι μπροστά, που προκύπτουν από την απεξάρτηση από τον άνθρακα, οι οποίες θα έχουν αντίκτυπο στα συστήματα μεταφοράς και διανομής, τους καταναλωτές και τους παραγωγούς. Στο επίπεδο της μεταφοράς, οι προκλήσεις περιλαμβάνουν τη σύνδεση της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας και τις νέες διασυνδέσεις με άλλες χώρες. Σε επίπεδο διανομής, οι προκλήσεις συνδέονται με το ενδεχόμενο για εκατομμύρια πελάτες σύνδεσης νέων φορτίων, όπως αντλίες θερμότητας και τα ηλεκτρικά οχήματα, γεννήτριες έτσι ώστε να καταναλώνουν και παράγουν ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό θα απαιτήσει μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση για να στον τρόπο που το σύστημα ελέγχεται και αυτή η αλλαγή είναι στο επίκεντρο του Smart Grid.



Εικόνα 4. Υπεράκτια αιολική ενέργεια

### **1.3 Τι πρέπει να ελέγχεται σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας**

Ένα Smart Grid βασίζεται στις πληροφορίες και τον έλεγχο. Οι τρεις πρωτογενείς ποσότητες που πρέπει να ελέγχονται είναι οι εξής:

Συχνότητα - αυτό γίνεται με το ταίριασμα της παραγωγής και της ζήτησης με βάση τη δεύτερη ανά δευτερόλεπτο για να εξασφαλιστεί η σταθερότητα του συστήματος και να διασφαλισθεί ότι ο καθένας λαμβάνει ηλεκτρική ενέργεια σε μία σταθερή συχνότητα.

Τάση - Αυτό γίνεται με τη χρήση πολλών συσκευών ελέγχου, κυρίως γεννήτριες και μετασχηματιστές, σε όλο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας για να εξασφαλιστεί ότι οι τάσεις παραμένουν σταθερές και ότι οι πελάτες λαμβάνουν ηλεκτρική ενέργεια εντός συγκεκριμένων ορίων.

Ρεύμα - κάθε συσκευή και κύκλωμα στο δίκτυο έχει ένα ανώτερο όριο στο ρεύμα που μπορεί να μεταφέρει χωρίς φθορά ή αποτυχία. Το δίκτυο πρέπει επομένως να σχεδιαστεί έτσι ώστε αυτά τα όρια να τηρούνται ανά πάσα στιγμή, ακόμη και όταν συμβαίνουν σφάλματα.

Αυτό γίνεται με την παροχή πλεονάζουσας παραγωγικής ικανότητα στο δίκτυο μαζί με τις δράσεις ελέγχου και προστασίας.

#### **1.4 Ποια είναι τα οφέλη από την πιθανή ενσωμάτωση των Έξυπνων Δικτύων**

Το δίκτυο υπάρχει για να παρέχει συνδέσεις μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας. Τα οφέλη από ένα Smart Grid είναι ότι παρέχει τις υπηρεσίες που οι μελλοντικοί χρήστες θα απαιτήσουν με χαμηλότερο κόστος από τις σημερινές προσεγγίσεις εξασφαλίζοντας παράλληλα την ασφάλεια και την προστασία του συστήματος.

Μια πρόσφατη ανάλυση από το Smart Grid Forum<sup>2</sup> έχει δηλώσει ότι θα υπάρξουν πραγματικά οικονομικά οφέλη στην ανάπτυξη έξυπνων δικτύων, αντί να συνεχίσουμε απλά με «παραδοσιακές» λύσεις για τις νέες απαιτήσεις του δικτύου.

Αναμένεται ότι οι έξυπνες λύσεις θα προσφέρουν οικονομικά αποτελεσματικούς τρόπους προς:

- τη διευκόλυνση της σύνδεσης και της αξιοποίησης γεννητριών χαμηλών που κάνουν χαμηλή ή και μηδενική χρήση άνθρακα,
- τη διευκόλυνση της συμμετοχής της ανταπόκρισης στη ζήτηση κατά τη λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας
- αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα την εγκατεστημένη ισχύ του δικτύου μέσω καλύτερης διαχείρισης της ήδη εγκατεστημένης ισχύος, μέσω τεχνικών που θα παρουσιαστούν στα επόμενα κεφάλαια.
- Μείωση της επίδρασης των εκπομπών από την λειτουργία του δικτύου, για παράδειγμα με ελαχιστοποίηση των απωλειών.

Καθώς μεγαλώνει η ανάπτυξη σε ολόκληρο τον κόσμο τα επόμενα χρόνια, περισσότερα και καλύτερα στοιχεία θα είναι διαθέσιμα που θα καταστήσουν δυνατή την ακριβέστερη

αξιολόγηση των οφελών των συγκεκριμένων έξυπνων λύσεων δικτύου.

## **1.5 Ποιες είναι οι προκλήσεις**

**Ασφάλεια:** Το ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας παρέχει μια ζωτικής σημασίας υπηρεσία για την κοινωνία και ως εκ τούτου χαρακτηρίζεται ως μέρος των κρίσιμων εθνικών Υποδομών. Όλες οι πτυχές της λειτουργίας του δικτύου υπόκεινται σε αυστηρή ασφάλεια και τυχόν νέες πτυχές, όπως τα “έξυπνα” μέτρα, που προστίθενται στο σύστημα πρέπει να επιτύχουν το ίδιο υψηλό επίπεδο της συνολικής ασφάλειας του συστήματος.

**Μετασχηματιστική αλλαγή:** Οι πιο εκτεταμένες αλλαγές θα συμβαίνουν στο δίκτυο διανομής που έχει ήδη λειτουργήσει με αξιόπιστο τρόπο για τα τελευταία χρόνια. Η διάδοση των γνώσεων είναι απαραίτητη ώστε να καταστεί δυνατή η βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας να υιοθετήσει καινοτόμες λύσεις εκτός από τις δοκιμασμένες μεθόδους.

**Η διαχείριση της ζήτησης:** δεν είναι ακόμη σαφές πώς θα οργανωθεί από τις εμπορικές και κανονιστικές προοπτικές, έτσι ώστε και οι καταναλωτές και η βιομηχανία θα μπορέσουν να λάβουν τα αναμενόμενα οφέλη από αυτό.

**Αβεβαιότητα:** η έλλειψη βεβαιότητας για το πώς θα ανταποκριθεί η χώρα μας στους στόχους του 2020 και 2050 για την απεξάρτηση από τον άνθρακα προσθέτει στην πρόκληση. Για παράδειγμα, ο βαθμός στον οποίο θα αναπτυχθεί η παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές είναι ασαφής. Αυτό σημαίνει ότι η έκταση στην οποία θα χρειαστεί ένα έξυπνο δίκτυο είναι επίσης ασαφής και αυτό θα μπορούσε να παρεμποδίσει τις στρατηγικές επενδύσεις στο μέλλον.



## **Κεφάλαιο 2. Μετάβαση των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας στη Νέα Εποχή**

### **2.1 Εισαγωγή**

Η ενέργεια παίζει κεντρικό ρόλο στις σύγχρονες οικονομίες και την καθημερινή ζωή των ανθρώπων στις βιομηχανικές χώρες. Ως εκ τούτου, δεν αποτελεί έκπληξη το ότι τεράστιες ποσότητες πετρελαίου και άνθρακα, όπως και άλλα καύσιμα, που μπορούν να αποθηκευτούν και να μεταφερθούν εύκολα, αποτελούν κρίσιμο αντικείμενο του εμπορίου σε όλο τον κόσμο. Ένα πιο πρόσφατο φαινόμενο είναι η εμφάνιση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου, οι οποίες αναπτύχθηκαν λόγω του πολύπλοκου και δαπανηρού δικτύου διανομής, που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 1. Με τις νομοθετικές παρεμβάσεις από το 1999 και μετά το τοπίο στις ενεργειακές αγορές μεταβάλλεται δραματικά και ανοίγει για την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών που σταδιακά οδηγούν στην ανάπτυξη Έξυπνων Δικτύων.

### **2.2 Απελευθέρωση αγορών ηλεκτρικής ενέργειας**

Λόγω των μεγάλων αρχικών επενδύσεων στην υποδομή που είναι απαραίτητες για τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας και λόγω των σημαντικών επιπτώσεων κλίμακας στην παραγωγή της, για μεγάλο χρονικό διάστημα τα κρατικά μονοπώλια ήταν οι πιο αποδοτικοί πάροχοι. Στην πραγματικότητα, η ηλεκτρική ενέργεια αλλά και το φυσικό αέριο θεωρήθηκαν ως χαρακτηριστικές περιπτώσεις φυσικών μονοπωλίων. Αυτή εξακολουθεί να είναι η κατάσταση σε πολλές χώρες, με όχι πλήρως απελευθερωμένες αγορές ενέργειας.

Από την τελευταία δεκαετία του εικοστού αιώνα, ανταγωνιστικές αγορές για τα δίκτυα διανομής ενέργειας έχουν δημιουργηθεί σε όλο τον κόσμο με την ελπίδα οικονομικού οφέλους από τη φθηνότερη παροχή ενέργειας. Ο ανταγωνισμός συνήθως δημιουργείται με διαχωρισμό των ρόλων της λειτουργίας του δικτύου, της παραγωγής και της εμπορίας. Με την απελευθέρωση της πρόσβασης στην υποδομή διανομής, τα εμπόδια εισόδου στην αγορά έχουν μειωθεί δραστικά και ευκαιρίες για την προμήθεια και εμπορία δημιουργήθηκαν για διάφορους συμμετέχοντες στην αγορά, όπως επενδυτές ή μεγάλους καταναλωτές ενέργειας.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η ηλεκτρική βιομηχανία ενέργειας έχει εξελιχθεί από ένα συγκεντρωτικό επιχειρησιακό πρότυπο σε ένα ανταγωνιστικό σχήμα σε πολλές χώρες σε όλο τον κόσμο. Το 1996, η Ομοσπονδιακή Ρυθμιστική Επιτροπή Ενέργειας (FERC) θέσπισε την εντολή 888, ένα νομικό πλαίσιο για να αυξηθεί ο ανταγωνισμός στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας των ΗΠΑ με την προώθηση της ανοικτής πρόσβασης στα δίκτυα μεταφοράς. Κατά το ίδιο έτος, η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε την οδηγία 96/92 / EC, με στόχο την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας με ειδικούς καταναλωτές στα κράτη μέλη για τον καθορισμό των βασικών κανόνων για μια δημιουργική ευρωπαϊκή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυτό το νέο ανταγωνιστικό πλαίσιο έχει ως στόχο να προωθήσει την αύξηση της η επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα μια αποδεκτή ποιότητα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και την επίτευξη ελάχιστου κόστους για τους τελικούς χρήστες ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, έχει ως στόχο την παροχή καλύτερων κινήτρων για το σχηματισμό κεφαλαίου, για τους καταναλωτές ώστε να μην καταναλώνουν ενέργεια όταν το κόστος υπερβαίνει τα οφέλη τους, και καλύτερα κίνητρα για την έρευνα και την ανάπτυξη.

Αυτή η διαδικασία αναδιάρθρωσης επέτρεψε την απελευθέρωση του τομέα ηλεκτρικής ενέργειας και την εμφάνιση αγορών ηλεκτρικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο. Η πρωτοποριακή διαδικασία απελευθέρωσης αντιστοιχεί σε αυτό που έλαβε χώρα στη Χιλή το 1982. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, το σχήμα ηλεκτρικής ενέργειας που δημιουργήθηκε στην Αγγλία και την Ουαλία ήταν η πρώτη μια τέτοια εμπειρία στην Ευρώπη. Στις ΗΠΑ, το 1998, ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς της Καλιφόρνια δημιούργησε μια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας βασισμένη στο σχήμα της Αγγλίας, η οποία απέτυχε δραματικά το 2000, λόγω ατελειών σχεδιασμού. Οι Αγορές στην Ανατολική Ακτή των ΗΠΑ, συμπεριλαμβανομένων των PJM, ISO της Νέας Αγγλίας, και η ISO στη Νέα Υόρκη ξεκίνησαν τη λειτουργία τους το 1997, 1999 και το 1999, αντίστοιχα, και έχουν λειτουργεί με επιτυχία από τότε. Οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας στη Νέα Ζηλανδία και την Αυστραλία άρχισαν να λειτουργούν το 1996 και το 1998, αντίστοιχα.

Μια ιδιαιτερότητα της ενεργειακής βιομηχανίας είναι ο μείζων ρόλος της αβεβαιότητας: Η ζήτηση για το φυσικό αέριο, για παράδειγμα, συνήθως εξαρτάται από διάφορους παράγοντες

όπως η θερμοκρασία, ή ακόμα και μακροοικονομικούς παράγοντες, οι οποίοι είναι δύσκολο να προβλεφθούν. Επίσης, το επίπεδο της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος δεν εξαρτάται μόνο από τη διαθεσιμότητα των δικτύων μεταφοράς και των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και από τον άνεμο, τον ήλιο, και τις βροχοπτώσεις λόγω της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Είναι λοιπόν ζήτημα ζωτικής σημασίας για τις ενεργειακές εταιρείες, να μπορέσουν να απορροφήσουν τις μεταβολές στην προσφορά και τη ζήτηση, ώστε εξασφαλιστεί βραχυπρόθεσμα η πρόσβαση στη παροχή ενέργειας.

Ένα παράγωγο είναι ένα σύμβολο το οποίο μπορεί να οριστεί ως "ένα εργαλείο του οποίου η τιμή εξαρτάται από, ή προέρχεται από, την τιμή ενός άλλου στοιχείου".

Αν και η πραγματική φυσική ζήτηση και η φυσική προσφορά αντιστοιχίζονται στις αγορές spot, τεράστιοι όγκοι ενέργειας αποτελούν αντικείμενο διαπραγμάτευσης ως παράγωγα φυσικών προϊόντων. Οι κύριες αιτίες για το μεγάλο πλήθος ενεργειακών συμβολαίων σε κυκλοφορία είναι η αντιστάθμιση κινδύνου και η κερδοσκοπία.

Ένα ενεργειακό παράγωγο είναι ένα παράγωγο σύμβολο που βασίζεται σε (προέρχεται από) ένα υποκείμενο στοιχείο ενέργειας, όπως το φυσικό αέριο, το αργό πετρέλαιο, ή η ηλεκτρική ενέργεια. Τα ενεργειακά παράγωγα είναι εξωτικά παράγωγα και περιλαμβάνουν συμβάσεις ανταλλαγής-εμπορίας όπως συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης και δικαιώματα προαίρεσης. Οι σημαντικοί παίκτες στις αγορές παραγωγών ενέργειας περιλαμβάνουν σημαντικούς εμπορικούς οίκους, πετρελαϊκές εταιρείες, επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, καθώς και χρηματοπιστωτικά ιδρύματα.

Η απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας ανά τον κόσμο έδωσε την δυνατότητα συμμετοχής σε αυτές πολλών μικρών και μεγαλύτερων παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (λόγω της κλιματικής αλλαγής μέσω του πρωτοκόλλου του Κιότο) καθώς και την εφαρμογή τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας που έχουν άμεση συσχέτιση με τα χαρακτηριστικά των ανανεώσιμων πηγών, τα οποία μεταφέρουν στο δίκτυο και άρα στη πρόβλεψη και τη διαχείριση του φορτίου και της αγοράς ενέργειας.

## **2.3 Απελευθέρωση της ελληνικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην προμήθεια καταναλωτών**

Η ελληνική αγορά ενέργειας απελευθερώνεται βαθμιαία από το 1999. Το νομοθετικό πλαίσιο που αναπτύχθηκε μετά από μακρά περίοδο αναζητήσεων, προετοιμασίας, μελετών και οργανωτικών βημάτων τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε εθνικό επίπεδο, σταδιακά οδήγησε στην απελευθέρωση της προμήθειας ενέργειας ακόμα και σε καταναλωτές οικιακού φορτίου, ενισχύοντας τον ανταγωνισμό. Από το 2007, κάθε καταναλωτής έχει το δικαίωμα επιλογής του προμηθευτή ενέργειας, γεγονός που θεσμικά αναιρεί το μονοπώλιο της ΔΕΗ. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι σχετικές διατάξεις των νόμων που καθόρισαν την ελεύθερη αγορά στην προμήθεια της ενέργειας.

Σύμφωνα με το νόμο 2773/1999 για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και τη ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής (ΦΕΚ Α' 286/22.12.1999), από τη 1η Φεβρουαρίου του 2001 μεγάλοι καταναλωτές (κατανάλωση κατά σημείο μεγαλύτερη των 100GWh ετησίως) έχουν οριστεί ως επιλέγοντες πελάτες, με εξαίρεση τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά. Αυτή ήταν η πρώτη κίνηση προς το άνοιγμα της αγοράς στην προμήθεια της ενέργειας.

Στην Ελλάδα ο εν λόγω νόμος αποτελεί το βασικό θεσμικό υπόβαθρο για τη δημιουργία της ελεύθερης αγοράς ενέργειας. Στα πλαίσια αυτά έχουν συσταθεί δύο νέοι βασικοί φορείς λειτουργίας της απελευθερωμένης αγοράς, η ΡΑΕ και ο ΔΕΣΜΗΕ. Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) είναι μία ανεξάρτητη διοικητική αρχή με γνωμοδοτικές και εισηγητικές αρμοδιότητες στον τομέα της ενέργειας. Δημιουργήθηκε στα πλαίσια της εναρμόνισης της ελληνικής νομοθεσίας με την Κοινοτική Οδηγία 96/92 και συνδυάζεται με την πολιτική του εκσυγχρονισμού των ενεργειακών αγορών στην Ελλάδα. Αναλαμβάνει τις αδειοδοτήσεις των παραγωγών και εισηγείται για τις τιμές και τη λειτουργία της αγοράς ενέργειας. Ο διακριτικός τίτλος ΔΕΣΜΗΕ αντιστοιχεί στον Διαχειριστική του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, ο οποίος φροντίζει να υπάρχει ανά πάσα στιγμή ισορροπία παραγωγής και κατανάλωσης, η ηλεκτρική ενέργεια να παρέχεται κατά τρόπο αξιόπιστο, ασφαλή και ποιοτικά αποδεκτό ενώ παράλληλα εκκαθαρίζει την αγορά λειτουργώντας σαν ένα είδος χρηματιστηρίου που υπολογίζει κάθε ημέρα ποιος οφείλει σε ποιόν.

Με το άρθρο 16 του νόμου 3426/2005, επιταχύνεται η διαδικασία για την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, αφού όλοι οι καταναλωτές ορίζονται ως Επιλέγοντες Πελάτες, με εξαίρεση τους καταναλωτές που είναι εγκατεστημένοι σε Απομονωμένα Μικροδίκτυα και αυτούς που προμηθεύονται ηλεκτρική ενέργεια αποκλειστικά για οικιακή χρήση. Από την 1.7.2007, όλοι οι καταναλωτές ορίζονται ως Επιλέγοντες Πελάτες, με εξαίρεση τους καταναλωτές που οι εγκαταστάσεις τους είναι συνδεδεμένες με Απομονωμένα Μικροδίκτυα. Ο Διαχειριστής του Συστήματος, ο Διαχειριστής του Δικτύου και ο Διαχειριστής Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών έχουν υποχρέωση να εξασφαλίζουν στους Επιλέγοντες Πελάτες, μετά από αίτηση τους, πρόσβαση μέσω ηλεκτρικών γραμμών ή εγκαταστάσεων ή και των δύο, στο Σύστημα, στο Δίκτυο ή στο Δίκτυο Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών κατά περίπτωση. Απομονωμένο Μικροδίκτυο, είναι το δίκτυο κάθε Μη Διασυνδεδεμένου Νησιού το οποίο είχε κατά το έτος 1996 συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας μικρότερη των 500 Gwh.

## **2.4 Πρωτόκολλο του Κιότο και βιώσιμη ανάπτυξη**

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα σημαντικό κίνητρο για την εξοικονόμηση ενέργειας αφού οφείλεται κατά βάση στην υψηλή κατανάλωση ενέργειας των βιομηχανιών αλλά και του κτιριακού τομέα από το τέλος του 19ου αιώνα έως την εποχή μας. Οι κύριες αιτίες της κλιματικής αλλαγής είναι η παραγωγή ενέργειας για τις μεταφορές, οι βιομηχανικές διεργασίες, η χρήση διαλυτών και άλλων χημικών προϊόντων, τα απόβλητα. Με βάση τις παρατηρήσεις για την κλιματική αλλαγή, συμφωνήθηκε μέσω του Πρωτοκόλλου του Κιότο η λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Το Πρωτόκολλο του Κιότο αποτελεί διεθνή συμφωνία που συνδέεται με τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή, η οποία δεσμεύει τα συμβαλλόμενα μέρη της θέτοντας διεθνώς δεσμευτικούς στόχους μείωσης των εκπομπών του θερμοκηπίου.

Αναγνωρίζοντας ότι οι ανεπτυγμένες χώρες είναι κυρίως υπεύθυνες για τα σημερινά υψηλά επίπεδα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, ως αποτέλεσμα πάνω από 150 χρόνια βιομηχανικής δραστηριότητας, το πρωτόκολλο δίνει μεγαλύτερο βάρος στις ανεπτυγμένες χώρες, βάσει της αρχής των «κοινών αλλά διαφοροποιημένων ευθυνών».

Το Πρωτόκολλο του Κιότο υιοθετήθηκε στο Κιότο της Ιαπωνίας, στις 11 Δεκεμβρίου 1997 και τέθηκε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005. Οι λεπτομερείς κανόνες για την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου εγκρίθηκαν κατά την COP 7 στο Μαρακές, στο Μαρόκο, το 2001, και αναφέρονται ως η «Μαρακές». Η πρώτη περίοδος δέσμευσης ξεκίνησε το 2008 και τελείωσε το 2012.

Στις 21 Δεκεμβρίου 2012, η τροπολογία διανεμήθηκε από τον Γενικό Γραμματέα των Ηνωμένων Εθνών, ενεργώντας υπό την ιδιότητά του ως θεματοφύλακα, σε όλα τα μέρη του πρωτοκόλλου του Κιότο, σύμφωνα με τα άρθρα 20 και 21 του πρωτοκόλλου.

Κατά τη διάρκεια της πρώτης περιόδου δέσμευσης, 37 βιομηχανικές χώρες και την Ευρωπαϊκή Κοινότητα δεσμεύτηκε να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά μέσο όρο σε πέντε τοις εκατό από τα επίπεδα του 1990. Κατά τη δεύτερη περίοδο δέσμευσης, τα μέρη δεσμεύτηκαν να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 18 τοις εκατό κάτω από τα επίπεδα του 1990 κατά την περίοδο οκτώ ετών 2013-2020. Ωστόσο, η σύνθεση των μερών κατά τη δεύτερη περίοδο δέσμευσης είναι διαφορετική από τη πρώτη.

Στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου του Κιότο, η ΕΕ-15 έχει αναλάβει κοινή δέσμευση για τη μείωση των εκπομπών κατά μέσο όρο 8% μεταξύ 2008 και 2012 σε σύγκριση με τις εκπομπές του έτους βάσης. Επισημαίνεται ότι σε αντίθεση με την ΕΕ-15, η ΕΕ-27 δεν έχει ουδεμία υποχρέωση επίτευξης κάποιου κοινού στόχου στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου του Κιότο μέχρι το 2012. Αυτό πάντως που ισχύει για την ΕΕ-27 είναι η μονομερής δέσμευση να επιτύχει τουλάχιστον μια μείωση 20% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2020 σε σύγκριση με το 1990.

Η έννοια της βιώσιμης ή αειφόρου ανάπτυξης αναφέρθηκε πρώτη φορά στην έκθεση των Ηνωμένων Εθνών το 1987 ως ένα όραμα προόδου που συνδέει την οικονομική ανάπτυξη με την προστασία του περιβάλλοντος και την κοινωνική δικαιοσύνη.

Η Ατζέντα 21 και η Διακήρυξη του Ρίο για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη παρέχουν το

βασικό πλαίσιο για τη συζήτηση και την πολιτική δράση σε θέματα που σχετίζονται με τη βιομηχανία και την αειφόρο ανάπτυξη. Παρά το γεγονός ότι ο ρόλος των επιχειρήσεων και της βιομηχανίας, ως μια σημαντική ομάδα, απευθύνεται ειδικά στο κεφάλαιο 30, ζητήματα που σχετίζονται με τη βιομηχανία και την οικονομική ανάπτυξη, προτύπων κατανάλωσης και παραγωγής, την κοινωνική ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος διασχίζουν το σύνολο της Ατζέντας 21, συμπεριλαμβανομένου του τμήματος της 4, τα μέσα υλοποίησης.

Το κεφάλαιο II του Σχεδίου Υλοποίησης του Γιοχάνεσμπουργκ καλεί επίσης για την ενίσχυση της βιομηχανικής ανάπτυξης, προκειμένου να αντιμετωπίσουν την εξάλειψη της φτώχειας και την αειφόρο διαχείριση των φυσικών πόρων.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της αειφόρου ανάπτυξης, οι κυβερνήσεις πρέπει να ενσωματώνουν οικονομικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά ζητήματα στη χάραξη πολιτικής τους και την προώθηση της οικονομικής ανάπτυξης και της διεθνούς ανταγωνιστικότητας της βιομηχανίας μέσω μακροοικονομικών πολιτικών. Προκειμένου να τονωθεί η εγχώρια ιδιωτική επιχειρηματικότητα, η τόνωση της οικονομίας σε επίπεδο ανταγωνιστικότητας και η προσέλκυση άμεσων ξένων επενδύσεων, οι μεταρρυθμίσεις της πολιτικής πρέπει να στοχεύουν στη δημιουργία ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος πολιτικής, με βελτιώσεις στις υποδομές και την εκπαίδευση, την ενθάρρυνση της έρευνας και της ανάπτυξης, τη διευκόλυνση των εξαγωγών και η απελευθέρωση της εγχώριας αγοράς. Στο πλαίσιο αυτό, η ανάπτυξη των μικρών και μεσαίων επιχειρήσεων θα πρέπει να τύχει ιδιαίτερης προσοχής.

Η βιομηχανία διαδραματίζει έναν κρίσιμο ρόλο στις τεχνολογικές καινοτομίες και δραστηριότητες έρευνας και ανάπτυξης, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη κάθε χώρας, καθώς και στην ανάπτυξη, τη διάδοση και μεταφορά των φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών και τεχνικών διαχείρισης, που αποτελούν βασικό στοιχείο της αειφόρου ανάπτυξης.

Υπάρχει μια αμφίδρομη σχέση μεταξύ κοινωνικής και βιομηχανικής ανάπτυξης, και η εκβιομηχάνιση έχει τη δυνατότητα να προωθήσει, άμεσα και έμμεσα, μια ποικιλία κοινωνικών στόχων, όπως η δημιουργία θέσεων απασχόλησης, η εξάλειψη της φτώχειας, η ισότητα των φύλων, τα πρότυπα εργασίας, και μεγαλύτερη πρόσβαση στην εκπαίδευση και

την φροντίδα υγείας. Στο πλαίσιο αυτό, η πρωταρχική πρόκληση πολιτικής είναι η προώθηση των θετικών επιπτώσεων, ενώ ο περιορισμός ή η κατάργηση των αρνητικών επιπτώσεων των βιομηχανικών δραστηριοτήτων για την κοινωνική ανάπτυξη.

Καθώς ο κόσμος έχει γίνει πιο βιομηχανοποιημένος, έχουν υπάρξει αυξανόμενες περιβαλλοντικές πιέσεις όπως επιβλαβείς εκπομπές και των απόβλητα, τα οποία είχαν παγκόσμιες, περιφερειακές ή τοπικές επιπτώσεις. Αυτές περιλαμβάνουν, σε τοπικό επίπεδο, την αστική ατμοσφαιρική ρύπανση, τη μόλυνση του εδάφους και των ποταμών και την υποβάθμιση της γης, σε περιφερειακό επίπεδο, την όξινη βροχή και το νερό και τη μόλυνση των παράκτιων ζωνών και σε παγκόσμιο επίπεδο, την αλλαγή του κλίματος, τη καταστροφή της στιβάδας του όζοντος, την απώλεια της βιοποικιλότητας, την αυξημένη διακίνηση επικίνδυνων αποβλήτων και την αύξηση της χερσαίας θαλάσσιας ρύπανσης.

Η πρωταρχική αποστολή που αντιμετωπίζουν οι κυβερνήσεις είναι να μεγιστοποιηθεί η θετική επίδραση των βιομηχανικών δραστηριοτήτων για την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη, με παράλληλη ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων της παραγωγής και της κατανάλωσης στο περιβάλλον. Για το σκοπό αυτό, οι κυβερνήσεις θα πρέπει να επανεξετάσουν τις ρυθμιστικές πολιτικές και τα συστήματα οικονομικών κινήτρων και αντικινήτρων τους και να αναλάβουν άλλες ενέργειες, όπως την ανάπτυξη ικανοτήτων, τη συλλογή περιβαλλοντικών δεδομένων και την εκτέλεση που υποστηρίζουν τις προσπάθειες προστασίας του περιβάλλοντος της βιομηχανίας και της κοινωνίας των πολιτών. Οι κυβερνήσεις θα πρέπει να ενθαρρύνουν την ευρύτερη διασπορά και την υλοποίηση των εθελοντικών πρωτοβουλιών και συμφωνιών της βιομηχανίας και την ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών. Τα βήματα προς αυτή την κατεύθυνση είναι:

- Η βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων, χωρίς να αλλάξουν τα υπάρχοντα προϊόντα και οι διαδικασίες
- Η ανάπτυξη και εισαγωγή νέων τεχνολογιών, και
- Αλλαγή του βιομηχανικού συστήματος.

Ως εκ τούτου οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εισήχθησαν στο ενεργειακό μείγμα της Ελλάδας σταδιακά τη τελευταία δεκαετία κυρίως μέσω κρατικών υποστηρικτών μέτρων.



## **2.5 Οι Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα**

Με το νόμο του 2010 για την επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, η Ελλάδα υιοθετεί φιλόδοξους στόχους για την αποφυγή της κλιματικής αλλαγής. Στόχος είναι η γρήγορη ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας με σημαντικές τομές όπως η μείωση της γραφειοκρατίας και με εμπλοκή και συμμετοχή της αγοράς, των τοπικών κοινωνιών, των ΟΤΑ αλλά και των νοικοκυριών. Ο νόμος εκδόθηκε σε ΦΕΚ την 4η Ιουνίου, 2010. Έκτοτε η αδειοδοτική διαδικασία έχει ανοίξει για συγκεκριμένες διαβαθμίσεις ισχύος όπως προκύπτει από ανακοινώσεις της ΔΕΗ.

Με το άρθρο 1 του νέου νόμου καθορίζεται εθνικός δεσμευτικός στόχος 20% για τη συμμετοχή των ΑΠΕ στην κάλυψη της τελικής κατανάλωσης ενέργειας το 2020 (αντί του 18% που προβλέπει η Οδηγία 28/2009) και καθορίζεται αντίστοιχος εθνικός στόχος 40%, κατ' ελάχιστον, για τη συμμετοχή των ΑΠΕ στην κάλυψη της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας το 2020.

Με την ολοκληρωμένη νομοθετική παρέμβαση μειώνεται δραστικά ο συνολικός χρόνος αδειοδότησης τους, από 3-5 χρόνια που είναι σήμερα, σε λιγότερο από 8-10 μήνες συνολικά. Αυτό επιτυγχάνεται με την παράλληλη εξέλιξη των σταδίων της διαδικασίας αδειοδότησης, κάτι που με την ισχύουσα νομοθεσία είναι ανέφικτο και προκαλεί τεράστιες καθυστερήσεις.

Σχετικά με την έκδοση Άδειας Παραγωγής, αυτή πλέον εκδίδεται από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), και όχι από το Υπουργείο, όπως γινόταν μέχρι σήμερα, εκτιμώντας συνολική εξοικονόμηση χρόνου κατά 8 μήνες. Εκτιμάται ότι ο χρόνος της σχετικής αδειοδοτικής διαδικασίας θα περιοριστεί σε δύο (2) μόνο μήνες.

Σημαντικό είναι ότι εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής ή άλλης διαπιστωτικής απόφασης εγκαταστάσεις ΦΒ συστημάτων συνολικής ισχύος μικρότερης του 1 MWp. Κάτι τέτοιο θα ενισχύσει χιλιάδες μικρομεσαίες επενδύσεις στον τομέα των ΦΒ. Υπόκεινται στο ίδιο καθεστώς ΦΒ σταθμοί ισχύος ως 5 MWp που εγκαθίστανται από ερευνητικούς ή εκπαιδευτικούς φορείς του δημοσίου ή ιδιωτικού φορέα για όσο καιρό αυτές

λειτουργούν αποκλειστικά για ερευνητικούς/εκπαιδευτικούς σκοπούς.

Επίσης, η άδεια παραγωγής, για τις περιπτώσεις που είναι υποχρεωτική, αποσυνδέεται από τη διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης και αφορά πλέον την τεχνικοοικονομική επάρκεια του έργου. Η λήψη Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων ακολουθεί σε επόμενο στάδιο της αδειοδοτικής διαδικασίας.

Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση δεν απαιτείται επίσης για τους υβριδικούς σταθμούς και τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, καθώς και για τα συνοδά έργα που απαιτούνται για την ηλεκτρική σύνδεση στο Σύστημα ή το Δίκτυο και τα έργα εσωτερικής οδοποιίας και οδοποιίας πρόσβασης.

Οι διαδικασίες Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) συγχωνεύονται. Ουσιαστικά καταργείται η διαδικασία της ΠΠΕΑ και η εξέταση των σχετικών ζητημάτων γίνεται στα πλαίσια της ΕΠΟ. Η εκτιμώμενη εξοικονόμηση χρόνου από αυτή τη ρύθμιση προσεγγίζει τους 18 μήνες.

Οι ΦΒ σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που εξαιρούνται από την υποχρέωση άδειας παραγωγής, απαλλάσσονται και από την υποχρέωση να λάβουν άδεια εγκατάστασης και λειτουργίας.

ΦΒ σταθμοί που εγκαθίστανται σε κτίρια ή και άλλες δομικές κατασκευές ή εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικών δραστηριοτήτων εξαιρούνται από την υποχρέωση έκδοσης απόφασης Ε.Π.Ο.

Οι ΦΒ σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που εγκαθίστανται σε γήπεδα, εφόσον η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς δεν υπερβαίνει τα 0,5 MW εξαιρούνται από την υποχρέωση έκδοσης απόφασης ΕΠΟ. Αντίθετα, λαμβάνεται βεβαίωση απαλλαγής από την αρμόδια περιβαλλοντική αρχή.

Σε περιπτώσεις ΦΒ σταθμών εντός περιοχής Natura 2000 ή σε παράκτιες ζώνες ή γειτνιάζει σε απόσταση μικρότερη των 150 μέτρων από άλλο ΦΒ σταθμό με αποτέλεσμα η συνολική

ισχύς να ξεπερνά τα 0,5 MW, η λήψη ΕΠΟ είναι υποχρεωτική.

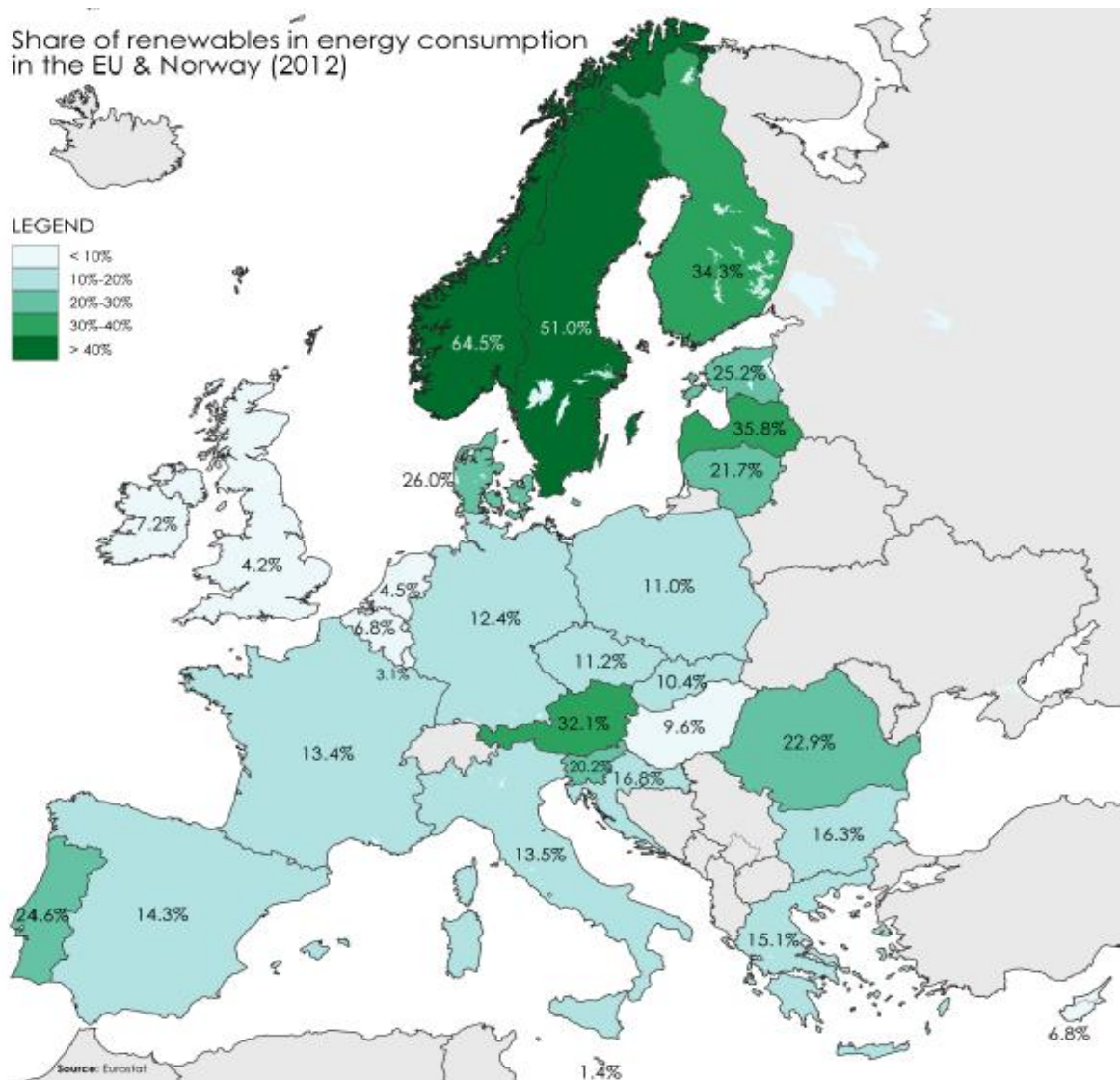
Για την εγκατάσταση ΦΒ συστημάτων δεν απαιτείται οικοδομική άδεια αλλά έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας. Ειδικά για την τοποθέτηση ΦΒ συστημάτων σε κτίρια και στέγαστρα, αντί της έκδοσης έγκρισης εργασιών μικρής κλίμακας μπορεί, με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής, να προβλέπεται μόνο η γνωστοποίηση των εργασιών αυτών στον οριζόμενο κατά περίπτωση αρμόδιο φορέα.

Όσον αφορά την τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας από ΦΒ συστήματα ο διαχωρισμός γίνεται στα 100kW εγκατεστημένης ισχύος, όπως παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα. Παρατηρείται απότομη μείωση των τιμών σε διάστημα πενταετίας και ύστερα τιμολόγηση βάσει της μέσης οριακής τιμής του συστήματος του προηγούμενου έτους. Στα παραπάνω δεν περιλαμβάνονται τα οικιακά συστήματα ως 10kW που υπάγονται στο ειδικό πρόγραμμα για εγκατάσταση ΦΒ σε δώματα και στέγες κτηρίων. Σε αυτή την περίπτωση η τιμολόγηση είναι 0,55€/kWh και το συμβόλαιο υπογράφεται για 25 έτη.

Η ένταξη των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή της βιομηχανίας υπό τη μορφή του αυτοπαραγωγού (παραγωγή και άμεση κατανάλωση ενέργειας από ΑΠΕ στην εγκατάσταση της βιομηχανίας και διάθεση της πλεονάζουσας ενέργειας στο δίκτυο) ή του αυτόνομου παραγωγού (λειτουργία της βιομηχανίας με ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τοπικές ΑΠΕ χωρίς σύνδεση με το δημόσιο δίκτυο) έχει πολλές δυνατότητες ειδικά για τη χώρα μας. Η ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ που μπορεί να εφαρμοστεί σε βιομηχανικές μονάδες και να μειώσει την κατανάλωση συμβατικής ενέργειας περιλαμβάνει κυρίως τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα, τις Ανεμογεννήτριες και τα μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα. Στην Εικόνα 17, φαίνεται η ανάπτυξη του κλάδου Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ στην Ευρώπη. Στην Εικόνα 18, αναλύεται η συνεισφορά των νέων ΑΠΕ στον τομέα της Ηλεκτροπαραγωγής.

Μια από τις πιο ελπιδοφόρες νέες ενεργειακές πηγές είναι η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια, με τη βοήθεια φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ωστόσο, σήμερα η συμβατική Φ/Β αγορά (δηλαδή η αγορά που αφορά σε εγκαταστάσεις Φ/Β πλαισίων κρυσταλλικών πυριτίου για τη δημιουργία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που συνδέονται στο δίκτυο) περνάει από μια περίοδο σημαντικής ανάπτυξης σε μία

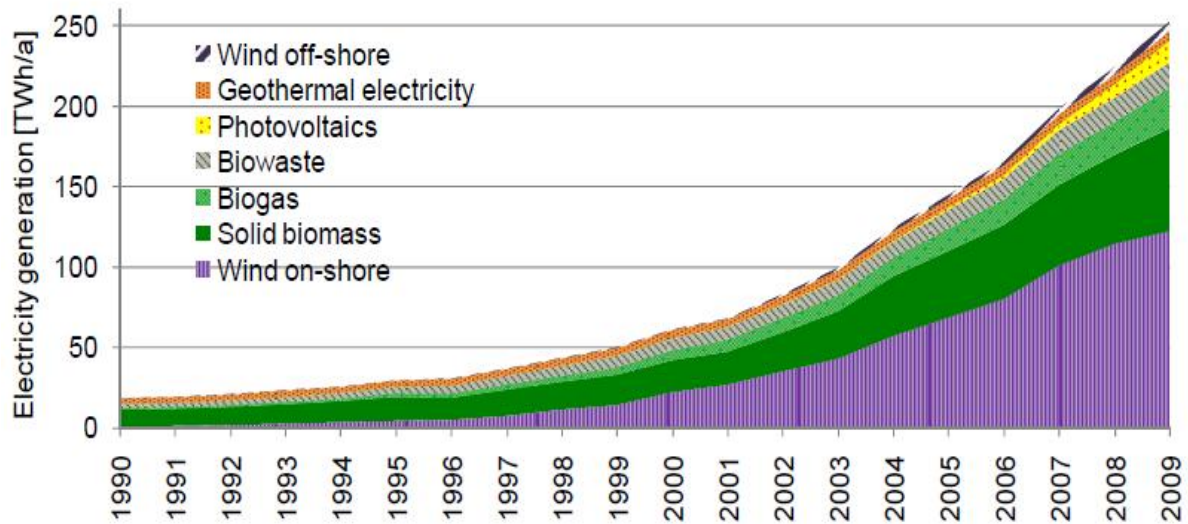
περίοδο ύφεσης.



Εικόνα 5. Ποσοστό ενέργειας από ΑΠΕ σε σχέση με τη συνολική κατανάλωση ενέργειας στην Ευρώπη (Πηγή D8 Report, RE-Shaping)

Τα τελευταία χρόνια οι σταθερές ταρίφες και η εγγυημένη απορρόφηση της παραγόμενης ενέργειας των Φ/Β συστημάτων από το δίκτυο, οδήγησαν την αγορά σε ιδιαίτερη άνθηση, με αποτέλεσμα η συνολική εγκατεστημένη Φ/Β ισχύς στην Ευρώπη να φτάνει τα 51 GW, περίπου το 75% της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος. Με τη ραγδαία αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος μειώθηκαν και αποσταθεροποιήθηκαν οι ταρίφες σε όλες τις χώρες της Ευρώπης, ενώ η οικονομική κρίση οδήγησε σε αδυναμία χρηματοδότησης πολλών

επενδύσεων, και ως εκ τούτου τα κίνητρα προς επένδυση στην Φ/Β τεχνολογία δεν είναι τόσο ισχυρά.



Εικόνα 6. Ανάπτυξη του κλάδου Ηλεκτροπαραγωγής από «νέες» ΑΠΕ στην Ευρώπη (Πηγή D8 Report, RE-Shaping)

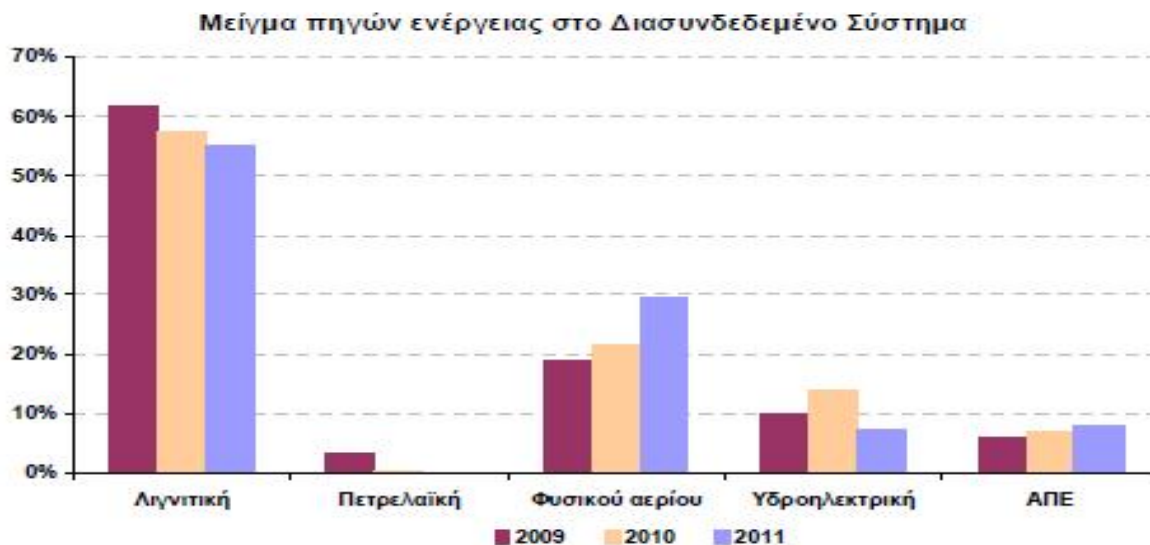
Η αιολική ενέργεια είναι μια ώριμη και ευεργετική τεχνολογία ενώ και η συνεχής ανάπτυξη του τομέα είναι καλά τεκμηριωμένη. Οι ανεμογεννήτριες συνεχίζουν να μεγαλώνουν σε μέγεθος και δυναμικότητα και το σταθερό ποσοστό αύξησης δεν παρουσιάζει κανένα σημάδι επιβράδυνσης. Αν και οι εμπορικές ανεμογεννήτριες είναι σε λειτουργία από τη δεκαετία του '80 και η τεχνολογία ανεμογεννητριών είναι προηγμένη, υπάρχει ακόμα ευρύ πεδίο για έρευνα και ανάπτυξη σε όλα τα θέματα, ώστε να βελτιωθούν οι οικονομικές και τεχνικές πλευρές του κλάδου της αιολικής ενέργειας.

Γενικά, η χρήση του παράκτιου αέρα είναι ακόμη στα σπάργανα και παρέχει λιγότερο από το 2% της συνολικής παραγωγής της Ευρώπης. Εντούτοις, ο στόχος της EWEA (European Wind Energy Association -Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Ενέργειας) για την ΕΕ των 15 είναι η δυναμικότητα της αιολικής ενέργειας που προέρχεται από παράκτιες περιοχές να φτάσει το 65% το 2020.

Ως κορυφαίες χώρες αναμένεται να παραμείνουν η Γερμανία και η Ισπανία, προσδοκώντας αξιοσημείωτη ανάπτυξη σε όλη την ΕΕ, ειδικά στη Γαλλία, τη Μεγάλη Βρετανία, τις Κάτω Χώρες, την Ιταλία, τη Σουηδία και τη Δανία.

Οι μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις έχουν τεράστιες δυνατότητες, και έτσι μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην κάλυψη των μελλοντικών ενεργειακών αναγκών της βιομηχανίας. Παρά τις πολύ ελπιδοφόρες δυνατότητες, η ανάπτυξη της αγοράς της μικρής υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι δύσκολη, εξαιτίας θεσμικών και περιβαλλοντικών εμποδίων στην απόκτηση της άδειας δημιουργίας νέων μικρών υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Πρόσφατα, η Ευρωπαϊκή Ένωση ενέκρινε την οδηγία 2000/60/ΕΚ για το υδάτινο πλαίσιο, που καθιερώνει νέους περιβαλλοντικούς κανονισμούς που επηρεάζουν την ανάπτυξη της μικρής υδροηλεκτρικής ενέργειας. Για να υπερνικηθούν τα εμπόδια, αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες, οι οποίες μειώνουν τις επιπτώσεις στο τοπικό περιβάλλον. Η μικρή υδροηλεκτρική ενέργεια μπορεί στην πραγματικότητα να έχει θετική επίδραση στο τοπικό περιβάλλον, καθώς μειώνει τον κίνδυνο πλημμύρας των ποταμών.

Η καλύτερη αγορά στην Ευρώπη είναι η ανακαίνιση των υπαρχουσών εγκαταστάσεων. Η Ιταλία, η Γαλλία, η Γερμανία, η Ισπανία, η Αυστρία και η Σουηδία είναι οι χώρες της ΕΕ των 15 που συμβάλλουν περισσότερο στην παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η Ισπανία και η Ιταλία παρουσίασαν μεγάλη αύξηση σε εγκατεστημένη χωρητικότητα και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας την τελευταία δεκαετία, ενώ σχεδόν όλες οι χώρες εκτός από τη Δανία, τη Σουηδία, τη Φινλανδία και τις Κάτω Χώρες αυξάνουν την παραγωγή τους. Μερικές χώρες όπως η Γερμανία, η Ελλάδα, η Ισπανία, η Ιταλία, το Λουξεμβούργο, η Πορτογαλία και το Ηνωμένο Βασίλειο ανέπτυξαν τον τομέα της μικρής υδροηλεκτρικής ενέργειας την τελευταία δεκαετία.

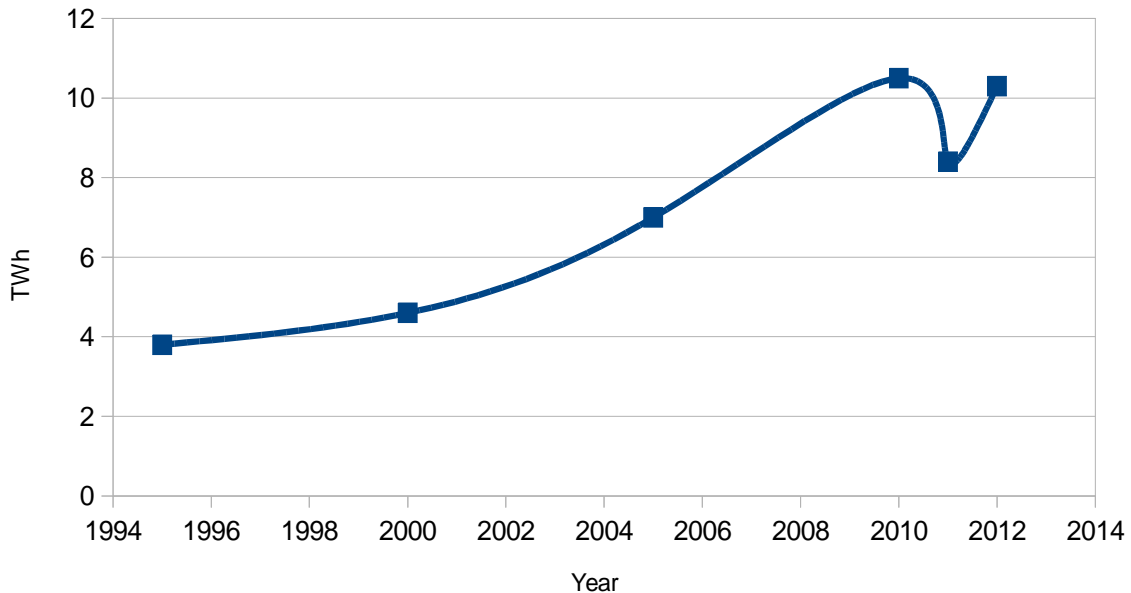


Εικόνα 7. Μείγμα πηγών ενέργειας στο διασυνδεδεμένο σύστημα (Πηγή ΣΕΗΕ)

Το 2006, ο Νόμος 3468/2006, ανέπτυξε ένα σαφές νομικό πλαίσιο σε σχέση με την προσαρμογή των ΑΠΕ στο ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας. Παρά την αύξηση της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος και την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, όπως απεικονίζεται στα Σχήματα 8 και 9, εξακολουθούν να υπάρχουν κάποια τεχνικά εμπόδια που εμποδίζουν τους ιδιώτες επενδυτές να υλοποιήσουν την αίτηση τους για την αδειοδότηση έργων ΑΠΕ . Τα εμπόδια αυτά αφορούν τα εξής:

- Η ανεπαρκής υποδομή στα συστήματα μεταφοράς και διανομής σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό, τον περιορισμό εξαιτίας της συμφόρησης, τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στα κέντρα φορτίου.
- Υψηλό κόστος διασύνδεσης των ΑΠΕ στο δίκτυο, λόγω του γεγονότος ότι οι περιοχές υψηλού δυναμικού ΑΠΕ βρίσκονται μακριά από το δίκτυο μεταφοράς. Το πρόβλημα αυτό είναι ζωτικής σημασίας για την αξιοποίηση των ΑΠΕ στην Ελλάδα.
- Στα αυτόνομα συστήματα μικρού και μεσαίου μεγέθους στα νησιά με υψηλό δυναμικό σε ΑΠΕ, τίθενται περιορισμοί λειτουργίας του δικτύου στην περαιτέρω ανάπτυξή τους. Σε νησιά, για τεχνικούς λόγους (σταθερότητα, ποιότητα της ισχύος και έλεγχος συχνότητας), η ΔΕΗ είναι υποχρεωμένη να θέσει τα αιολικά πάρκα εκτός

λειτουργίας για ορισμένες ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας, ειδικά σε ώρες χαμηλής ζήτησης.



Εικόνα 8. Παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ στην Ελλάδα 1995-2012 (Πηγή: Δημιουργήθηκε από τον συγγραφέα με βάση τα στοιχεία που προέρχονται από Eurostat Pocketbook, 2014).

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσιάζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που τις διαφοροποιούν από τις συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως η μεταβλητότητα, η χαμηλή προβλεψιμότητα, το μηδενικό οριακό κόστος, ισχυρή εξάρτηση από τη θέση εγκατάστασης και διαλείπουσα παραγωγή. Η μεταβλητότητα και χαμηλή προβλεψιμότητα είναι επίσης χαρακτηριστικά της ζήτησης λόγω απρόβλεπτων διακυμάνσεων ή διακοπών ρεύματος στις μονάδες παραγωγής, αντίστοιχα. Η ευρεία ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ωστόσο, θα αυξήσει τα φαινόμενα αυτά και θα ενισχύσει την ανάγκη για ευελιξία του συστήματος.

Οι οικονομικές επιπτώσεις της αυξημένης χρήσης των τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ιδίως όσον αφορά την ταχεία πρόοδο της τεχνολογίας διαλείπουσας ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, είναι ένα θέμα που



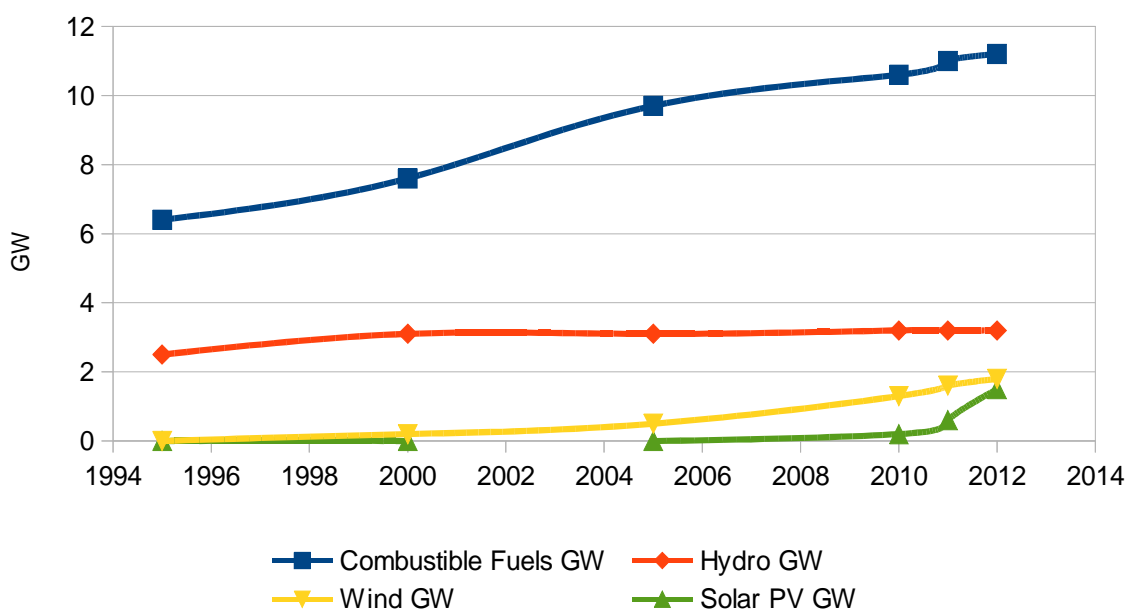
έχει εγείρει ανησυχία. Το ζήτημα της μετάβασης σε ενεργειακό σύστημα χαμηλών εκπομπών που είναι οικονομικά αποδοτικό είναι στην πολιτική ατζέντα της ΕΕ εδώ και πολλά χρόνια. Η καίρια συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο πλαίσιο αυτό είναι ευρέως αποδεκτή. Ωστόσο, ο ασυνεχής χαρακτήρας (διαλείπων) των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), ειδικά της φωτοβολταϊκής και αιολικής ενέργειας, εγείρει εύλογες αμφιβολίες ως προς το συνολικό κόστος του συστήματος αυτών των τεχνολογικών λύσεων και της καταλληλότητας συγκεκριμένων μηχανισμών σε σχέση με την κοινή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο λόγος είναι ότι το συνολικό κόστος του συστήματος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας υπερβαίνει κατά πολύ τους «το κόστος της τεχνολογίας», γεγονός οφείλεται σε τέσσερις παράγοντες:

- Ανάγκη για εφεδρείες
- Ανάγκες σε υποδομή αποθήκευσης
- Επεκτάσεις του δικτύου.

Το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξάνεται σημαντικά σε ολόκληρη την Ευρώπη, η οποία ενισχύει τον κίνδυνο των ανισορροπιών μεταξύ ωφέλιμου φορτίου και παραγωγικής ικανότητας. Επιπλέον, η σημαντική αύξηση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και τα συναφή προβλήματα έχουν ανησυχήσει τους πολίτες, τα μέσα ενημέρωσης και τους πολιτικούς.

Πέρα από ένα ορισμένο μερίδιο του ενεργειακού μίγματος, οι διαλείπουσες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επιβάλλουν την ασφάλεια ορισμένων πρόσθετων συστατικών του ενεργειακού συστήματος, όπως επεκτάσεις του δικτύου, τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης και εφεδρική ισχύ.



Εικόνα 9. Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ στην Ελλάδα 1995-2012 (Πηγή: Δημιουργήθηκε από τον συγγραφέα με βάση τα στοιχεία που προέρχονται από Eurostat Pocketbook, 2014).

## 2.6 Εξοικονόμηση ενέργειας

Η πρόοδος προς την ουσιαστική απελευθέρωση της ενέργειας περνά μέσα από τις ΑΠΕ και Τεχνολογίες Εξοικονόμησης Ενέργειας. Ενώ ο ρόλος που διαδραματίζουν τη στιγμή αυτή δεν είναι εντελώς καθοριστικός, είναι κοινή πεποίθηση ότι η μετάβαση σε μια πλήρως απελευθερωμένη αγορά ενέργειας είναι μια πολύ σημαντική ευκαιρία για τις ΑΠΕ ώστε να εισαχθούν ομαλά, τόσο τεχνολογικά όσο και οικονομικά στο νέο ενεργειακό σύστημα. Επιπλέον, η χρονική στιγμή είναι σωστή, διότι σε συνδυασμό με τις πολιτικές καινοτομίες, η τεχνολογία έχει ωριμάσει αρκετά για να προσφέρει ανταγωνιστικές λύσεις και στους δύο τομείς.

Ο ενεργειακός τομέας είναι σε μια περίοδο ανασυγκρότησης στις περισσότερες χώρες. Η μονοπωλιακή διάρθρωση της αγοράς αντικαθίσταται σταδιακά από μια ανταγωνιστική, η οποία οργανώνεται διαφορετικά στα διάφορα μέρη του κόσμου. Λόγω των διαδικασιών αναδιάρθρωσης και της απελευθέρωσης του τομέα της ενέργειας, η κοινωνική στήριξη για την ενέργεια και τις ενεργειακές τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης αντιμετωπίζει αυτή την αλλαγή. Η γενική συζήτηση και διαδεδομένη ανησυχία για το μέλλον της ενέργειας στον κόσμο, προκαλεί νέες ανάγκες.

Είναι αμφίβολο αν ΑΠΕ θα είναι σε θέση να ανταποκριθούν στην υψηλή ενεργειακή ζήτηση που αυξάνεται προοδευτικά. Στο σημείο αυτό η λογική των τεχνολογιών εξοικονόμησης εισέρχεται, οι οποίες δρουν συμπληρωματικά προς τις ανανεώσιμες πηγές. Ο κύριος ρόλος είναι να μειώσουν το ποσό της ενεργειακής ζήτησης, εξισορροπώντας έτσι την ανικανότητα, σήμερα, ακόμη και της πιο ώριμης ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, να ικανοποιήσει τις αυξημένες συνθήκες της ζήτησης. Επιπλέον, η εξοικονόμηση συμβάλλει στη μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας, δεδομένου ότι περιορίζει την περιττή ενέργεια επομένως μειώνει σε κάποιο βαθμό και την τελική ζήτηση.

Οι εφαρμογές τεχνολογιών εξοικονόμησης έχουν τεράστιες δυνατότητες για τη μείωση της χρησιμοποιούμενης ενέργειας. Η χρήση ενέργειας μπορεί επίσης να μειωθεί χρησιμοποιώντας μετατροπείς μεταβλητής ταχύτητας οδήγησης στα συστήματα κινητήρων, υψηλής απόδοσης κινητήρες, αποδοτικά ακροφύσια στο σύστημα πεπιεσμένου αέρα, ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας στα συστήματα με λέβητες κλπ. Ο μετατροπέας μεταβλητής ταχύτητας (Variable Speed Drive, VSD) είναι ένα ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος, που δημιουργεί μια πολυφασική έξοδο μεταβλητής συχνότητας, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον χειρισμό ενός πρότυπου κινητήρα επαγωγής εναλλασσόμενου ρεύματος, και να διαμορφώνει και να ελέγχει την ταχύτητα του κινητήρα, τη ροπή και την μηχανική ισχύ εξόδου. Αυτή η εφαρμογή προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, αν εφαρμοστεί σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές. Η απόβλητη θερμότητα είναι θερμότητα, η οποία παράγεται σε μια διαδικασία καύσης ή χημικής αντίδρασης, και στη συνέχεια, αποβάλλεται στο περιβάλλον, παρ' όλο που θα μπορούσε να επαναχρησιμοποιηθεί για κάποιο χρήσιμο και οικονομικό σκοπό. Η στρατηγική για την ανάκτηση αυτής της θερμότητας εξαρτάται εν μέρει από την θερμοκρασία

των αερίων αλλά και από τα οικονομικά που εμπλέκονται. Το economizer είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για να ανακτήσει την απόβλητα θερμότητα από τα καυσαέρια και αποτελείται από μια σειρά οριζόντιων σωληνοειδών στοιχείων και μπορεί να χαρακτηριστεί ως γυμνός σωλήνας και εκτεταμένος τύπος επιφανειών. Τα οφέλη της ανάκτησης θερμότητας των αποβλήτων μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: Άμεσα και έμμεσα οφέλη. Τα άμεσα οφέλη περιλαμβάνουν την ανάκτηση της απορριπτόμενης θερμότητας που έχει επίδραση στην αποτελεσματικότητα της διαδικασίας και τη μείωση της κατανάλωσης και του κόστους χρήσης. Τα έμμεσα οφέλη περιλαμβάνουν: μείωση της ρύπανσης, μείωση του μεγέθους του υλικού, όπως ανεμιστήρες, καπνοδόχοι, σωλήνες, καυστήρες, κλπ και μείωση της κατανάλωσης καυσίμου.

Οι διαρροές αντιπροσωπεύουν μια αιτία σπατάλης ενέργειας στα βιομηχανικά συστήματα συμπιεσμένου αέρα. Οι διαρροές αέρα είναι η μεγαλύτερη πηγή της απώλειας ενέργειας σε εγκαταστάσεις παραγωγής με συστήματα συμπιεσμένου αέρα. Οι διαρροές μπορεί να σπαταλήσουν 20-50% της παραγωγής ενός συμπιεστή. Η διακοπή των διαρροών μπορεί να είναι τόσο απλή όσο το σφίξιμο μιας σύνδεση ή τόσο περίπλοκη όσο η αντικατάσταση ελαττωματικού εξοπλισμού όπως σύνδεσμοι, τμήματα σωλήνα, αρθρώσεις, αποχετεύσεις, και παγίδες.

Οι διαρροές εμφανίζονται πιο συχνά σε αρθρώσεις, συνδέσεις, γωνίες,, συστήματα βαλβίδων, εύκαμπτους σωλήνες, φίλτρα, βαλβίδες ελέγχου, βαλβίδες ανακούφισης, επεκτάσεις, και σε εξοπλισμό που συνδέεται με τις γραμμές πεπιεσμένου αέρα. Μια διαρροή μπορεί προκαλέσει πτώση στην πίεση του συστήματος, γεγονός που επηρεάζει την παραγωγή. Επιπροσθέτως, με την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας, οι διαρροές μπορούν να κάνουν τα εργαλεία αέρα λιγότερο αποτελεσματικά και να επηρεάσουν αρνητικά την παραγωγή, να μειώσουν τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού, και να οδηγήσουν σε πρόσθετες απαιτήσεις συντήρησης και περισσότερες μη-προγραμματισμένες διακοπές λειτουργίας. Οι διαρροές προκαλούν αύξηση στο ενεργειακό κόστος και στη συντήρηση του συμπιεστή. Ένας από τους τρόπους για τη μείωση των διαρροών είναι η μείωση της ζητούμενης πίεσης αέρα του συστήματος. Όσο χαμηλότερη είναι η πίεση στην επιφάνεια μιας διαρροής, τόσο χαμηλότερη είναι η ταχύτητα ροής, με αποτέλεσμα μικρότερα ποσοστά διαρροής.

Η σταθεροποίηση της πίεσης της κεφαλής του συστήματος στο χαμηλότερο πρακτικό της εύρος θα ελαχιστοποιήσει το ποσοστό διαρροής για το σύστημα. Ένας άλλος τρόπος για τη μείωση των διαρροών είναι με τη δημιουργία ενός καλού προγράμματος προστασίας διαρροής, το οποίο θα περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία: ταυτοποίηση, παρακολούθηση, επισκευή, επαλήθευση και συμμετοχή των εργαζομένων. Όλες οι εγκαταστάσεις με συστήματα πεπιεσμένου αέρα πρέπει να καθιερώσουν ένα επιθετικό πρόγραμμα για αποφυγή των διαρροών. Μια ομάδα που θα ασχολείται με την λήψη αποφάσεων θα πρέπει να σχηματίζεται, με εκπροσώπους από την παραγωγή. Ένα πρόγραμμα πρόληψης διαρροών θα πρέπει να είναι μέρος ενός συνολικού προγράμματος που αποσκοπεί στην βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων πεπιεσμένου αέρα. Μόλις οι διαρροές βρεθούν και επισκευαστούν, το σύστημα θα πρέπει να επαναξιολογηθεί.

Σε πολλές περιπτώσεις, η πίεση του συστήματος μπορεί να μειωθεί, εξοικονομώντας έτσι ενέργεια. Τα περισσότερα συστήματα έχουν μία ή περισσότερες κρίσιμες εφαρμογές που καθορίζουν την ελάχιστη αποδεκτή πίεση στο σύστημα. Το σφύριγμα των διαρροών αέρα μπορεί μερικές φορές να ακουστεί ακόμα και σε εγκαταστάσεις παραγωγής υψηλού θορύβου. Πτώσεις πίεσης στα σημεία τελικής χρήσης στην τάξη του 40% δεν είναι ασυνήθιστες. Ωστόσο, μια κοινή λύση σε ένα τέτοιο πρόβλημα είναι η εγκατάσταση ενός μεγαλύτερου συμπιεστή αντί να πραγματοποιήσουμε έλεγχο του συστήματος και να μάθουμε ποιο είναι το πρόβλημα. Αυτό το διορθωτικό μέτρο είναι λαμβάνεται συνήθως μόνο αφότου ο μεγαλύτερος συμπιεστής επίσης αποτύχει να εξαλείψει το πρόβλημα. Η ενέργεια που σπαταλάται στα συστήματα πεπιεσμένου αέρα λόγω της κακής εγκατάστασης και συντήρησης μπορεί να αντιπροσωπεύουν έως και το 50% της ενέργειας που καταναλώνεται από τον συμπιεστή, και πιστεύεται ότι περίπου το ήμισυ του ποσού αυτού μπορεί να σωθεί με την άσκηση μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας.

Η ελαχιστοποίηση της πτώσης της πίεσης απαιτεί μια προσέγγιση σε επίπεδο συστήματος όσον αφορά το σχεδιασμό και τη συντήρηση. Τα εξαρτήματα επεξεργασίας αέρα θα πρέπει να επιλέγονται με τη χαμηλότερη δυνατή πτώση πίεσης στις καθορισμένες μέγιστες συνθήκες λειτουργίας και με την καλύτερη απόδοση. Θα πρέπει να ακολουθούνται οι συστάσεις των κατασκευαστών για τη συντήρηση, ιδιαίτερα στο φιλτράρισμα του αέρα και του εξοπλισμού ξήρανσης, που μπορεί να έχουν επιβλαβείς επιδράσεις όπως την διάβρωση των σωληνώσεων.

Τέλος, πρέπει να ελαχιστοποιείται η απόσταση που ταξιδεύει ο αέρας μέσω του συστήματος διανομής.

Τα συστήματα πεπιεσμένου αέρα που λειτουργούν με την χαμηλότερη λειτουργική πίεση που πληροί τις απαιτήσεις της παραγωγής θα οδηγήσει σε εξοικονόμηση ενέργειας. Για παράδειγμα, η μείωση των ρυθμίσεων πίεσης κατά 13 kPa θα μειώσει την κατανάλωση ενέργειας κατά 1%. Ένα άλλο παράδειγμα είναι όταν μειώνοντας την πίεση για περίπου (70-84 kPa), θα μπορούσε να σωθεί ένα 5-6% της ζήτησης ηλεκτρισμού από το σύστημα πεπιεσμένου αέρα.

## **Κεφάλαιο 3. Από τα Μικροδίκτυα στα Έξυπνα Δίκτυα**

### **3.1 Εισαγωγή**

Η διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας έχει αλλάξει τον τρόπο λειτουργίας του και κάνει επιτακτική τη λύση στο πρόβλημα κάλυψης των αυξανόμενων αναγκών για ηλεκτρική ενέργεια στον βιομηχανικό και οικιακό τομέα. Το μοντέλο της ενεργειακής αγοράς έχει πλέον αλλάξει και προσαρμόζεται στα ολοένα μεταβαλλόμενα δεδομένα τόσο ρυθμιστικά όσο και τεχνικά. Η διασύνδεση των νέων πηγών ενέργειας δεν γίνεται κεντρικά αλλά διεσπαρμένα, από ανεξάρτητους παραγωγούς. Οι πηγές είναι ανανεώσιμες, είναι δηλαδή διαλείπουσες και άρα δύσκολα προβλέψιμες, αυξάνοντας την αβεβαιότητα στο δίκτυο. Η αποκέντρωση της παραγωγής δημιουργεί ένα νέο μοντέλο δικτύου που ονομάζεται Μικροδίκτυο. Το Μικροδίκτυο παίζει καθοριστικό ρόλο προς τη δημιουργία των Έξυπνων δικτύων που, όπως αναφέρθηκε στο εισαγωγικό Κεφάλαιο αναμένεται να αλλάξουν ριζικά το μέλλον των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μικροδίκτυα είναι υβριδικά συστήματα, καθώς ενσωματώνουν πολλές ανανεώσιμες και μη πηγές παραγωγής ενέργειας. Ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή των πιο κοινών διατάξεων των μικροδικτύων.

### **3.2 Χαρακτηριστικά Μικροδικτύων**

Το μικροδίκτυο ή στην Αγγλική Microgrid, λήφθηκε ως έννοια με στόχο την απομονωμένη και αυτόνομη λειτουργία. Πρόκειται για τη συνδυασμένη λειτουργία ενός συνόλου γεννητριών με στόχο την κάλυψη ενός φορτίου της τάξης των μερικών kW έως 2MW, οπότε μπορεί να καλύψει τις ανάγκες μιας κατοικίας αλλά και μιας βιοτεχνίας ή ενός κτηρίου γραφείων. Καθώς πρόκειται για αυτόνομο σύστημα, περιλαμβάνει και συσκευές αποθήκευσης. Τα μικροδίκτυα μπορούν να συνδέονται στο δίκτυα αλλά μόνο για να λαμβάνουν ενέργεια σε περιπτώσεις ανάγκης και να εγχέουν την πλεονάζουσα ενέργεια σε περίπτωση που δεν μπορεί να την καταναλώσει το φορτίο.

Βασικό χαρακτηριστικό των μικροδικτύων είναι ο συντονισμένος έλεγχος ώστε να μην επιβαρύνουν το δίκτυο. Επιπλέον, μπορούν να λειτουργούν σε διττή λειτουργία, δηλαδή να συνδέονται και να αποσυνδέονται από το δίκτυο ανάλογα με τις ανάγκες τους, βάση των σημάτων που λαμβάνουν από το σύστημα ελέγχου τους, και παράλληλα να συνεχίζουν τη λειτουργία τους αδιάλειπτα. Σημαντικό είναι να αναφέρουμε εδώ, ότι τα μικροδίκτυα δεν χρειάζονται να λαμβάνουν σήματα από το σύστημα ελέγχου του κεντρικού δικτύου και έτσι δεν το επιβαρύνουν.

Αυτή η δυνατότητα βεβαίως απαιτεί εξελιγμένες υποδομές προστασίας, ελέγχου και τηλεπικοινωνιών, προκειμένου να είναι σε θέση να απομονώσουν το μικροδίκτυο και να παράσχουν σταθερή, αυτόνομη λειτουργία. Η διαρκής όμως πρόοδος στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και ελεγκτών των πηγών διεσπαρμένης παραγωγής συμβάλλει ώστε τέτοια λειτουργία να γίνεται ολοένα και περισσότερο εύκολο να επιτευχθεί τόσο τεχνικά όσο και οικονομικά.

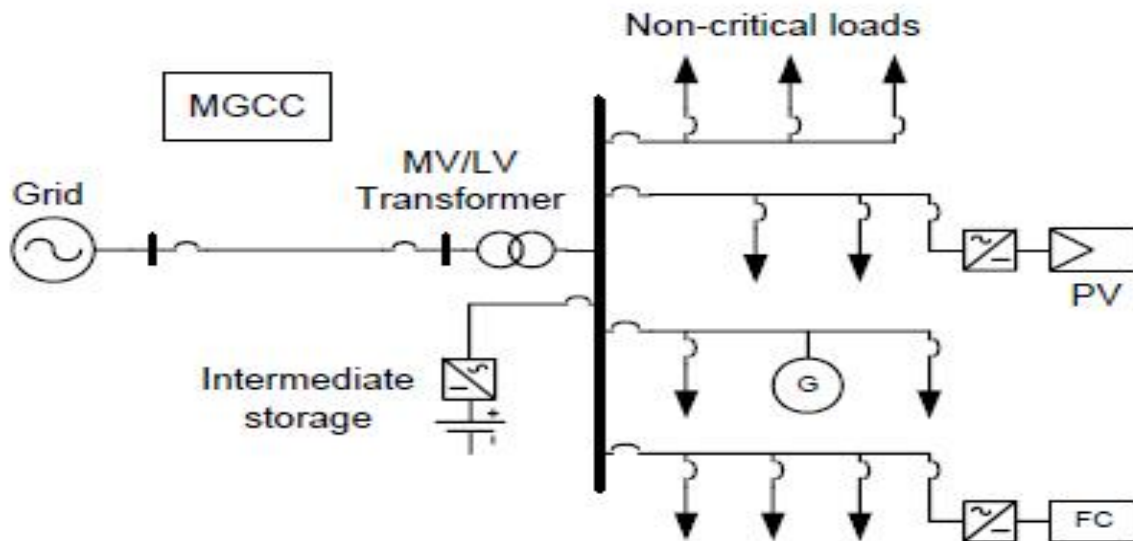
Οι πηγές ενέργειας μπορεί να είναι:

- Ανεμογεννήτριες
- Φωτοβολταϊκά
- Κυψέλες καυσίμου
- Βιομάζα
- Γεννήτριες ντίζελ
- Γεννήτριες φυσικού αερίου
- Συμπαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ζεστού νερού χρήσης
- Γεωθερμία
- Ηλιοθερμία

Τα συνδεδεμένα φορτία μπορεί να είναι κρίσιμα, ή μη κρίσιμα. Τα κρίσιμα φορτία απαιτούν αξιόπιστη πηγή ενέργειας και αυστηρές προδιαγραφές ποιότητας ισχύος. Τα φορτία αυτά συνήθως κατέχουν τις *microsources* επειδή απαιτούν συνεχή παροχή ενεργειακού εφοδιασμού. Τα μη κρίσιμα φορτία μπορεί να απορριφθούν κατά τη διάρκεια συνθηκών έκτακτης ανάγκης και όταν απαιτείται, όπως ορίζεται από τις πολιτικές λειτουργίας του μικροδικτύου.



Η ενδιάμεση συσκευή αποθήκευσης ενέργειας αποτελείται από inverter – interfaced συστοιχία μπαταριών, supercapacitors ή σφονδύλους. Η συσκευή αποθήκευσης στο μικροδίκτυο είναι ανάλογη με την στρεφόμενη εφεδρεία των μεγάλων γεννητριών στο συμβατικό δίκτυο. Εξασφαλίζει την ισορροπία μεταξύ της ενέργειας παραγωγής και κατανάλωσης, ιδίως κατά τη διάρκεια της απότομης αλλαγής στο φορτίο ή στην παραγωγή.



Εικόνα 10. Σχηματικό διάγραμμα μικροδικτύου.

Το μικροδίκτυο στην Εικόνα 10 έχει μια ειδική συσκευή αποθήκευσης στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο. Μια άλλη μέθοδος ενσωμάτωσης της αποθήκευσης ενέργειας στο μικροδίκτυο είναι η εγκατάσταση συστοιχιών συσσωρευτών στις DC συνδέσεις των μετατροπέων της των πηγών.

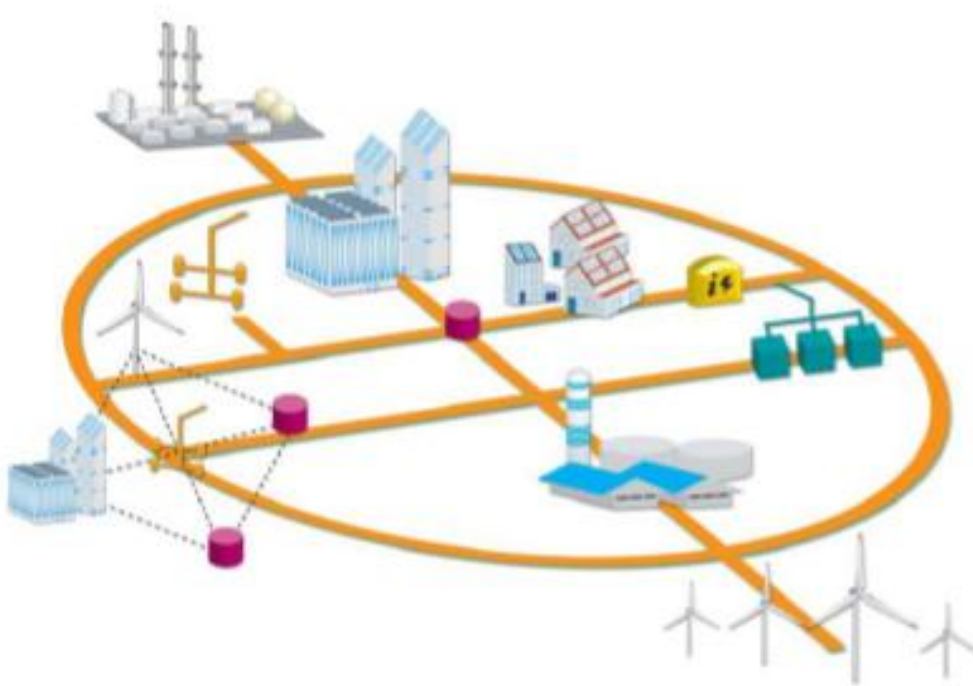
Οι μονάδες αποθήκευσης μπορεί να είναι:

- Μπαταρίες (ηλεκτρικοί συσσωρευτές) μολύβδου οξέως βαθιάς εκφόρτισης.
- Αποθήκευση ενέργειας με πεπιεσμένο αέρα ( Compressed Air Energy Storage, CAES). Η συμπίεση του αέρα γίνεται με κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Στη συνέχεια, ο πεπιεσμένος αέρας κινεί στρόβιλο και παράγει εκ νέου ηλεκτρική ενέργεια.

- Σφόνδυλοι (flywheels). Πρόκειται για διατάξεις όπου μέσω ενός κινητήρα- γεννήτριας μπορεί να γίνει αποθήκευση με την μορφή κινητικής ενέργειας σε μια στρεφόμενη μάζα.
- Υπεραγώγιμες διατάξεις. Εφαρμογές με διατάξεις που χρησιμοποιούν υγρό ήλιο είναι ήδη σε εμπορική εκμετάλλευση ενώ επίσης διατάξεις υγρού αζώτου αναμένονται στο άμεσο μέλλον.
- Αντλησιοταμίευση. Η ενέργεια που παράγεται από αιολικά κυρίως πάρκα και υβριδικά συστήματα σε νησιά, αξιοποιείται για την άντληση και αποταμίευση νερού σε υψηλότερη στάθμη. Στη συνέχεια το νερό αυτό μπορεί να απελευθερωθεί και μέσω υδροστροβίλου να παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Ένα μικροδίκτυο μπορεί να θεωρηθεί ως μια οντότητα που ελέγχεται από το ενεργειακό σύστημα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεμονωμένα φορτία, μια μικρή πηγή ενέργειας είτε ως δευτερεύουσα δραστηριότητα, που λειτουργεί ως υποστήριξη δικτύου. Ως προς τον καταναλωτή, το μικροδίκτυο μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του για παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, παρόμοια με τα παραδοσιακά δίκτυα διανομής μέσης τάσης, αλλά και ενισχύει την τοπική αξιοπιστία, τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και βελτιώνει τη ποιότητα ισχύος.

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του μικροδικτύου είναι ότι ενώ υπό κανονικές συνθήκες συνδέεται με την κανονική λειτουργία του δικτύου, μπορεί να τοποθετηθεί αυτόματα σε λειτουργία σε μεμονωμένες περιπτώσεις. Επομένως, ένα μικροδίκτυο με τα κατάλληλα οικονομικά κίνητρα μπορεί να προσφέρει και βοηθητικές υπηρεσίες στο δίκτυο καθώς διαθέτει την υποδομή των συστημάτων ελέγχου.



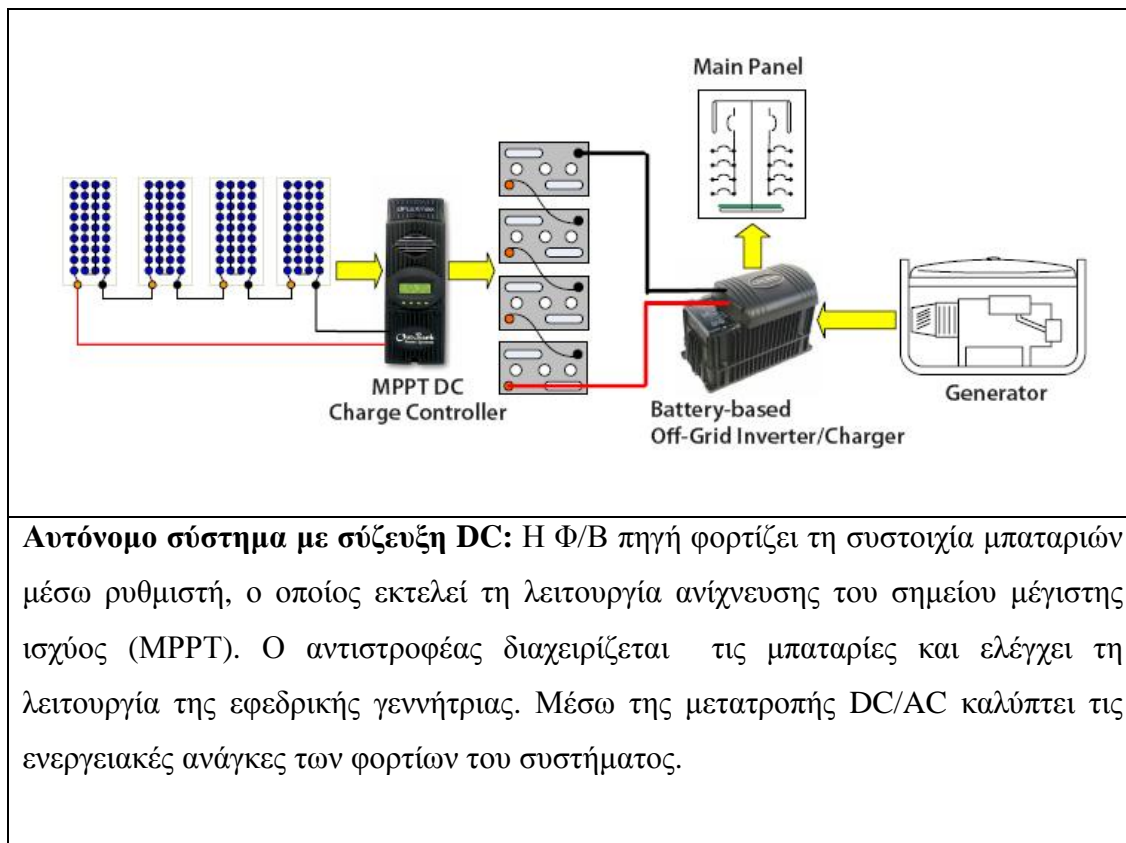
Εικόνα 11. Ένα τυπικό μικροδίκτυο μεγάλης έκτασης

### **3.3 Διατάξεις Μικροδικτύων**

Στο υβριδικό σύστημα του μικροδικτύου ενσωματώνονται διάφορες μονάδες που αξιοποιούν ανανεώσιμες πηγές, όπως φωτοβολταϊκοί συλλέκτες, ανεμογεννήτριες κ.λπ. Συνήθως εγκαθίσταται ως εφεδρεία γεννήτρια diesel. Παλαιότερα αποτελούσε κοινή πρακτική η σύζευξη των επιμέρους συστημάτων στην DC πλευρά του συστήματος. Στη διαμόρφωση με DC σύζευξη, τα Φ/Β ή/και η ανεμογεννήτρια φορτίζουν τις μπαταρίες μέσω κατάλληλων ρυθμιστών. Στη συνέχεια η αποθηκευμένη ενέργεια των μπαταριών αντλείται για την άμεση τροφοδότηση φορτίων DC ή, μέσω αντιστροφών, την κάλυψη των AC καταναλώσεων.

Η σύζευξη AC σε συστήματα τροφοδοσίας για δίκτυα απομακρυσμένων περιοχών αποτελεί την τεχνολογία του μέλλοντος, εφόσον παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα. Η διάταξη των μικροδικτύων με σύζευξη στην πλευρά AC περιέχει τα εξής στοιχεία:

- Απλό αντιστροφέα (inverter) δικτύου χωρίς μπαταρίες που μετατρέπει το DC ρεύμα που παράγεται από τις ανανεώσιμες πηγές σε AC
- Έναν αντιστροφέα μπαταριών που διαμορφώνει το AC δίκτυο και αποτελεί κεντρικό μέρος του συστήματος. Ο εν λόγω αντιστροφέας διαχειρίζεται την φόρτιση και εκφόρτιση των μπαταριών.
- Η ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές κατευθύνεται προς τις μπαταρίες μέσω δύο διαδοχικών μετατροπών DC/ AC ( στον αντιστροφέα της πηγής) και AC/DC( στον κεντρικό αντιστροφέα).



Τα βασικά πλεονεκτήματα του μικροδικτύου AC είναι η επεκτασιμότητα και η ευκολία στη διαμόρφωση λόγω της χρήσης τυποποιημένου εξοπλισμού. Κάθε επιμέρους σύστημα (πηγές, φορτία, μπαταρίες) συνδέεται σε ένα δίκτυο AC. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την εφαρμογή καθιερωμένων προτύπων για τη διασύνδεση των διατάξεων σε δίκτυα AC χαμηλής τάσης. Η

επέκταση του συστήματος όταν οι ενεργειακές ανάγκες αυξηθούν γίνεται εύκολα, σαν να εγκαθίσταται και να συνδέεται ένα νέο σύστημα στο δίκτυο. Η εκτίμηση των μελλοντικών ενεργειακών αναγκών είναι δύσκολη υπόθεση (ειδικά σε μεγάλα συστήματα) και συχνά οδηγεί σε υπέρ- ή υπό- διαστασιολόγηση. Κάθε πηγή συνδέεται στο δίκτυο AC και με αυτόν τον τρόπο διαμορφώνεται ένας μικρός σταθμός παραγωγής που επεκτείνεται εύκολα ανάλογα με τις ανάγκες.

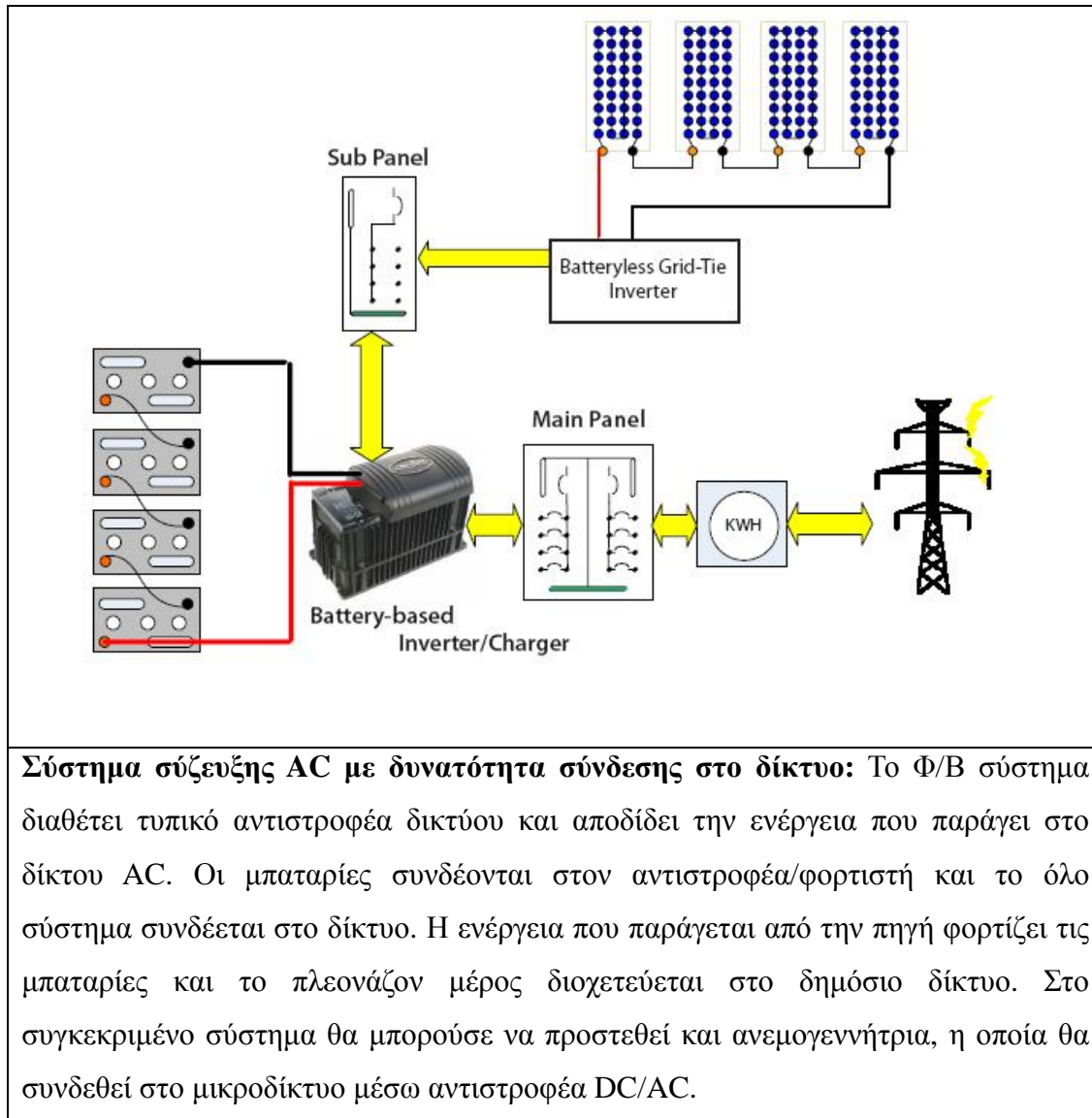
Επιπλέον, τα μικροδίκτυα έχουν τη δυνατότητα διασύνδεσης και λειτουργίας βάσει κοινών παραμέτρων. Έτσι, πολλά μικρά συστήματα μπορούν να συνδυαστούν απλά, με σύνδεση στην AC πλευρά. Το γεγονός αυτό διευκολύνει την διαμόρφωση μεγαλύτερων συστημάτων, για παράδειγμα σε επίπεδο κοινότητας, ενώ παράλληλα ενισχύει την αξιοπιστία εξασφαλίζοντας σε μεγαλύτερο βαθμό την κάλυψη των φορτίων.

Τα μικροδίκτυα AC έχουν την δυνατότητα της σύνδεσης με το δημόσιο δίκτυο, οποιαδήποτε στιγμή. Αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα, ιδιαίτερα σε περιοχές που το δίκτυο επεκτείνεται γρήγορα. Ακόμα όμως και σε περίπτωση παράλληλης με το δίκτυο λειτουργίας, το μικροδίκτυο θα συνεχίσει να τροφοδοτεί τα φορτία όταν η παροχή από το δημόσιο δίκτυο διακοπεί.

Το μόνο μειονέκτημα των μικροδικτύων AC είναι η λίγο μικρότερη απόδοση, σε σύγκριση με τα δίκτυα DC σύζευξης, λόγω των περισσότερων μετατροπών από DC σε AC και αντίστροφα. Αυτό μπορεί να επηρεάσει περισσότερο συστήματα στα οποία η κατανάλωση και η παραγωγή συμβαίνουν σε διαφορετικούς χρόνους, οπότε και μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας αποθηκεύεται στις μπαταρίες.

Τεχνικά, η μεγαλύτερη πρόκληση σε ένα μικροδίκτυο AC είναι ο συντονισμός των επιμέρους συστημάτων και ιδιαίτερα των αντιστροφικών μπαταριών αφού αυτοί συνήθως διαμορφώνουν το δίκτυο AC. Η διαδικασία έχει ως εξής: Ο αντιστροφέας μπαταριών σχηματίζει το δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος, ρυθμίζοντας την τάση και τη συχνότητα στην πλευρά AC. Τα φορτία και τα συστήματα παραγωγής ενέργειας συνδέονται απευθείας στο δίκτυο αυτό. Εάν ανιχνευθεί πλεόνασμα ενέργειας λόγω λειτουργίας των μονάδων παραγωγής, ο αντιστροφέας

μπαταριών λαμβάνει ενέργεια από το δίκτυο και φορτίζει τις μπαταρίες. Σε περίπτωση που οι πηγές δεν καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες του φορτίου, ο κεντρικός αντιστροφέας αντλεί ενέργεια από τις μπαταρίες.



Εάν σε κάποιο σύστημα λειτουργούν περισσότεροι του ενός κεντρικοί αντιστροφέες μπαταριών, αυτοί θα πρέπει να έχουν ακριβώς την ίδια συχνότητα και φάση, μοιράζοντας ισότιμα τις διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτισης. Αυτό συνήθως πραγματοποιείται με την επικοινωνία των αντιστροφέων σε λειτουργία master/slave. Η υλοποίηση αυτή επιτρέπει την

επεκτασιμότητα σε μικρά συστήματα αλλά δεν λειτουργεί καλά σε περίπτωση συνδυασμού πολλών επιμέρους μικροδικτύων αφού απαιτείται σημαντικός επανασχεδιασμός. Μία νέα μέθοδος που ονομάζεται drooping επιτρέπει την multi-master λειτουργία, αφού χρησιμοποιεί ως μέσω επικοινωνίας την τάση και συχνότητα του δικτύου.

Στο μικροδίκτυο AC μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί συμβατική γεννήτρια η οποία λειτουργεί εφεδρικά. Η απευθείας σύνδεση στο δίκτυο AC απαιτεί τη χρήση διατάξεων ελέγχου υψηλού κόστους. Έτσι, η γεννήτρια ελέγχεται από τον αντιστροφέα μπαταριών.

Η βασική λειτουργία των αντιστροφέων (ή μετατροπέων DC/AC) είναι ότι μετατρέπουν την DC ισχύ που παράγεται από την μία πηγή σε AC, χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά ισχύος. Μπορεί να είναι κατάλληλοι για διασύνδεση στο δημόσιο δίκτυο ή για αυτόνομη λειτουργία καθώς και για λειτουργία σε συνδυασμό με μέσα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες), πηγές ενέργειας και σύνδεση με το δίκτυο. Διαφοροποιούνται εκτός από την εφαρμογή, στην ονομαστική ισχύ, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και την απόδοση.

Στα μικροδίκτυα χρησιμοποιούνται μετατροπείς DC/AC οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν απομονωμένα φορτία μετατρέποντας την ισχύ που παράγεται από μια πηγή DC σε ισχύ με AC χαρακτηριστικά, τα οποία προσομοιάζουν την ενέργεια που θα λάμβανε το φορτίο αυτό αν ήταν συνδεδεμένο στο δίκτυο. Μετατροπείς χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, όπως σε περιπτώσεις όπου η ενέργεια από DC πηγές, όπως μπαταρίες, φωτοβολταϊκά και κυψέλες καυσίμου πρέπει να μετατραπεί έτσι ώστε να μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες φορτίων AC. Παράδειγμα τέτοιων εφαρμογών είναι τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου η φωτοβολταϊκή συστοιχία παράγει ρεύμα DC υπό μία χαμηλή τάση DC (24 ή 48 V) και μέσω του μετατροπέα αυτά μετατρέπονται σε AC για την κάλυψη των φορτίων μίας κατοικίας που δεν έχει καμία σύνδεση με το δημόσιο δίκτυο.

Οι τρεις βασικές λειτουργίες που εκτελεί ένας αντιστροφέας είναι οι εξής:

- Μετατροπή του ρεύματος σε εναλλασσόμενο.
- Μετασχηματισμός του ρεύματος σε ημιτονοειδή κυματομορφή με συγκεκριμένη συχνότητα.

- Ενίσχυση της τάσης της DC πηγής με μετατροπέα DC/DC.

Με βάση τις ανωτέρω λειτουργίες, καθορίζονται τα επιμέρους στοιχεία του αντιστροφέα και ως εκ τούτου προσδιορίζεται η απόδοση και οι απώλειες. Αντί του DC/DC μετατροπέα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετασχηματιστής αλλά αυξάνει τις απώλειες. Άλλο στοιχείο που πρέπει να ενσωματωθεί στην έξοδο του αντιστροφέα είναι το φίλτρο που θα αποκόψει τις ανώτερες αρμονικές συνιστώσες που προκύπτουν από τη λειτουργία των διακοπτικών στοιχείων, ώστε να λάβουμε στην έξοδο όσο το δυνατόν πιο καθαρό ημίτονο.

Οι υψηλότερες μέγιστες αποδόσεις επιτυγχάνονται στους αντιστροφείς που δεν περιλαμβάνουν στην διάταξή τους μετασχηματιστή, με μέση μέγιστη απόδοση εμπορικών αντιστροφέων της τάξεως του 96,5%. Η ευρωπαϊκή απόδοση είναι μία μέτρηση που έχει καθιερωθεί από τα ευρωπαϊκά πρότυπα ώστε να δώσει μία εκτίμηση της απόδοσης του αντιστροφέα σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Η ανάγκη καθιέρωσης ενός τέτοιου δείκτη, δημιουργήθηκε καθώς η απόδοση του αντιστροφέα μεταβάλλεται με την μεταβολή των συνθηκών ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Η ευρωπαϊκή απόδοση ορίζεται ως:

$$n_{\text{euro}} = 0.03 \cdot n_5 + 0.06 \cdot n_{10} + 0.13 \cdot n_{20} + 0.1 \cdot n_{30} + 0.48 \cdot n_{50} + 0.2 \cdot n_{100}$$

Τις υψηλότερες ευρωπαϊκές αποδόσεις έχουν πάλι οι αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή. (~90%).

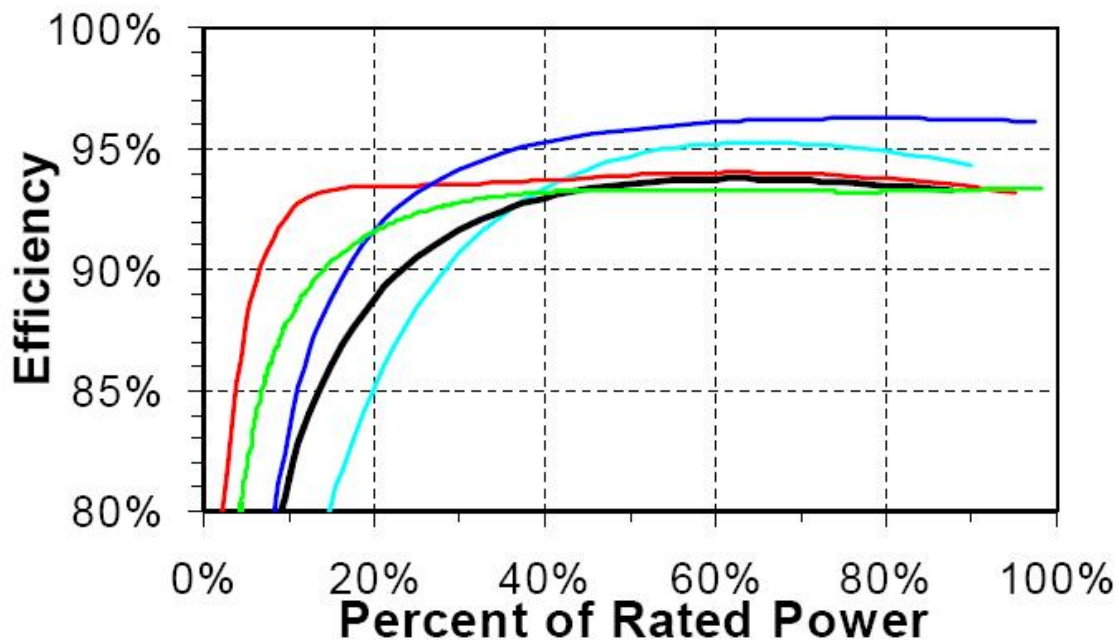
Διάφορες εφαρμογές των διατάξεων αντιστροφέων DC/AC υπάρχουν σήμερα, όπως:

- Έλεγχος ταχύτητας ηλεκτρικών μηχανών AC
- Αντιστάθμιση αέργου ισχύος σε δίκτυα (SVC-Static Var Compansator ) ή ως ενεργά φίλτρα σε συστήματα μεταφοράς ισχύος (FACTS-Flexible AC Transmission Systems)
- Έλεγχος τάσης εξόδου σε αιολικά συστήματα
- Έλεγχος θερμοκρασίας με επαγωγή
- Γενικά σε συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
- Διατάξεις Αδιάκοπης Παροχής Ισχύος (UPS-Uninterruptible Power Supplies)



Οι κύριες κατηγορίες αντιστροφών σε σχέση με την πηγή που θεωρείται στην είσοδο τους είναι οι εξής:

- Αντιστροφείς πηγής τάσεως (στην DC πλευρά του αντιστροφέα υπάρχει πηγή DC τάσης)
- Αντιστροφείς πηγής ρεύματος (στην DC πλευρά του αντιστροφέα υπάρχει πηγή DC ρεύματος)



Εικόνα 12. Τυπικές αποδόσεις αντιστροφών ανάλογα με το επίπεδο ισχύος. (Πηγή: SMA)

Οι αντιστροφείς VSI είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος αντιστροφέα και βρίσκει εφαρμογή στις περισσότερες βιομηχανικές διατάξεις. Οι αντιστροφείς πηγής ρεύματος βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε μηχανές πολύ υψηλής ισχύος.

Σχετικά με την τοπολογία των αντιστροφών πηγής τάσεως, υπάρχουν διάφοροι τύποι ανάλογα με τον αριθμό και τη συνδεσμολογία των διακοπτικών στοιχείων που περιλαμβάνει η διάταξη του αντιστροφέα, μονοφασικοί αντιστροφείς ημιγέφυρας, μονοφασικοί

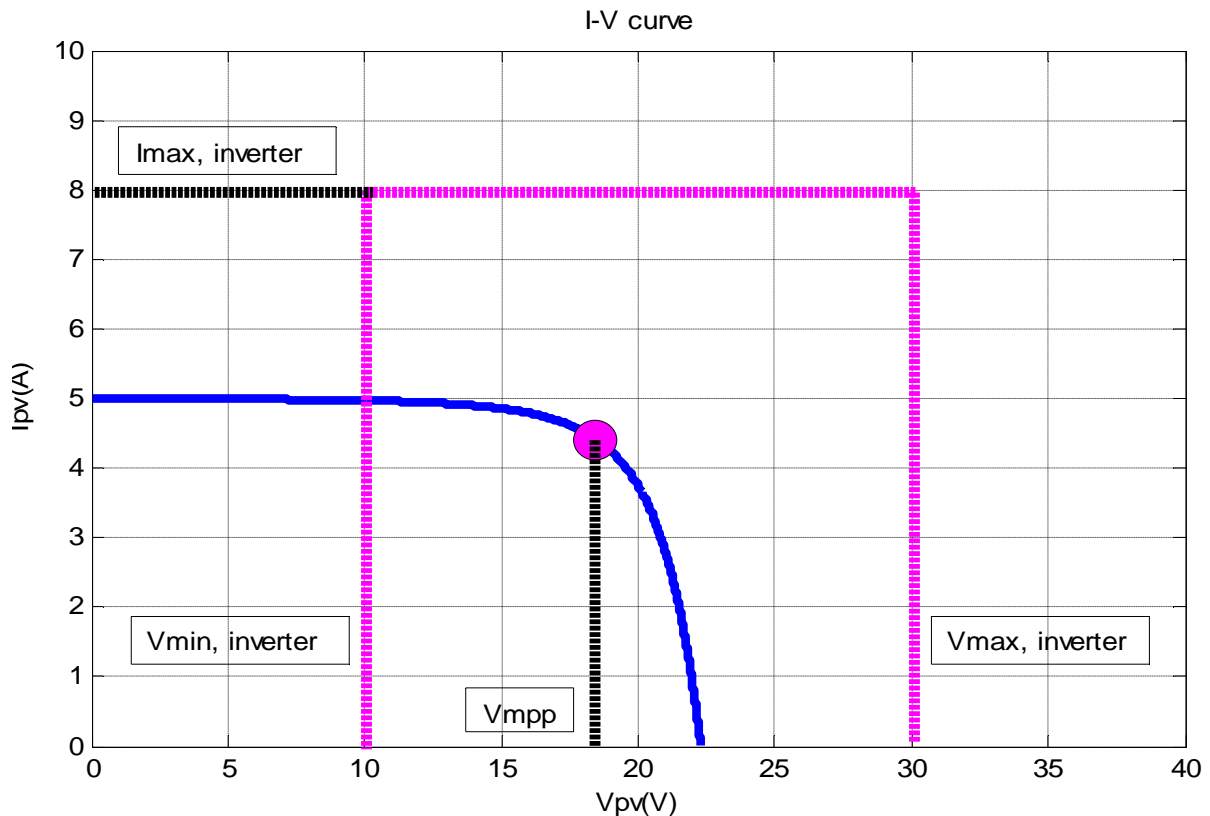
αντιστροφείς γέφυρας και τριφασικοί αντιστροφείς.

Από την Εικόνα 10 φαίνεται ότι η απόδοση του αντιστροφέα δεν διατηρείται σταθερή σε όλα τα επίπεδα ισχύος. Προκειμένου να έχουμε υψηλές αποδόσεις ο αντιστροφέας πρέπει να είναι κοντά στο πλήρες φορτίο. Όμως αυτό δεν είναι πάντα δυνατό. Μερικά συστήματα δεν φτάνουν ποτέ την ονομαστική τους ισχύ λόγω της ανεπαρκούς κλίσης, του προσανατολισμού ή της ακτινοβολίας στην περιοχή. Οι μέσες ετήσιες αποδόσεις των αντιστροφέων είναι συνήθως 6-8% χαμηλότερες από τις ονομαστικές. Η υποδιαστασιολόγηση μεταθέτει την μέγιστη απόδοση σε πιο χαμηλά επίπεδα ισχύος, στα οποία λειτουργεί ο αντιστροφέας τις περισσότερες ώρες του έτους.

Οι μετατροπείς χρησιμοποιούν την διαδικασία εντοπισμού του σημείου λειτουργίας μέγιστης ισχύος (MPPT) για να πάρουν τη μέγιστη δυνατή ισχύ από τη DC γεννήτρια. Για παράδειγμα, τα Φ/Β στοιχεία παρουσιάζουν μια σύνθετη σχέση μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας και της συνολικής αντίστασης, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα μία μη γραμμική καμπύλη απόδοσης εξόδου (Εικόνα 11). Ο σκοπός του συστήματος MPPT είναι να δοκιμάζει την έξοδο των στοιχείων και να καθορίσει το ζεύγος τάσης και ρεύματος που επιτυγχάνει τη μέγιστη ισχύ για κάθε δεδομένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Το εύρος των τάσεων όπου εκτελείται το MPPT (Maximum Power Point Tracking - Εύρεση Σημείου Μέγιστης Ισχύος) δίνεται ώστε να μπορεί να προσδιοριστεί η συμβατότητα με την τάση MPPT της DC γεννήτριας.

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι αλγορίθμων MPPT: perturb and observe, incremental conductance και constant voltage. Οι δύο πρώτες μέθοδοι που συχνά αναφέρονται ως μέθοδοι αναρρίχησης λόφου, βασίζονται στην καμπύλη της ισχύος συναρτήσει της τάσης η οποία έχει θετική κλίση αριστερά του σημείου μέγιστης ισχύος και αρνητική στη δεξιά πλευρά αυτού.

Στην Εικόνα 11 φαίνεται η καμπύλη I-V μιας Φ/Β πηγής και τα όρια τάσεως και ρεύματος του αντιστροφέα. Θα πρέπει η I-V στις κανονικές συνθήκες να παρουσιάζει το σημείο MPP κάπου στα μέσα του παραθύρου τάσης του αντιστροφέα, ώστε να υπάρχουν περιθώρια για τις μεταβολές της τάσης της πηγής λόγω θερμοκρασίας.



Εικόνα 13. Καμπύλη I-V Φ/Β πηγής και όρια τάσεως και ρεύματος αντιστροφέα. (Πηγή: electroepistimi.blogspot.gr)

### 3.4 Έλεγχος Μικροδικτύου

Τα συστατικά ενός μικροδικτύου ελέγχονται χρησιμοποιώντας μία αποκεντρωμένη διαδικασία λήψης αποφάσεων, προκειμένου να επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ ζήτησης και προσφοράς που προέρχεται από τις πηγές ενέργειας και το δίκτυο. Ο βαθμός αποκέντρωσης μπορεί να ποικίλει από ένα πλήρως αποκεντρωμένο έλεγχο ή χρησιμοποιώντας τον ιεραρχικό έλεγχο. Ο τελευταίος κάνει χρήση ενός κεντρικού ελεγκτή (κεντρικός ελεγκτής μικροδικτύου ή MGCC), που ελέγχει τις ενέργειες όλων των συνιστωσών του μικροδικτύου. Ο MGCC βελτιστοποιεί τη λειτουργία με τη μεγιστοποίηση της αξίας της μικροδίκτυο. Είναι επίσης σε θέση να εφαρμόσει διαχείριση της ζήτησης του φορτίου του μικροδικτύου.

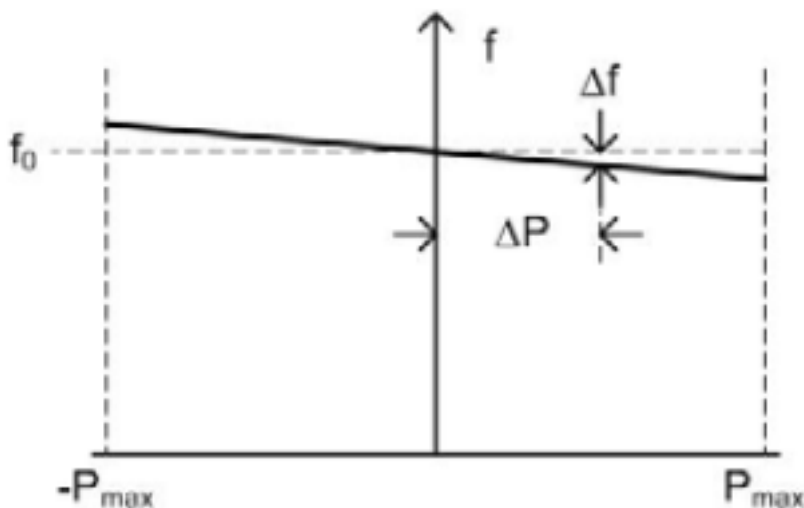
Όταν ένα μικροδίκτυο είναι διασυνδεδεμένο, συμπεριφέρεται ως ελεγχόμενο φορτίο ή πηγή. Δεν θα πρέπει ενεργά να ρυθμίζει την τάση του καθώς συνδέεται στο δίκτυο, και αυτό είναι

που ρυθμίζει την τάση. Επιπλέον, οι αρμονικές και το συνεχές ρεύμα που διοχετεύει στο δίκτυο θα πρέπει να είναι κάτω από τα απαιτούμενα επίπεδα. Κατά τη διάρκεια αυτού του τρόπου λειτουργίας, η κύρια λειτουργία του μικροδικτύου είναι να ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις του φορτίου και των συμβατικών υποχρεώσεων με το δίκτυο.

Το μικροδίκτυο πρέπει να αποσυνδέσετε όταν μια ανώμαλη κατάσταση εμφανίζεται στο δίκτυο. Μετατίθεται σε λειτουργία νησιδοποίησης, και το μικροδίκτυο έρχεται αντιμέτωπο με τα ακόλουθα θέματα:

### 3.4.1 Διαχείριση τάσης και συχνότητας

Η τάση και η συχνότητα καθορίζονται από το δίκτυο όταν το μικροδίκτυο είναι διασυνδεδεμένο. Όταν το μικροδίκτυο είναι αυτόνομο, μια ή περισσότερες πρωτογενείς πηγές ενέργειας θα πρέπει να αποτελούν το δίκτυο και να ρυθμίζουν την τάση και τη συχνότητα, διαφορετικά, το μικροδίκτυο θα καταρρεύσει. Τόσο η τάση όσο και η συχνότητα θα πρέπει να ρυθμίζονται μέσα στα αποδεκτά όρια. Εάν η συχνότητα έχει πέσει σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα, κάποια φορτία μπορεί να απορριφθούν για να επιταχύνουν την ανάκαμψη της προς την ονομαστική τιμή.



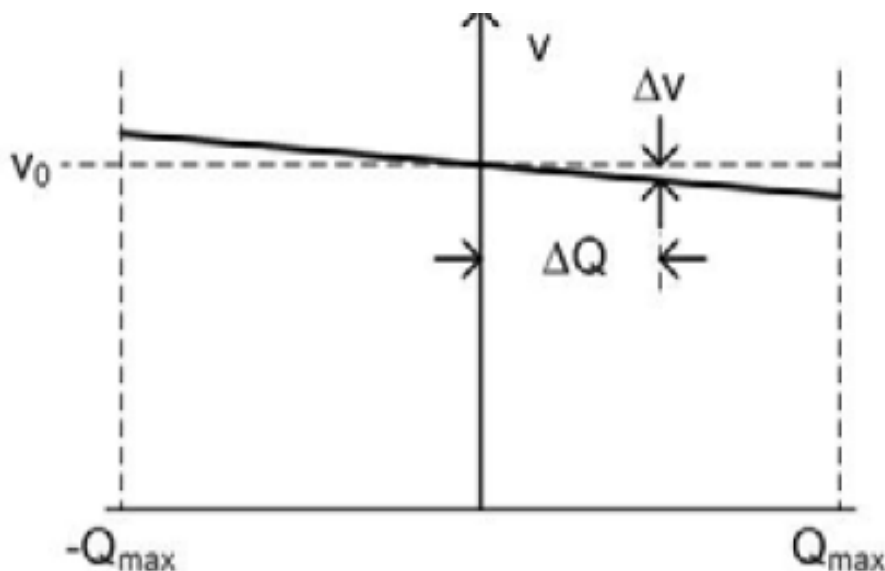
Εικόνα 14. Απόρριψη φορτίων (ρύθμιση ενεργού ισχύος) για τον έλεγχο της συχνότητας του μικροδικτύου.

### 3.4.2 Ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης

Αν το μικροδίκτυο εξάγει ή εισάγει ρεύμα προς το δίκτυο πριν από την αποσύνδεση, τότε δευτερεύουσες ενέργειες ελέγχου θα πρέπει να εφαρμοστούν για την εξισορρόπηση της παραγωγής και της κατανάλωσης στην αυτόνομη λειτουργία. Εάν το συνδεδεμένο φορτίο υπερβαίνει τη διαθέσιμη παραγωγή, θα πρέπει να εφαρμοστούν μέτρα διαχείρισης της ζήτησης. Επίσης, θα πρέπει να υπάρχει επαρκής ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας προκειμένου να εξασφαλίσει την αρχική ισορροπία μετά από μια απότομη αλλαγή στο φορτίο ή στην παραγωγή.

### 3.4.3 Ποιότητα Ισχύος

Το μικροδίκτυο πρέπει να διατηρήσει μία αποδεκτή ποιότητα ισχύος σε αυτόνομη λειτουργία. Θα πρέπει να υπάρχει μια επαρκής παροχή έργου ισχύος για τον περιορισμό της βύθισης τάσης. Η συσκευή αποθήκευσης ενέργειας θα πρέπει να είναι ικανή να αντιδρά γρήγορα στις αποκλίσεις της συχνότητας και της τάσης και την έγχυση ή απορρόφηση μεγάλων ποσοτήτων ισχύος. Τέλος, το μικροδίκτυο πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει τις αρμονικές που απαιτούνται από μη γραμμικά φορτία.



Εικόνα 15. Έλεγχος βυθίσεων τάσης (ρύθμιση αέργου ισχύος) του μικροδικτύου.

### **3.4.4 Θέματα Μικροπηγών ενέργειας**

Μια σημαντική διαφορά μεταξύ των πρωτογενών πηγών ενέργειας στο δίκτυο και των πηγών του μικροδικτύου είναι ότι οι τελευταίες δεν έχουν αδρανεία. Το μικροδίκτυο δεν έχει τις στρεφόμενες εφεδρείες που ενυπάρχουν στο συμβατικό δίκτυο. Οι περισσότερες *microsources* (π.χ. κυψέλες καυσίμου) έχουν αργή απόκριση ή ράμπα χρόνου κατά την εφαρμογή του δευτεροβάθμιου ελέγχου τάσης και συχνότητας. Οι ενδιάμεσες μονάδες αποθήκευσης και οι πηγές του μικροδικτύου με συστοιχίες μπαταριών επομένως, αναμένεται να δώσουν τα οφέλη που θα μπορούσαν να εξαχθούν από τις εφεδρείες. Η διασύνδεση των ηλεκτρονικών ισχύος επέτρεψε σε αυτές τις συσκευές για να αποκρίνονται γρήγορα σε απότομα σήματα εντολών και αλλαγές στα επίπεδα της ροής ισχύος.

### **3.4.5 Επικοινωνία μεταξύ των εξαρτημάτων του μικροδικτύου**

Η διαθεσιμότητα της επικοινωνιακής υποδομής μεταξύ των εξαρτημάτων του μικροδικτύου είναι μια άλλη πτυχή που λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή της μεθόδου ελέγχου σε ένα αυτόνομο μικροδίκτυο. Το μικροδίκτυο πρέπει να έχει *plug and play* αρχιτεκτονική έτσι ώστε οι πηγές να βασιστούν σε τοπικά διαθέσιμες πληροφορίες για τον έλεγχο της παραγόμενης ενέργειας. Εάν απαιτείται η επικοινωνία μεταξύ των εξαρτημάτων (π.χ. αποστολή ονομαστικών τιμών μικροπηγών ή διαπραγμάτευση μεταξύ παραγόντων ελέγχου μέσω του MGCC), η προθεσμία εντός της επικοινωνίας δικτύου δεν πρέπει να παρουσιάζει προβλήματα. Οι μικροπηγές και οι συσκευές αποθήκευσης θα πρέπει να συνεργαστούν μεταξύ τους για να διατηρηθεί η ισορροπία και η ακεραιότητα του μικροδικτύου.

## **3.5 Ανανεώσιμες μικρο - πηγές ενέργειας**

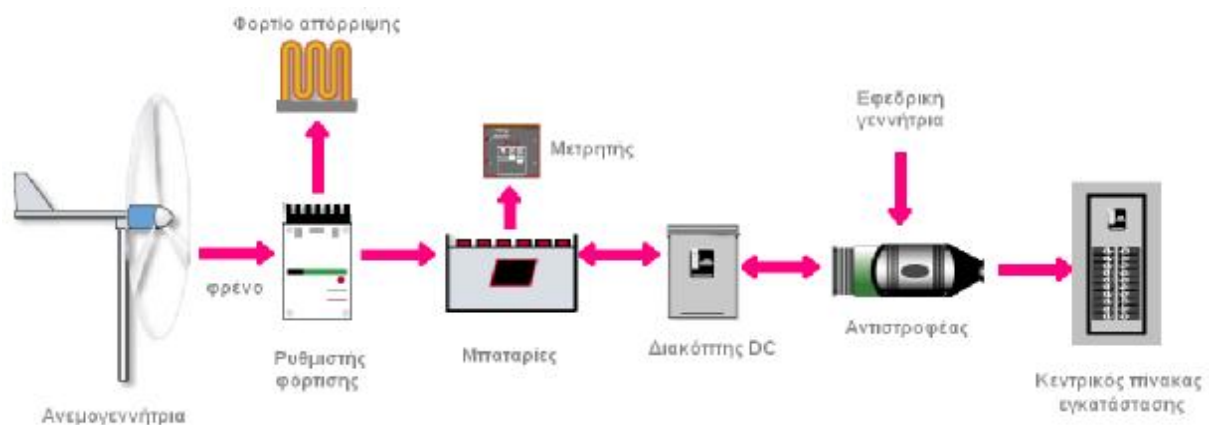
### **3.5.1 Μικρές Ανεμογεννήτριες**

Οι κύριες ανανεώσιμες μικρο-πηγές ενέργειας είναι οι μικρές ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Η ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Ονομαστική ισχύς: 400W => 50kW ( συνήθως 1-10 kW)
- Διάμετρος δρομέα: 1 => 15 m
- Ύψος: 5 => 30 m
- Σκοπός: κάλυψη ενεργειακών αναγκών καταναλωτών.
- 50%-90% μείωση στην κατανάλωση ενέργειας από το δίκτυο.

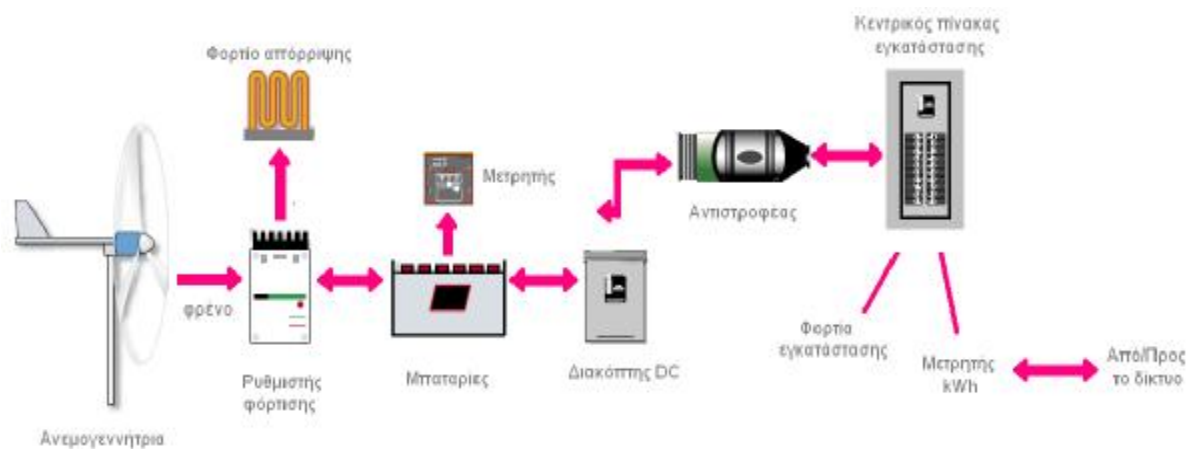
Σε μια κατοικία ή αγρόκτημα το φορτίο είναι δυνατόν να καλυφθεί από μια Α/Γ με τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Αλλά ακόμα και σε εφαρμογές όπου θα μπορούσε να εγκατασταθεί Α/Γ μεγαλύτερης ισχύος (από πλευράς κάλυψης φορτίου) η επιλογή μικρής Α/Γ μπορεί να είναι προτιμητέα. Για παράδειγμα, όταν το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο είναι αρκετά ασθενές ώστε να διαχειριστεί την ενέργεια που εισρέει από μια μεγάλη Α/Γ. Τέτοιες περιπτώσεις αφορούν κυρίως σε απομακρυσμένα μέρη του δικτύου με χαμηλή πυκνότητα φορτίου και μικρή κατανάλωση.



Εικόνα 16. Απλοποιημένο διάγραμμα αυτόνομου συστήματος με Α/Γ μικρής ισχύος και μπαταρίες.

Μια Α/Γ με ισχύ περίπου 3kW και διάμετρο δρομέα 5 ως 7 m , τοποθετημένη σε ύψος 15 με 25m, μπορεί να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών ενός τυπικού σπιτιού στην Ευρώπη. Ελάχιστος διαθέσιμος χώρος απαιτείται για την εγκατάσταση τέτοιου εξοπλισμού, ενώ θα πρέπει να αποφευχθεί η τοποθέτηση της Α/Γ σε απάνεμα μέρη, όπου η ταχύτητα του ανέμου περιορίζεται από παρακείμενα δέντρα ή κτήρια.

Οι περισσότεροι ιδιοκτήτες σπιτιών έχουν δίπλα τους γείτονες οι οποίοι μπορεί να ενοχληθούν από τον θόρυβο ή την εικόνα της Α/Γ. Από την Small Wind Industry Implementation Strategy – SWIIS Consortium προτείνεται η εγκατάσταση Α/Γ ισχύος ως 3kW σε οικοπέδα έκτασης τουλάχιστον 2000 m<sup>2</sup> ενώ για Α/Γ μεγαλύτερης ισχύος η έκταση του οικοπέδου θα πρέπει να ξεπερνά τα 4000 m<sup>2</sup>. Η πρόταση αυτή έχει ως στόχο να περιορίσει και όχι να εξαλείψει την πιθανότητα ενστάσεων από τους γείτονες των ιδιοκτητών τέτοιων συστημάτων. Επιπλέον θα πρέπει να ακολουθούνται περιορισμοί που τίθενται από εγχώριους κανονισμούς όσον αφορά τη χωροθέτηση των Α/Γ.



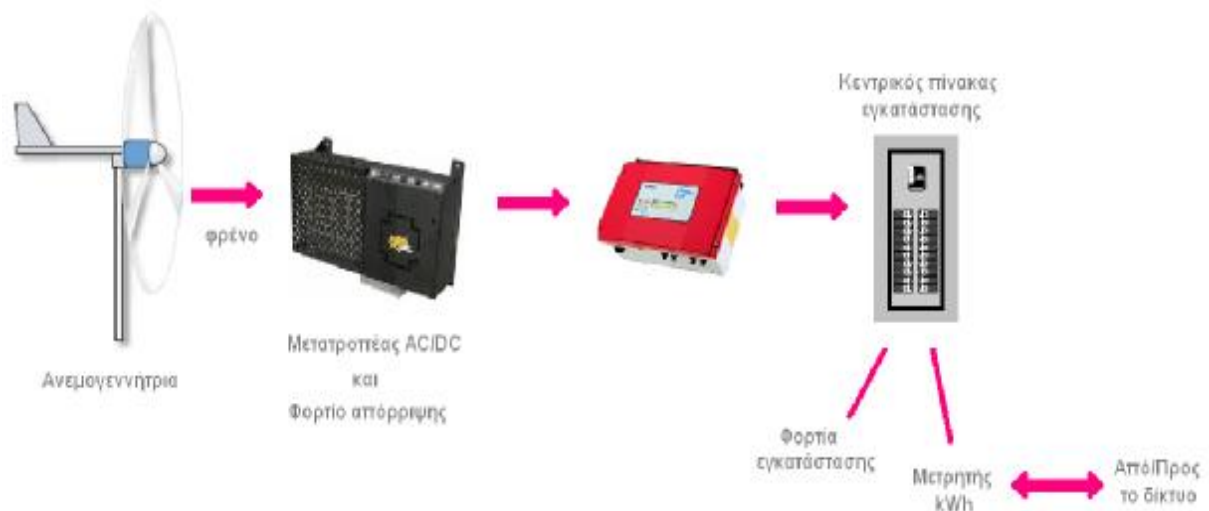
Εικόνα 17. Απλοποιημένο διάγραμμα διασυνδεδεμένου συστήματος με Α/Γ μικρής ισχύος και μπαταρίες.

Σε μία τυπική οικιακή εφαρμογή η Α/Γ εξυπηρετεί το φορτίο του σπιτιού παράλληλα με το δίκτυο. Αν η ταχύτητα ανέμου είναι χαμηλότερη του ορίου λειτουργίας (3-5 m/s) η Α/Γ δεν θα παράγει ενέργεια και έτσι η εγκατάσταση θα τροφοδοτείται από το δίκτυο. Όταν η ταχύτητα του ανέμου αυξηθεί, θα παρουσιαστεί αύξηση και στην ενέργεια που αποδίδει η Α/Γ και ανάλογα θα μειωθεί η κατανάλωση από το δίκτυο. Σε περίπτωση που η ενέργεια από τον άνεμο ξεπερνά την απαιτούμενη από το φορτίο του σπιτιού, η πλεονάζουσα ενέργεια αποδίδεται στο δίκτυο. Το αν θα πωληθεί στο δίκτυο, επιφέροντας κέρδος στον ιδιοκτήτη ή θα αποδοθεί χωρίς συγκεκριμένες απολαβές, εξαρτάται από τη συμφωνία που έχει γίνει με τον διαχειριστή του δικτύου.

Όλες οι παραπάνω διαδικασίες γίνονται αυτόματα σε ένα τυπικό οικιακό σύστημα που δεν



περιλαμβάνει μπαταρίες.



Εικόνα 18. Απλοποιημένο διάγραμμα διασυνδεδεμένου συστήματος με Α/Γ μικρής ισχύος χωρίς μπαταρίες.

Μικρά αιολικά συστήματα σε απομακρυσμένες περιοχές λειτουργούν με διαφορετικό τρόπο. Η αυτονομία από το δίκτυο εγκαθιστώντας σύστημα παραγωγής που βασίζεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η σωστή λύση αν ισχύουν τα ακόλουθα:

- Η τοποθεσία που βρίσκεται η εγκατάσταση έχει επαρκές δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Δεν υπάρχει υφιστάμενη σύνδεση με το δίκτυο ή για να υλοποιηθεί απαιτείται επέκταση γραμμών που επιφέρει μεγάλο κόστος.
- Υπάρχει επιθυμία για ενεργειακή ανεξαρτησία από τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας.
- Υπάρχει επιθυμία και οικονομική δυνατότητα να επενδυθούν χρήματα σε ανανεώσιμες πηγές για περιβαλλοντικούς λόγους.
- Υπάρχει μελλοντικός σχεδιασμός για επέκταση του δικτύου και αγορά από το δίκτυο της πλεονάζουσας ενέργειας.

Τα μικρά συστήματα αιολικής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνεργασία με το δίκτυο ή σε αυτόνομες εφαρμογές. Στα διασυνδεδεμένα συστήματα, η ενέργεια από την Α/Γ καλύπτει το φορτίο (φωτισμός διάφορες συσκευές) όταν είναι επαρκής. Αν είναι λιγότερη από

την απαιτούμενη, το δίκτυο καλύπτει τη διαφορά ενώ στην αντίθετη περίπτωση το πλεόνασμα πωλείται στο δίκτυο. Η παραπάνω διαδικασία εξασφαλίζει ότι όλη η ενέργεια που παράγεται χρησιμοποιείται με το έναν ή τον άλλο τρόπο προς όφελος του ιδιοκτήτη.

Τα αυτόνομα συστήματα μπορεί να είναι κατάλληλα για σπίτια, αγροκτήματα, ή ακόμα και ολόκληρες κοινότητες. Είναι απαραίτητο να περιλαμβάνουν διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας ή πρόσβαση σε άλλη μορφή ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε περιόδους μειωμένου αιολικού δυναμικού. Οι μπαταρίες αποθήκευσης είναι η καρδιά ενός αυτόνομου συστήματος. Αποθηκεύουν την πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια για χρήση σε περιόδους που η ανανεώσιμη πηγή δεν είναι διαθέσιμη.

Σε ένα τέτοιο σύστημα όμως υπάρχουν πολλές απώλειες. Τα αυτόνομα συστήματα είναι σύνθετα και οι πολλές διαδοχικές μετατροπές ενέργειας αυξάνουν τις απώλειες και μειώνουν τη συνολική απόδοση του συστήματος. Μια άλλη κατάσταση όπου υπάρχει απώλεια ενέργειας είναι σε περιόδους με αυξημένο άνεμο όπου η παραγόμενη ενέργεια ξεπερνά την απαιτούμενη για την κάλυψη του φορτίου και την φόρτιση των μπαταριών. Τότε μέρος της παραγόμενης ενέργειας δεν χρησιμοποιείται.

Η ικανότητα αποθήκευσης των μπαταριών πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορεί να καλύπτει τις ανάγκες κατά τη διάρκεια περιόδων μειωμένης παραγωγής. Συνήθως η συστοιχία των μπαταριών σχεδιάζεται για 1 ως 3 μέρες λειτουργίας χωρίς άνεμο.

Τα συστατικά μέρη των συστημάτων αιολικής ενέργειας, για όλους τους τύπους που αναφέρθηκαν περιγράφονται στη συνέχεια:

Ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος → Η Α/Γ είναι η διάταξη του συστήματος που έχει την ευθύνη της παραγωγής ενέργειας μετατρέποντας την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Οι περισσότερες Α/Γ που θα συναντήσει κανείς στην αγορά είναι τύπου upwind, δηλαδή τα πτερύγια είναι στην πλευρά του πύργου που αντικρίζει πρώτη τον άνεμο. Ο δρομέας συνδέεται στην γεννήτρια η οποία είναι συνήθως μονίμων μαγνητών. Οι Α/Γ μικρής ισχύος έχουν τρία πτερύγια συμβιβάζοντας έτσι την απόδοση με την ισορροπία του δρομέα. Προστατεύονται από τον δυνατό άνεμο με αλλαγή της κλίσης του δρομέα προς τα επάνω ή

στο πλάι, ή ακόμα και με ρύθμιση της κλίσης των πτερυγίων. Το ρεύμα που παράγεται είναι ακαθόριστης συχνότητας και πλάτους, αφού αυτά μεταβάλλονται με την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα. Το ρεύμα αυτό μετατρέπεται σε συνεχές (DC), με τη βοήθεια ενός ανορθωτή. Ο ανορθωτής περιλαμβάνεται συνήθως στην διάταξη της Α/Γ. Έτσι το συνεχές ρεύμα μπορεί να φορτίσει μπαταρίες.

Πύργος (Tower) → Ο πύργος είναι ο μεταλλικός στύλος στην κορυφή του οποίου τοποθετείται ο δρομέας της Α/Γ (Σχήμα 4). Έχει συνήθως μεγαλύτερο κόστος από την ίδια την Α/Γ. Ο ρόλος του είναι να τοποθετήσει την Α/Γ σε τέτοιο ύψος ώστε ο άνεμος να έχει ομοιόμορφη κατεύθυνση και τη μεγαλύτερη δυνατή ταχύτητα. Μόνο έτσι θα επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση της Α/Γ. Η Α/Γ θα πρέπει να τοποθετείται τουλάχιστον 9 μέτρα ψηλότερα από το ψηλότερο αντικείμενο που βρίσκεται σε ακτίνα 150 μέτρων από αυτήν. Ο πύργος κατασκευάζεται ειδικά για το βάρος και την πλευρική ώθηση της κάθε Α/Γ. Επιπλέον θα πρέπει να είναι κατάλληλα γειωμένος ώστε να παρέχεται προστασία έναντι βλαβών από κεραυνοπληξία.

Ρυθμιστής φόρτισης → Ο ρυθμιστής φόρτισης έχει σαν πρωταρχική του λειτουργία, την προστασία των μπαταριών από υπερφόρτιση. Παρακολουθεί την κατάσταση των μπαταριών και όταν αντιληφθεί ότι αυτές είναι πλήρως φορτισμένες, στέλνει την πλεονάζουσα ενέργεια στο φορτίο απόρριψης (dump load). Πολλοί ρυθμιστές φόρτισης είναι ενσωματωμένοι στον ανορθωτή AC/DC. Προστασία από υπερένταση χρειάζεται μεταξύ των μπαταριών και του ρυθμιστή ή του φορτίου απόρριψης. Στα συστήματα που δεν υπάρχουν μπαταρίες, δεν είναι αναγκαία η εγκατάσταση ρυθμιστή φόρτισης. Θα πρέπει όμως να υπάρχει μία λειτουργία ελέγχου σε περίπτωση που αποσυνδεθεί το δίκτυο. Ηλεκτρονικός έλεγχος πριν τον αντιστροφέα μπορεί να χρειάζεται ώστε να υπάρχει ρύθμιση της τάσεως εισόδου σε αυτόν. Μεταξύ της Α/Γ και του ρυθμιστή ή του ελεγκτή θα πρέπει να τοποθετηθεί μια διάταξη για το σταμάτημα της Α/Γ (φρένο) σε περιπτώσεις όπου αυτό απαιτείται (συντήρηση ή έκτακτη ανάγκη). Οι διατάξεις αυτές είτε βραχυκυκλώνουν τις τρεις φάσεις της Α/Γ, ή εκτρέπουν τον δρομέα εκτός του πεδίου του ανέμου ώστε να επιβραδύνουν τη διάταξη. Ο δεύτερος τρόπος είναι γενικά πιο αξιόπιστος και αποδοτικός.

Φορτίο Απόρριψης ή Εκτροπής → Οι Α/Γ με διάμετρο δρομέα μικρότερη του 1 μέτρου, δεν

διαθέτουν συνήθως σύστημα ελέγχου της ισχύος τους. Τέτοιου τύπου Α/Γ χρησιμοποιούνται επί το πλείστον για την φόρτιση μπαταριών. Όταν υπάρχουν άνεμοι υψηλών ταχυτήτων οι μπαταρίες μπορεί να φτάσουν το σημείο υπερφόρτισης και να αρχίσουν να χάνουν υγρά. Για να περιοριστεί αυτός ο κίνδυνος, τοποθετείται ένα φορτίο απόρριψης η τροφοδότηση του οποίου ενεργοποιείται από την υψηλή τάση της συστοιχίας των μπαταριών. Η λειτουργία αυτή ελέγχεται από τον ρυθμιστή φόρτισης, ο οποίος θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα εκτροπής της πλεονάζουσας ενέργειας. Το φορτίο απόρριψης είναι συνήθως μια αντίσταση η οποία στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση αέρα ή νερού. Θα πρέπει να επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να αντέξει την πλήρη ισχύ της Α/Γ του συστήματος.

Συστοιχία μπαταριών → Η Α/Γ παράγει ενέργεια όποτε η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει την ταχύτητα λειτουργίας ( ~ 4m/s). Αν το σύστημα είναι απομονωμένο, θα χρειαστούν μπαταρίες, ώστε η ενέργεια να αποθηκεύεται για χρήση όταν η Α/Γ δεν παράγει. Σε τέτοιες περιπτώσεις οι μπαταρίες θα πρέπει να έχουν την ικανότητα κάλυψης του φορτίου για 1 ως 3 μέρες χωρίς άνεμο. Σε διασυνδεδεμένα συστήματα οι μπαταρίες μπορεί να υπάρχουν για χρήση σε περιπτώσεις απώλειας του δικτύου, ώστε τα σημαντικά φορτία να παραμείνουν σε λειτουργία. Σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως είναι τα αιολικά ή τα Φ/Β συστήματα, οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται είναι βαθειάς εκφόρτισης. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέως είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος. Μολύβδου οξέως μπαταρίες μέσα σε υγρό ηλεκτρολύτη αποτελούν την πιο οικονομική λύση. Απαιτούν όμως συντήρηση με προσθήκη νερού, αφού χάνουν υγρό κατά τη φόρτιση. Επίσης πρέπει ανά τακτά χρονικά διαστήματα να υπόκεινται σε εξισωτική φόρτιση. Αυτού του είδους η φόρτιση θα φροντίσει να φορτιστούν εξίσου, όλες οι μπαταρίες που συνδέονται σε σειρά στη συστοιχία. Οι μπαταρίες τύπου AGM δεν χρειάζονται συντήρηση αλλά είναι πιο ακριβές. Είναι κατάλληλες για διασυνδεδεμένα συστήματα όπου η χρήση των μπαταριών είναι λιγότερο συχνή, αφού οι AGM παρουσιάζουν λιγότερο από 2% αυτό - εκφόρτιση σε περιόδους αποθήκευσης (όταν δηλαδή δεν φορτίζονται και εκφορτίζονται συνεχώς). Επίσης δεν απαιτούν συντήρηση με προσθήκη νερού και δεν χρειάζονται εξισωτική φόρτιση. Οι μπαταρίες τύπου sealed gel-cell, έχουν τα πλεονεκτήματα των AGM αλλά η φόρτισή τους είναι πιο αργή. Προτιμούνται σε μη θερμαινόμενους χώρους λόγω της αντοχής τους στις χαμηλές θερμοκρασίες.

Αντιστροφέας (inverter) → Το συνεχές ρεύμα που παράγει η Α/Γ δεν μπορεί να αποδοθεί απευθείας στο δίκτυο. Για τη σύνδεση στο δίκτυο πρέπει πρώτα να γίνει μετατροπή σε AC, μέσω ενός αντιστροφέα (inverter), ο οποίος αποτελεί ξεχωριστή διάταξη από το σύστημα της Α/Γ. Ένα παράδειγμα αντιστροφέα που είναι κατάλληλος για Α/Γ μικρής ισχύος, είναι ο Windy Boy από την εταιρεία SMA. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, η Α/Γ παράγει ένα εναλλασσόμενο ρεύμα με ακαθόριστη συχνότητα και υπό μη σταθερή τάση. Για να γίνει η μετατροπή αυτού του ρεύματος στην κατάλληλη μορφή θα πρέπει πρώτα να ανορθωθεί, να μετατραπεί δηλαδή σε συνεχές, και στη συνέχεια να περάσει μέσα από τον αντιστροφέα (inverter) - εδώ ο Windy Boy της SMA - ο οποίος ξαναμετατρέπει το ρεύμα σε εναλλασσόμενο, αυτή τη φορά όμως με συχνότητα 50 Hz, ενώ η τάση στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο θα διατηρείται στην τιμή που επιβάλλει το δίκτυο. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην τάση εισόδου του inverter, καθώς τέτοιες διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος είναι αρκετά ευαίσθητες στις υπερτάσεις. Μια υπέρταση, αν δεν υπάρχει η κατάλληλη προστασία πριν τον inverter, μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτη βλάβη. Κάτι τέτοιο είναι επιζήμιο, γιατί εκτός του ότι το σύστημα θα μείνει εκτός λειτουργίας για κάποιο διάστημα, οι εταιρείες δεν καλύπτουν τέτοιου είδους παράληψη μέσω της εγγύησης.

Μετρητές → Οι μετρητές σε ένα σύστημα αιολικής ενέργειας επιτρέπουν την μέτρηση της ενέργειας που παράγεται από την Α/Γ, της τάσης και του ρεύματος των μπαταριών καθώς και της ενέργειας που αποδίδεται στο δίκτυο ή καταναλώνεται από τα φορτία. Υπάρχουν διάφορα πολυόργανα διαθέσιμα στην αγορά, που εκτελούν τις παραπάνω λειτουργίες και μπορούν σε κάθε σημείο του συστήματος να μετρούν πολλά μεγέθη (π.χ. τάση, ρεύμα, συχνότητα, συντελεστή ισχύος, ενεργό και άεργο ισχύ για την AC πλευρά – τάση ρεύμα και ισχύ στην DC πλευρά). Επιπλέον τέτοιου είδους πολυόργανα δίνουν συνήθως τη δυνατότητα σύνδεση σε BUS και λήψη των μετρήσεων στον υπολογιστή. Η πιο απλή λύση βέβαια για την εμφάνιση των μετρούμενων μεγεθών είναι η εμφάνισή τους στις οθόνες των πολυοργάνων.

Διακόπτης απομόνωσης DC → Ένας διακόπτης για την απομόνωση των μπαταριών από τον αντιστροφέα θα πρέπει να είναι εγκατεστημένος, για τις περιπτώσεις που χρειάζεται η αποσύνδεση των μπαταριών για συντήρηση. Αυτός ο διακόπτης είναι κατάλληλος για DC δίκτυα και προστατεύει τα καλώδια μεταξύ μπαταριών και αντιστροφέα.

Διακόπτης AC → Το σύστημα αιολικής ενέργειας (έξοδος του αντιστροφέα) θα συνδεθεί στον κεντρικό πίνακα του σπιτιού, μέσω ενός αυτόματου διακόπτη όπως όλα τα υπόλοιπα κυκλώματα της εγκατάστασης. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα αποσύνδεσης του αντιστροφέα για συντήρηση, καθώς επίσης επιτυγχάνεται και προστασία.

Τα ζητήματα που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη από τον αγοραστή μιας Α/Γ είναι τα εξής:

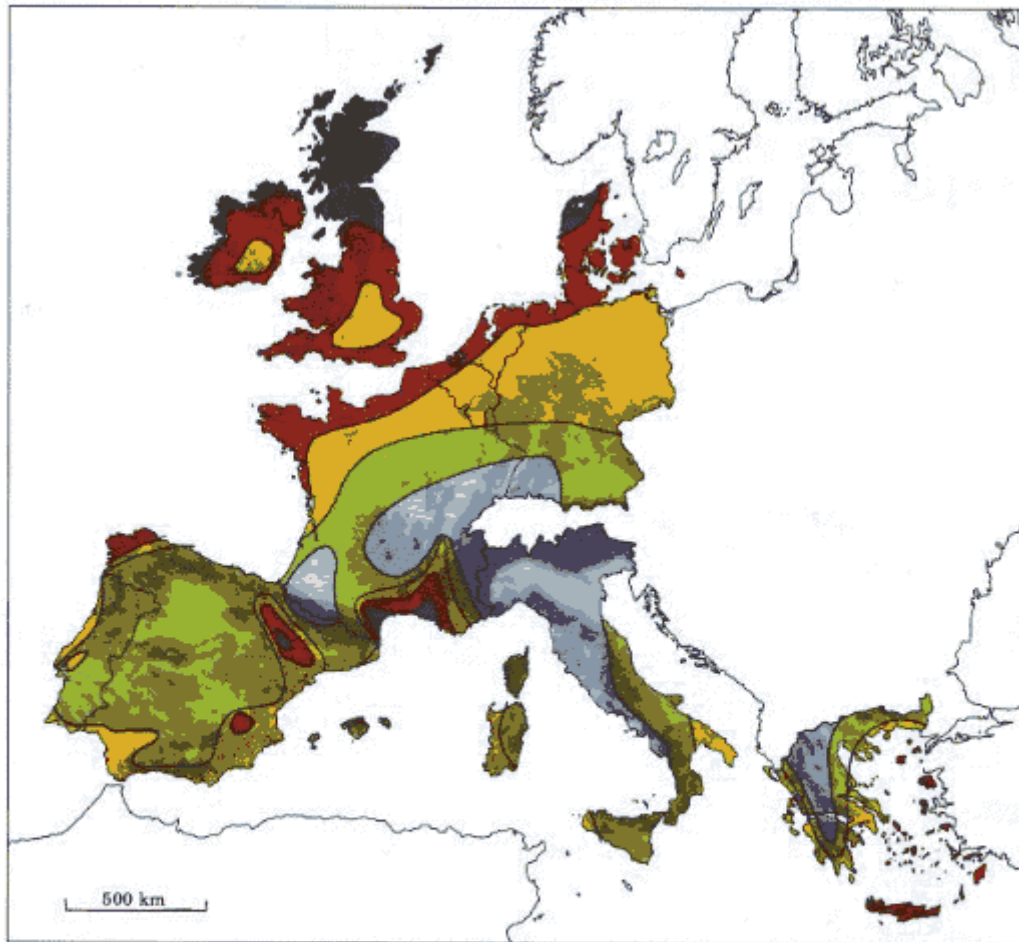
- Οφέλη σύνδεσης με το δίκτυο έναντι πλεονεκτημάτων αυτόνομης λειτουργίας.
- Νομικά, διοικητικά και περιβαλλοντικά εμπόδια που μπορεί να προκύψουν.
- Κόστος και απόδοση του συστήματος.
- Σχεδιασμός ώστε να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες όταν οι ανανεώσιμες πηγές δεν παράγουν ενέργεια.
- Δυνατότητα συνδυασμού διαφορετικών πηγών ενέργειας και εφεδρικών συστημάτων.
- Συντήρηση του συστήματος.

Τα νομικά ζητήματα και τα θέματα ασφαλείας που θα πρέπει να συμπεριληφθούν στον σχεδιασμό του συστήματος έχουν να κάνουν με διάφορους φορείς της κοινότητας που βρίσκεται η εγκατάσταση. Υπάρχει η πιθανότητα να ενθαρρύνεται η εγκατάσταση συστημάτων ΑΠΕ αλλά μπορεί να υπάρχουν και περιορισμοί που τίθενται για πληθώρα λόγων. Σε κάθε περίπτωση ο αγοραστής ενός τέτοιου συστήματος θα πρέπει να γνωρίζει όλα τα παραπάνω ζητήματα για να μην βρεθεί προ απρόοπτου.

Η καλή και ακριβής διαστασιολόγηση του συστήματος θα πρέπει να διασφαλίζει ότι το σύστημα μπορεί να καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της εγκατάστασης. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για αυτόνομα συστήματα.

Η ισχύς της Α/Γ που θα εγκατασταθεί εξαρτάται κυρίως από την ενέργεια που διατίθεται από τον άνεμο στην συγκεκριμένη περιοχή, την απόδοση της Α/Γ, την ενέργεια που αποδίδεται από άλλες πηγές (αν περιλαμβάνονται στο σύστημα) και την απαιτούμενη ενέργεια για την κάλυψη του φορτίου. Σε ένα σπίτι ή αγρόκτημα, συνήθως εγκαθίσταται μόνο μία Α/Γ η οποία επιλέγεται ώστε να καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες μερικώς ή εξ ολοκλήρου. Α/Γ με

ονομαστική ισχύ μεταξύ 1 kW -25 kW αποτελούν την πλειοψηφία σε τέτοιες εφαρμογές.



Wind resources <sup>1</sup> at 50 metres above ground level for five different topographic conditions									
Sheltered terrain <sup>2</sup>		Open plain <sup>3</sup>		At a sea coast <sup>4</sup>		Open sea <sup>5</sup>		Hills and ridges <sup>6</sup>	
$m s^{-1}$	$Wm^{-2}$	$m s^{-1}$	$Wm^{-2}$	$m s^{-1}$	$Wm^{-2}$	$m s^{-1}$	$Wm^{-2}$	$m s^{-1}$	$Wm^{-2}$
> 6.0	> 250	> 7.5	> 500	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0- 8.5	400- 700
< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0	< 400

Εικόνα 19. Αιολικό δυναμικό στην Ευρώπη

Η εκτίμηση της ονομαστικής ισχύος της Α/Γ είναι μια υπόθεση αρκετά δύσκολη σε σχέση με άλλες τεχνολογίες όπως τα Φ/Β συστήματα. Η ονομαστική ισχύ των Α/Γ δίνεται για μια συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου, η οποία όμως διαφέρει ανάλογα με τον κατασκευαστή. Επιπλέον η διαθέσιμη ισχύς στον άνεμο εξαρτάται από τον κύβο της ταχύτητας ανέμου και έτσι μικρές μεταβολές στην ταχύτητα προκαλούν μεγάλες μεταβολές στην ισχύ του ανέμου. Από την άλλη πλευρά μια αντίστοιχη μείωση στην ταχύτητα θα επιφέρει μεγάλη μείωση της παραγωγής ισχύος. Αυτό που θα πρέπει να κάνει ο αγοραστής Α/Γ είναι να εκτιμήσει την

παραγόμενη ενέργεια από την Α/Γ σε χρονικό διάστημα π.χ. ενός έτους, βάσει μιας αντιπροσωπευτικής τιμής ταχύτητας ανέμου στην περιοχή του. Η ενέργεια αυτή δίνεται σε kWh και είναι το μέγεθος που ενδιαφέρει τον ιδιοκτήτη του αιολικού συστήματος αφού μέσω αυτού εκτιμά αν μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές του ανάγκες. Επομένως τα βασικά κριτήρια για την επιλογή της Α/Γ είναι:

- Η ενέργεια (kWh) που πρέπει να παράγει η Α/Γ ώστε να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες της εγκατάστασης.
- Η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου στο ύψος του στροβίλου και στην τοποθεσία του συστήματος.
- Καμπύλες ή τιμές για τη μηνιαία ή ετήσια παραγωγή της Α/Γ ανάλογα με τη μέση ταχύτητα ανέμου.

Σημαντικό σημείο είναι η εγγύηση της Α/Γ. Τα πέντε χρόνια εγγυημένης λειτουργίας είναι καλή περίπτωση αλλά δεν αφορούν όλες τις μικρές Α/Γ της αγοράς, αφού υπάρχουν μηχανές και με 3ετή εγγύηση. Σε κάθε περίπτωση η διάρκεια της εγγύησης καταδεικνύει την εμπιστοσύνη του κατασκευαστή στο προϊόν του και αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό για τον αγοραστή.

Κάποιοι κατασκευαστές παρέχουν Α/Γ μόνο για φόρτιση μπαταριών με διάφορες τάσεις. Άλλοι παράγουν Α/Γ για συστήματα που συνδέονται στο δίκτυο μέσω αντιστροφέα DC/AC και διαθέτουν μπαταρίες. Άλλες Α/Γ μπορεί να διαθέτουν τον αντιστροφέα ενσωματωμένο στο σύστημά τους. Ο αγοραστής λοιπόν θα πρέπει να προσέξει ώστε να αγοράσει ένα σύστημα προσαρμοσμένο στις δικές του ανάγκες.

Επιπλέον αυτών θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το κόστος της Α/Γ αποτελεί το 50% του συνολικού κόστους του συστήματος στην καλύτερη περίπτωση. Έτσι θα πρέπει να συνυπολογιστούν οι δαπάνες για τις υπόλοιπες διατάξεις του συστήματος και το κόστος των εργασιών για την εγκατάσταση.

Η σύνδεση της Α/Γ στην ηλεκτρική εγκατάσταση του σπιτιού γίνεται απλά χωρίς να επιφέρει μεταβολές στην καλωδίωση ή τις συσκευές. Στις περισσότερες περιπτώσεις ένας δεύτερος



μετρητής τοποθετείται για να μετρά την πλεονάζουσα ενέργεια που αποδίδεται στο δίκτυο.



Σε γενικές γραμμές ένα σύστημα αιολικής ενέργειας χρειάζεται μια μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου τουλάχιστον 4 m/s στο ύψος του πύργου ώστε να μπορέσει να λειτουργήσει αποδοτικά. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να γίνει σύγκριση με το κόστος άλλων πηγών ενέργειας.

Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου	Αιολικό δυναμικό
Ως 4 m/s	Μη αποδοτικό
5 m/s	Ανεπαρκές
6 m/s	Μέτριο
7 m/s	Καλό
8 m/s	Άριστο

Σε ταχύτητες ανέμου κάτω των 4 m/s η διαθέσιμη ενέργεια στον άνεμο είναι πολύ μικρή (εξάρτηση της ισχύος από την ταχύτητα στον κύβο). Έτσι η ικανότητα των Α/Γ να λειτουργούν σε τόσο μικρές ταχύτητες ανέμου δεν επιφέρει σημαντική ενεργειακή

συνεισφορά.

Η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου στην τοποθεσία εγκατάστασης του συστήματος αιολικής ενέργειας για χρονικό διάστημα μηνών ή και έτους, είναι ο καλύτερος τρόπος για τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού. Η μέτρηση της ταχύτητας θα πρέπει να γίνεται στο ύψος του πύργου της Α/Γ.

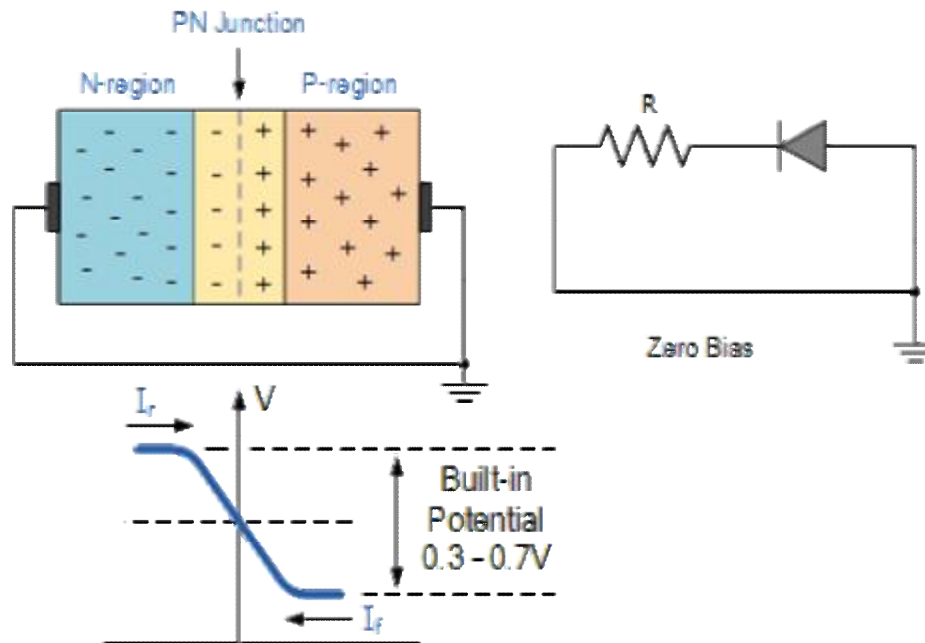
### **3.5.2 Φωτοβολταϊκά**

Η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας αποτελεί το κυριότερο σύστημα αξιοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάπτυξη αυτών των συστημάτων είναι μεγαλύτερη στις περιοχές όπου η πολιτική αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας είναι πιο ξεκάθαρη και τεκμηριωμένη. Υπάρχουν κάποια υλικά που μετατρέπουν τα πακέτα ενέργειας που μεταφέρονται από τα φωτόνια σε ηλεκτρική ενέργεια και ονομάζονται ημιαγωγοί. Τα διάφορα υλικά διακρίνονται με βάση τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους σε αγωγούς, ημιαγωγούς και μονωτές. Η βασική ιδιότητα ενός ημιαγωγού είναι ότι μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα.

Ένα από τα χαρακτηριστικά των ημιαγωγών είναι τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στην εξωτερική στοιβάδα σθένους του χημικού στοιχείου που τους αποτελεί. Το πυρίτιο αποτελεί τον πιο γνωστό ημιαγωγό ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Το πυρίτιο με ατομικό αριθμό 14 έχει 4 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα κατά συνέπεια έχει την τάση όταν υπάρχουν πολλά άτομα μαζί να διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε η εξωτερική του στοιβάδα να συμπληρώνεται με 8 ηλεκτρόνια. Η συμπλήρωση της εξωτερικής στοιβάδας με 8 ηλεκτρόνια είναι αυτή που προκαλεί τη δημιουργία της κρυσταλλικής δομής του πυριτίου. Όταν το πυρίτιο βρίσκεται σε κρυσταλλική μορφή αποκτά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά παραπλήσια με του μονωτή αφού δεν υπάρχουν ηλεκτρόνια για τη δημιουργία του ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του.

Οι ημιαγωγικές ιδιότητες του πυριτίου μπορούν να αποκτηθούν με τεχνητό τρόπο και συγκεκριμένα με την πρόσμιξη του με άλλα στοιχεία που έχουν πλεόνασμα είτε ενός ηλεκτρονίου είτε έλλειμα ενός ηλεκτρονίου στην εξωτερική τους στοιβάδα μετατρέποντας

τον κρύσταλλο ικανό να δεχτεί ηλεκτρικά φορτία. Όταν ο κρύσταλλος δέχεται θετικά φορτία μετατρέπεται σε ημιαγωγό τύπου p ενώ όταν δέχεται αρνητικά φορτία μετατρέπεται σε ημιαγωγό τύπου n.



Εικόνα 20. Λειτουργία ημιαγωγών p και n

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να διακριθούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες: τα φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου και στα φωτοβολταϊκά λεπτού υμένα. Το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο μπορεί να παραχθεί ως προϊόν τήξης του πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Η μέθοδος παραγωγής του μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι η μέθοδος Czochralski κατά την οποία τα άτομα του πυριτίου σχηματίζουν τέσσερις χημικούς δεσμούς με τα γειτονικά τους άτομα δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο μια τέλεια κρυσταλλική δομή.

Στο πολυκρυσταλλικό πυρίτιο η κρυσταλλική δομή του πυριτίου διατηρείται αλλά εμφανίζονται διαφορετικοί κρύσταλλοι πυριτίου. Οι ατέλειες της κατασκευής αποτελούν σημεία επανασύνδεσης των φωτοδιεγερμένων φορέων. Η κατασκευή του πολυκρυσταλλικού κυτάρου που χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά αποτελεί μια θερμική διεργασία μέσω της οποίας το πυρίτιο τήκεται και στερεοποιείται με τέτοιο τρόπο που τα κρύσταλλα να είναι προσανατολισμένα σε μια ορισμένη κατεύθυνση. Η διεργασία αυτή παράγει ορθογώνιες

ράβδους πολυκρυσταλλικού πυριτίου που στη συνέχεια κόβονται σε λεπτές λωρίδες προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά είναι φθηνότερα από τα μονοκρυσταλλικά αλλά παρουσιάζουν και μικρότερη απόδοση εξαιτίας του δημιουργούμενου φωτός που επιβαρύνει τους φορείς του πολυκρυσταλλικού πυριτίου οι οποίοι μπορεί να ανασυντίθενται στα όρια των κόκκων. Η απόδοση των πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με την κατάλληλη επεξεργασία του υλικού ώστε οι κόκκοι να είναι αρκετά μεγάλοι και να προσανατολιστούν σε τέτοια κατεύθυνση ώστε να επιτρέπουν την διείσδυση του φωτός βαθιά μέσα στον κόκκο.

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία με λεπτά υμένια η επεξεργασία του υλικού γίνεται με μεθόδους χαμηλών θερμοκρασιών μικρού κόστους. Το στρώμα του ημιαγώγιμου υλικού στερεώνεται σε ένα υπόστρωμα χαμηλού κόστους όπως το γυαλί ή το πλαστικό με λεπτές στρώσεις (thin films). Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται το κόστος παραγωγής δεδομένου ότι χρησιμοποιείται μικρότερη ποσότητα υλικού. Το υλικό που συνήθως χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά λεπτού υμενίου είναι το υδρογονωμένο άμορφο πυρίτιο.

Τα φωτοβολταϊκά που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη απόδοση είναι αυτά που κατασκευάζονται με πολλαπλά στρώματα υλικού. Και αυτός ο τύπος εντάσσεται στην κατηγορία φωτοβολταϊκών λεπτού υμένα. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πολλών στρωμάτων έχουν στο πρώτο στρώμα ανεκμετάλλευτα φωτόνια τα οποία κινούνται προς το δεύτερο στρώμα που αποτελείται από διαφορετικό υλικό από το πρώτο και έχει διαφορετικό διάκενο και διεγείρει με αυτόν τον τρόπο τον φορέα του. Η μέθοδος κατασκευής λεπτού υμένα έχει συνδυαστεί με τα πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά και τα υλικά που μπορούν να προσδώσουν μεγάλες αποδόσεις είναι το άμορφο πυρίτιο, ο δισελνιοινδούχος χαλκός και το αρσενικούχο γάλλιο.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τρίτης γενιάς είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που είναι δυνητικά σε θέση να ξεπεράσουν το όριο απόδοσης Shockley-Queisser του 31-41% που ισχύει για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ενός διάκενου ζώνης. Στην κατηγορία της τρίτης γενιάς περιλαμβάνονται μια σειρά από εναλλακτικές λύσεις για τα λεγόμενα "φωτοβολταϊκά στοιχεία πρώτης γενιάς" (που είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που δημιουργούνται από διόδους p-n) και τα "φωτοβολταϊκά στοιχεία δεύτερης γενιάς" (που δημιουργήθηκαν με βάση τη μείωση του κόστους των στοιχείων πρώτης γενιάς με χρήση τεχνολογιών λεπτής

μεμβράνης – thin film). Τα συστήματα τρίτης γενιάς περιλαμβάνουν multi-layer («tandem») στοιχεία που κατασκευάζονται από άμορφο πυρίτιο ή γάλλιο, ενώ οι περισσότερες θεωρητικές εξελίξεις περιλαμβάνουν τη μετατροπή συχνότητας, φαινόμενα hot-carrier και άλλες εκτίναξης πολλαπλών φορέων.

Η τρίτη γενιά είναι ασαφής ως προς τις τεχνολογίες που περιλαμβάνει, αν και γενικά τείνει να περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τις μη-ημιαγωγικές τεχνολογίες (συμπεριλαμβανομένων των πολυμερών στοιχείων και των βιομημητικών), quantum dot, στοιχεία tandem/multi-junction, intermediate band φωτοβολταϊκά στοιχεία, στοιχεία hot-carrier, τεχνολογίες photon upconversion και downconversion, και ηλιακές θερμικές τεχνολογίες, όπως τα thermophotonics, η οποία είναι μια τεχνολογία που προσδιορίζεται από τον Green ως τρίτης γενιάς.

Υπολογίζεται ότι οι νέες τεχνολογίες θα μπορούσαν να ανταγωνιστούν όχι μόνο τα παραδοσιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία, αλλά τα ορυκτά καύσιμα και την πυρηνική ενέργεια. Αυτό θα φέρει επανάσταση στην αγορά ενέργειας, όπως έχει ειπωθεί, για να συμβεί αυτό, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τρίτης γενιάς θα πρέπει να είναι πιο αποδοτικά και λιγότερο ακριβά. Υπάρχουν επίσης και άλλα θέματα, σχετικά με την αντοχή (ώστε τα φωτοβολταϊκά στοιχεία να είναι σε θέση να αξιοποιήσουν πλήρως τη διάρκεια της ζωής τους σε δυσμενείς εξωτερικές συνθήκες), την ασφάλεια (μερικές τεχνικές κατασκευής σχετιζόμενες με επικίνδυνες χημικές ουσίες) και αποθήκευσης ενέργειας (η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη μόνο σε περιορισμένο χρόνο, και σχεδόν μη διαθέσιμη όλο το χειμώνα σε μη-τροπικά κλίματα).

Ανάλογα με τις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται τα φωτοβολταϊκά διακρίνονται σε αυτόνομα και διασυνδεδεμένα. Τα αυτόνομα τοπικά συστήματα μπορεί να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια για οικιακή χρήση σε περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο. Η παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για φωτισμό ψύξη και άλλα χαμηλά φορτία ενέργειας.

Εκτός από τα αυτόνομα τοπικά συστήματα υπάρχουν και τα αυτόνομα μη τοπικά συστήματα που αποτελούσαν την πρώτη εμπορική εφαρμογή φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η ισχύς που μπορεί να παρέχουν χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών από την άντληση νερού έως τις τηλεπικοινωνίες. Παρά το γεγονός ότι από αυτά τα συστήματα παράγεται μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας η ενέργεια αυτή είναι ανταγωνιστική προς άλλες μικρές

πηγές παραγωγής.

Τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν συστήματα που λειτουργούν παράλληλα με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Σε αντίθεση με τα αυτόνομα συστήματα δεν διαθέτουν μπαταρίες και κατά συνέπεια έχουν μικρότερο κόστος γιατί δεν έχουν αναλώσιμα υλικά. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνεται από τον κάτοχο του συστήματος ενώ, η ενέργεια που περισσεύει πωλείται προς το δίκτυο. Τα βασικά μέρη ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, ο μετατροπέας, το δίκτυο και οι καταναλωτές (οικιακές συσκευές κλπ). Τα ίδια είναι και τα στοιχεία ενός αυτόνομου συστήματος με τη διαφορά ότι το δίκτυο δεν υπάρχει και υπάρχουν οι μπαταρίες.

Η τεχνική περιγραφή του πλαισίου περιλαμβάνει χρήσιμες πληροφορίες για τον σχεδιαστή και τον εγκαταστάτη του Φ/Β συστήματος. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που είναι διαθέσιμα στις περισσότερες περιπτώσεις είναι τα εξής:

- $P_{max}$  η μέγιστη ισχύς, η πραγματική τιμή της οποίας μπορεί να έχει απόκλιση που δίνεται σε ποσοστό ( $\pm 3\%$  ή  $\pm 5\%$ ).
- $I_{mp}$  το ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος,
- $I_{sc}$  το ρεύμα βραχυκύκλωσης,
- $V_{mp}$  η τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος,
- $V_{oc}$  η τάση στο ανοιχτοκύκλωμα,
- $\alpha_{scT}$ , θερμοκρασιακός συντελεστής που περιγράφει την μεταβολή του  $I_{sc}$  σε σχέση με τη θερμοκρασία του πλαισίου,
- $\beta_{ocT}$ , θερμοκρασιακός συντελεστής που περιγράφει την μεταβολή του  $V_{oc}$  σε σχέση με τη θερμοκρασία του πλαισίου,
- $T_p$ , θερμοκρασιακός συντελεστής που περιγράφει την μεταβολή της ισχύος σε σχέση με τη θερμοκρασία του πλαισίου.

- $V_{max,system}$  η μέγιστη τάση συστήματος,
- $\eta\%$  η απόδοση του Φ/Β πλαισίου που υπολογίζεται από το λόγο της ισχύος στην ακτινοβολία αναφοράς ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) προς την συνολική ακτινοβολία στην επιφάνεια του πλαισίου ( $1000 \text{ W/m}^2 * \text{Εμβαδόν}$ ).

Οι παραπάνω τιμές ρεύματος, τάσης και ισχύος δίνονται για τις κανονικές συνθήκες δοκιμής (STC) που είναι: AM1.5,  $G=1\text{kW/m}^2$ ,  $T_c=25 \text{ }^\circ\text{C}$  (θερμοκρασία πλαισίου)

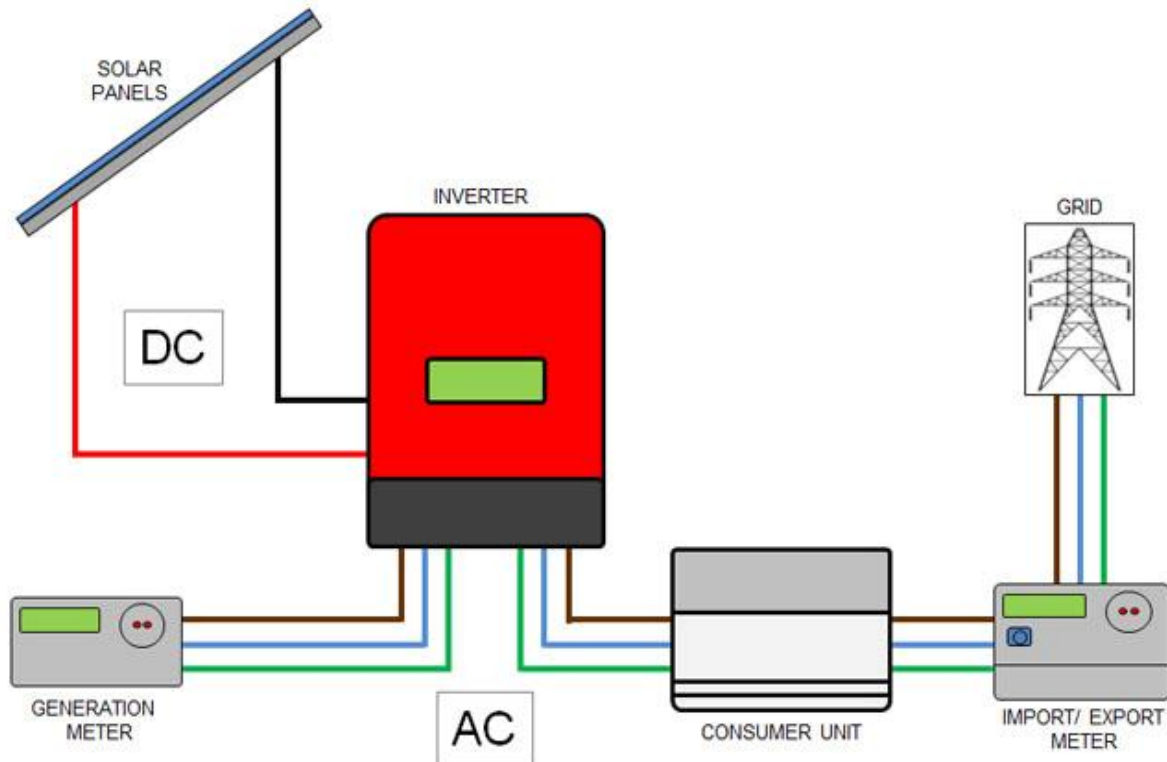
Με τους θερμοκρασιακούς συντελεστές που είναι διαθέσιμοι μπορούν να υπολογιστούν οι τιμές αυτών των μεγεθών σε άλλες συνθήκες θερμοκρασίας. Μερικές περιγραφές δίνουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας (NOC) που διαφοροποιούνται από τις STC ως εξής:  $G=800\text{W/m}^2$ ,  $T_a=20 \text{ }^\circ\text{C}$  (θερμοκρασία περιβάλλοντος), Ταχύτητα ανέμου =  $1\text{m/s}$

Συνήθως όμως δίνεται μόνο η θερμοκρασία πλαισίου στις NOC. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πλαισίου είναι χρήσιμα για την διαστασιολόγηση του συστήματος όπου θα πρέπει να επιλεγούν ο αντιστροφέας και τα καλώδια, καθώς και για την επιλογή των μέσων προστασίας.

Η μέγιστη τάση υπολογίζεται ως το άθροισμα της τάσης ανοικτού κυκλώματος των πλαισίων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά, ανηγμένο στην χαμηλότερη αναμενόμενη θερμοκρασία πλαισίου. Η ελάχιστη τάση λόγω θερμοκρασίας υπολογίζεται ανάγοντας το παραπάνω άθροισμα στη μέγιστη αναμενόμενη θερμοκρασία πλαισίου. Το μέγιστο ρεύμα της Φ/Β πηγής προκύπτει από το άθροισμα των ρευμάτων βραχυκύκλωσης κάθε στοιχειοσειράς πλαισίων, προσαρμοσμένο με κάποιον συντελεστή ώστε να ενσωματώνεται και η επίδραση της θερμοκρασίας.

Οι I-V και P-V χαρακτηριστικές για διαφορετικές τιμές της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του Φ/Β πλαισίου, περιλαμβάνονται πολλές φορές στην τεχνική περιγραφή, δίνοντας την πληροφορία για την ηλεκτρική συμπεριφορά της Φ/Β πηγής σε διαφορετικές συνθήκες. Οι μεταβολές των καμπυλών αυτών ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες βοηθούν στην κατανόηση της λειτουργίας του Φ/Β πλαισίου.

Οι μεταβολές στην ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζουν σημαντικότερα το ρεύμα εξόδου της Φ/Β πηγής, ενώ μεταβάλλοντας την τιμή της θερμοκρασίας του πλαισίου προκύπτουν κυρίως διαφοροποιήσεις στην τάση.



Εικόνα 21. Διασύνδεση φωτοβολταϊκού αντιστροφέα σε σύνδεση με το δίκτυο

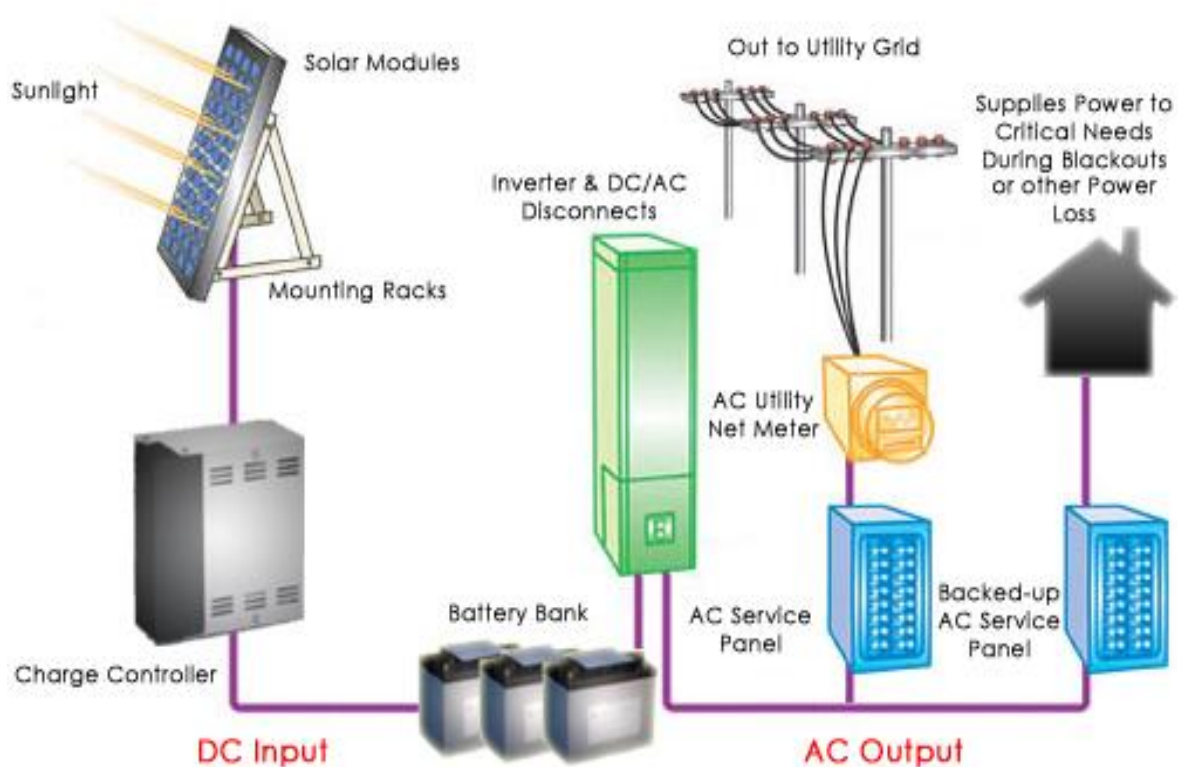
### 3.6 Μπαταρίες ως διατάξεις αποθήκευσης

Καθώς ο ήλιος και ο άνεμος δεν μας δίνουν κάθε ώρα της ημέρας επαρκή ενέργεια για να καλύψουμε τις ανάγκες μας, είναι απαραίτητο να αποθηκεύουμε την ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό γίνεται συνήθως (και ειδικά στα συστήματα ΑΠΕ) με τις μπαταρίες, από τις οποίες μπορεί να αντληθεί ενέργεια οποιαδήποτε ώρα της ημέρας. Μπαταρίες μολύβδου οξέως χρησιμοποιούνται στα αυτοκίνητα ως μπαταρίες εκκίνησης και ως εκ τούτου είναι διαθέσιμες σε κάθε μέρος του κόσμου.

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέως - ειδικά σχεδιασμένες για τις ιδιαίτερες απαιτήσεις των συστημάτων ΑΠΕ - είναι συνήθως η πρώτη επιλογή για την αποθήκευση ενέργειας σε



συστήματα με ανανεώσιμες πηγές καθώς έχουν ως κύρια πλεονεκτήματα το χαμηλό κόστος, την αντοχή σε κύκλους λειτουργίας και την ικανότητα φόρτισης/εκφόρτισης. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν ακόμα προκλήσεις για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους, ειδικότερα ως προς τον χρόνο ζωής σε θερμά κλίματα. Η συστοιχία μπαταριών περιλαμβάνει πολλά στοιχεία μολύβδου οξέως συνδεδεμένα σε σειρά μεταξύ τους. Οι μπαταρίες μολύβδου οξέως είναι σχετικά φθηνές και άμεσα διαθέσιμες από τους κατασκευαστές, σε σύγκριση με άλλα συστήματα μπαταριών όπως οι ιόντων λιθίου και οι νικελίου-υδριδίου μετάλλου. Υπάρχουν πολλοί τύποι, διαστάσεις και χωρητικότητες μπαταριών μολύβδου οξέως για να επιλέξει κανείς ανάλογα με την εφαρμογή.



Εικόνα 22. Φ/Β σύστημα με μπαταρίες για αποθήκευση ενέργειας.

Παρά την πληθώρα τύπων και εφαρμογών όσον αφορά τις μπαταρίες μολύβδου οξέως, τα χαρακτηριστικά που είναι ιδιαίτερα σημαντικά σε εφαρμογές Φ/Β συστημάτων είναι οι απαιτήσεις συντήρησης της μπαταρίας και η δυνατότητα βαθιάς εκφόρτισης, διατηρώντας παράλληλα μεγάλη διάρκεια ζωής.

Οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης μπορούν να είναι ανοικτού ή κλειστού τύπου. Οι μπαταρίες

ανοικτού τύπου αποτελούνται από στιβαρές πλάκες και ηλεκτρολυτικό διάλυμα και απαιτούν συντήρηση κάθε 6-12 μήνες με συμπλήρωση απιονισμένου νερού. Οι μπαταρίες κλειστού τύπου, όπως οι AGM και GEL, δεν απαιτούν συντήρηση. Βασικά θετικά χαρακτηριστικά των μπαταριών βαθιάς εκφόρτισης είναι η μεγάλη αντοχή σε κύκλους και ο μεγάλος χρόνος ζωής. Οι μπαταρίες με μικρό βάθος εκφόρτισης – μικρότερο του 25% - έχουν συνήθως λεπτότερες πλάκες από κράματα ασβεστίου μολύβδου.

Χαρακτηριστικό των μπαταριών ανοικτού τύπου είναι ότι μικρό ποσό υδρογόνου και οξυγόνου που παράγονται στα ηλεκτρόδια κατά τη λειτουργία της μπαταρίας ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μέσω μικρών οπών στο επάνω μέρος της μπαταρίας. Σε μία μπαταρία κλειστού τύπου μία ειδική διάταξη καταλύτη μέσα στη μπαταρία χρησιμοποιείται για να επανενώσει το υδρογόνο με το οξυγόνο δημιουργώντας νερό. Επομένως δεν υπάρχει απώλεια υγρού, όπως στις ανοικτού τύπου.

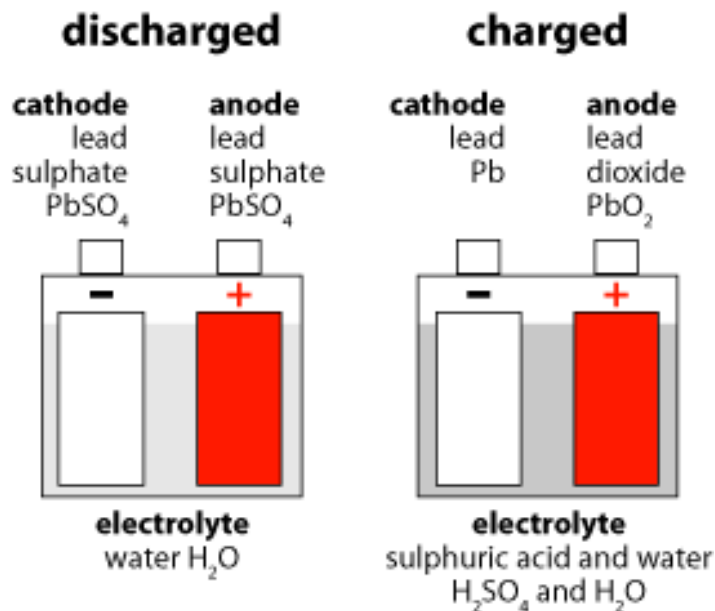
Οι αυστηρές απαιτήσεις για τις μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν προτρέψει διάφορους κατασκευαστές να αναπτύξουν μπαταρίες ειδικά σχεδιασμένες για Φ/Β ή άλλα συστήματα παραγωγής ενέργειας με ανανεώσιμες πηγές. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται συνήθως στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι είτε μολύβδου οξέως βαθιάς εκφόρτισης, είτε λιγότερων κύκλων χωρίς απαιτήσεις συντήρησης. Οι ειδικές μπαταρίες με μικρό βάθος εκφόρτισης που δεν απαιτούν συντήρηση μπορούν επίσης να εγκατασταθούν, αν η συστοιχία μπαταριών σχεδιαστεί κατάλληλα ώστε να μην απαιτηθεί ποτέ εκφόρτιση κάτω του 25%.

Μια μπαταρία μεγάλου χρόνου ζωής σε ένα κατάλληλα σχεδιασμένο Φ/Β σύστημα με τη σωστή συντήρηση μπορεί να διαρκέσει μέχρι 15 έτη, αλλά η χρήση μπαταριών που δεν σχεδιάστηκαν για πολλούς κύκλους φόρτισης, ή είναι ακατάλληλες για το συγκεκριμένο σύστημα, μπορεί να οδηγήσει σε μια συστοιχία μπαταριών ανίκανη να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της εφαρμογής σε μόλις μερικά χρόνια.

Η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι το μέτρο για την ποσότητα ρεύματος που μπορεί να αποθηκευτεί και να αντληθεί από μία μπαταρία. Η μονάδα μέτρησης είναι τα αμπερώρια (Ah). Η τιμή αυτή είναι θεωρητική και εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων. Στις μπαταρίες μολύβδου οξέως υπάρχουν τρία ενεργά συστατικά μέρη, το ενεργό υλικό του θετικού ηλεκτροδίου, το ενεργό υλικό του αρνητικού ηλεκτροδίου και ο ηλεκτρολύτης. Μία από

αυτές τις ουσίες μπορεί να μειώσει τη χωρητικότητα και αν έχει καταναλωθεί, η τάση της μπαταρίας καταρρέει και η μπαταρία αποφορτίζεται.

Είναι λοιπόν πιο πρακτικό να αναφερόμαστε στην ονομαστική τιμή της χωρητικότητας, η οποία δίνεται από τον κατασκευαστή για την εγγυημένη χωρητικότητα μιας καινούργιας μπαταρίας που εκφορτίζεται με κάποια τυποποιημένη διαδικασία. Για τις μπαταρίες αυτοκινήτου, η μπαταρία αποφορτίζεται σε 20 ώρες με σταθερό ρεύμα ως μία προκαθορισμένη τιμή τάσης. Το ρεύμα αυτό επισημαίνεται με  $I_{20}$  και η αντίστοιχη χωρητικότητα με  $C_{20}$ . Η χωρητικότητα μπορεί να διαφέρει από την ονομαστική τιμή. Πολλαπλές παράμετροι επηρεάζουν τη χωρητικότητα όπως η θερμοκρασία, η προηγούμενη φόρτιση, ο χρόνος από την τελευταία φόρτιση, η ηλικία της μπαταρίας, η συμπεριφορά ως προς το ρεύμα, η τάση αποφόρτισης κ.λπ.



Εικόνα 23. Κατάσταση μπαταρίας σε φόρτιση και αποφόρτιση.

Στην κανονική λειτουργία υπάρχουν τέσσερις κύριοι λόγοι για την γήρανση των μπαταριών:

- Βαθεία εκφόρτιση
- Υπερφόρτιση
- Χαμηλό επίπεδο ηλεκτρολύτη

- Υψηλή θερμοκρασία μπαταρίας

Ως παράδειγμα, ο χρόνος ζωής της μπαταρίας μειώνεται δραματικά αν αφηθεί σε βαθιά αποφόρτιση για πολύ καιρό (περισσότερο από μερικές μέρες). Μία τέτοια κατάσταση μπορεί να προκύψει αν το φορτίο είναι μεγάλο σε σχέση με την ενέργεια που δίνει η Φ/Β πηγή και ο ρυθμιστής φόρτισης δεν έχει κάποια ειδική προστασία για αποσύνδεση των μπαταριών σε κατάσταση χαμηλής φόρτισης. Σε τέτοιες περιπτώσεις η μπαταρία θα πρέπει να αποσυνδεθεί αμέσως από το φορτίο και να φορτιστεί με άλλα μέσα πριν τεθεί ξανά σε λειτουργία. Ένας καλός ρυθμιστής δεν θα επέτρεπε να φτάσουν οι μπαταρίες που επιβλέπει σε τέτοιες επικίνδυνες καταστάσεις.

Μια μπαταρία μολύβδου οξέως σε ένα Φ/Β σύστημα δεν χρειάζεται να δίνει υψηλό ρεύμα κατά την εκφόρτιση ή να υπόκειται σε ταχεία φόρτιση. Θα πρέπει όμως να έχει υψηλή χωρητικότητα. Μία μπαταρία αυτοκινήτου που συνδέεται σε Φ/Β σύστημα θα δουλέψει καλά για 1-5 μέρες, αλλά η αντοχή σε κύκλους δεν θα μπορέσει να καλύψει το σύστημα για περισσότερο χρόνο. Για το λόγο αυτό οι μπαταρίες που εγκαθίστανται σε Φ/Β συστήματα σχεδιάζονται για περισσότερους κύκλους.

Τα βήματα της διαδικασίας φόρτισης είναι τα εξής:

- Κύρια φόρτιση, όπου η μπαταρία φορτίζεται ως ένα επίπεδο τάσης που ξεκινά ο βρασμός του υγρού και η τάση αυξάνεται.
- Φόρτιση για το 100%, όπου η μπαταρία φορτίζεται από μία κατάσταση του 90-95% για να φτάσει το 100%.
- Φόρτιση εξισορρόπησης, όπου η χωρητικότητα των επιμέρους στοιχείων εξισώνεται ώστε όλα τα στοιχεία να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο φόρτισης.
- Φόρτιση συντήρησης, ώστε να διατηρείται σε μέγιστο επίπεδο η χωρητικότητα της μπαταρίας που είναι ήδη φορτισμένη αλλά δεν έχει αποφορτιστεί για κάποιο χρόνο.

Οι μπαταρίες δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην κύρια φόρτιση, εκτός από την αύξηση της θερμοκρασίας που αυτή επιφέρει. Είναι προτιμότερο να μην ξεκινήσει κανείς να φορτίζει μία

μπαταρία που έχει υψηλή θερμοκρασία αν μπορεί με κάποιο τρόπο να τη ρίξει πρώτα. Όταν ο ρυθμιστής ρυθμίζει τη λειτουργία της φόρτισης σύμφωνα με τη τάση, θεωρείται πως όλα τα στοιχεία έχουν την ίδια τάση. Επειδή αυτό δεν είναι πάντα αληθές μερικά στοιχεία μπορεί να μην φορτιστούν πλήρως. Είναι λοιπόν σημαντικό να ελέγχεται η τάση σε κάθε στοιχείο συχνά.

## Κεφάλαιο 4. Μετάβαση στα Έξυπνα Δίκτυα

### 4.1 Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός και η λειτουργία των στρατηγικών για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που περιγράφονται στα προηγούμενα Κεφάλαια έχουν λειτουργήσει καλά για δεκαετίες και μπορούν να βρεθούν σε όλο τον κόσμο. Πρέπει, λοιπόν, να έχουμε καλούς λόγους για την πραγματοποίηση αλλαγών, ιδιαίτερα αν αυτό συνεπάγεται τη μετατροπή του δικτύου σε πιο πολύπλοκη μορφή.

Η κύρια κινητήρια δύναμη για την αλλαγή είναι η επίτευξη των στόχων για το 2020 και το 2050 σχετικά με τη μείωση των εκπομπών άνθρακα. Ο τομέας της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας θα συμβάλει σημαντικά στην επίτευξη των στόχων αυτών έτσι ώστε οι χρήστες θα πρέπει να εμπλακούν περισσότερο στη λειτουργία του. Όλα τα βασικά στοιχεία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας θα έχουν ζωτικό ρόλο στην επίτευξη αυτών των στόχων, αλλά η πιο σημαντική συμβολή στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας θα γίνει με την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με τις τεχνολογίες χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών άνθρακα. Αυτές οι τεχνολογίες παραγωγής έχουν μια σειρά από πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τις συμβατικές γεννήτριες που θα αντικαταστήσουν:

- Η ηλεκτροπαραγωγή από ανανεώσιμες πηγές, κυρίως ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκούς (PV) σταθμούς, δεν μπορεί να ελεγχθεί σαν μια συμβατική γεννήτρια. Βασίζεται εξ ολοκλήρου σε μια ανεξέλεγκτη πηγή ενέργειας και επειδή αυτή η ενέργεια είναι δωρεάν, θα πρέπει να μπορεί να παράγεται κάθε φορά που ο ήλιος λάμπει ή φυσάει ο άνεμος.
- Οι πυρηνικές γεννήτριες είναι καταλληλότερες για την παραγωγή βασικού φορτίου και δεν μπορούν να διαφοροποιούν την παραγωγή τους με τον τρόπο που κάνουν οι συμβατικές γεννήτριες.
- Οι διανεμημένη παραγωγή, συμπεριλαμβανομένων των μικρών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές, αλλά και μονάδες ντίζελ αναμονής ή

παραγωγή που σχετίζεται με τα τοπικά συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, είναι μικρότερες συσκευές που συνδέονται με δίκτυα διανομής και μπορεί επίσης να είναι λιγότερο ελεγχόμενη.

Το αποτέλεσμα της ευρείας διάδοσης των τεχνολογιών αυτών θα είναι ότι το μέγεθος και ακόμη και η κατεύθυνση των ροών ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο θα είναι πολύ λιγότερο προβλέψιμη και ο διαχειριστής του συστήματος θα πρέπει να βρει νέους τρόπους παραγωγής και κατανάλωσης εξισορρόπησης για να διατηρήσει ένα σταθερό σύστημα και για να εξασφαλιστεί ότι το δίκτυο δεν συμφορίζεται προκαλώντας απώλεια της παροχής.

Η πρόκληση για το δίκτυο μεταφοράς θα αναπτύξει νέους τρόπους για την εξισορρόπηση της παραγωγής και της κατανάλωσης, καθώς όλο και περισσότερες τεχνολογίες διαλείπουσας ηλεκτροπαραγωγής θα ενσωματώνονται. Μεγαλύτερη διασύνδεση με άλλες χώρες θα μπορούσε να είναι χρήσιμη και έτσι οι νέες αλληλεπιδράσεις με τα συστήματα διανομής θα επιτρέψουν την εντονότερη διαχείριση της ζήτησης και αποθήκευσης. Οι εξελίξεις αυτές θα φέρουν τα δικά τους προβλήματα. Αναμένεται ότι οι αναγκαίες αλλαγές στο δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης θα είναι πιο δραματικές.

Σε όλες τις κατοικίες θα υπάρχει κάποια μορφή αποθήκευσης ή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

- Θέρμανση χώρου και νερού θα μπορούσε να μετατραπεί από αέριο σε ηλεκτρισμό.
- Τα υβριδικά αυτοκίνητα και αυτά που περιλαμβάνουν μπαταρίες θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν αυτά που χρησιμοποιούν βενζίνη / ντίζελ (οι κύκλοι φόρτισης / αποφόρτισης τους θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην εξισορρόπηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας)
- Θα απαιτηθεί συντονισμός για πολλά φορτία και πηγές ενέργειας, για να παρέχει ολοκληρωμένη υποστήριξη για τη λειτουργία του δικτύου σε τοπικό, περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο.

Αν συμβεί αυτό, είναι πιθανό ότι περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να παραδοθεί σε κάθε σπίτι και τα πρότυπα κατανάλωσης θα αλλάξουν σημαντικά, και επίσης η ροή ισχύος

θα μπορούσε να έχει δύο κατευθύνσεις σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Πιο έξυπνη παρακολούθηση και έλεγχος του δικτύου θα προσφέρει χαμηλότερο μέσο κόστος παροχής της δυνατότητας να ανταποκριθούν σε αυτό το πολύ διαφορετικό μοντέλο και καινοτόμες συσκευές, όπως τα ηλεκτρονικά ισχύος μπορεί να αναμένεται ότι θα βελτιώσουν την αξιοποίηση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων του δικτύου.



Εικόνα 24. Η έννοια του SmartGrid

Είναι επίσης πιθανό ότι με την ανάπτυξη των έξυπνων μετρητών και την εισαγωγή του οικιακού αυτοματισμού (για παράδειγμα τους ελέγχους που αποφασίζουν πότε οικιακές συσκευές λειτουργούν με βάση την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο), πολλοί καταναλωτές θα πρέπει να ενθαρρύνονται να διαχειρίζονται ενεργά τη ζήτηση τους για να βοηθήσουν στην εξισορρόπηση του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και να βοηθήσουν στη διαχείριση των περιορισμών του δικτύου. Αυτή η διαχείριση της ζήτησης θα μπορούσε να προσθέσει άλλο ένα στοιχείο απρόβλεπτου.

Έτσι, συνοπτικά, ο κύριος λόγος για τον οποίο θα χρειαστεί ένα πιο έξυπνο δίκτυο, είναι ώστε να βοηθήσει τις εταιρείες του δικτύου να εκπληρώσουν τις απαιτήσεις των καταναλωτών πιο γρήγορα και οικονομικά με πιο αποδοτικό τρόπο, φιλοξενώντας μια αυξανόμενη αλλά λιγότερο προβλέψιμη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια.

## **4.2 Χαρακτηριστικά των Έξυπνων Δικτύων**

Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των έξυπνων δικτύων είναι τα ακόλουθα:

Ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών μεταξύ μικροδικτύου και κεντρικού δικτύου σχεδόν σε πραγματικό χρόνο: Στα έξυπνα δίκτυα δημιουργείται συνέχεια ένας όγκος δεδομένων, που μπορεί να αξιοποιηθεί από το διαχειριστή του συστήματος μεταφοράς, των δικτύων διανομής,



αλλά και τους παραγωγούς, προμηθευτές και καταναλωτές. Επίσης, υπάρχει αμφίδρομη ροή πληροφορίας μεταξύ των ανωτέρω φορέων, επιτυγχάνοντας υψηλού επιπέδου εποπτεία και έλεγχο όλων των παραμέτρων της ΗΕ. Σε επίπεδο κατανάλωσης, η διασύνδεση των συσκευών κατανάλωσης με το σύστημα διαχείρισης ενέργειας του καταναλωτή, καθώς και η διασύνδεση του συστήματος αυτού με τον προμηθευτή ΗΕ, επιτρέπει στον καταναλωτή να εποπτεύει την κατανάλωσή του, να επεμβαίνει σε πραγματικό χρόνο και να έχει ενεργή συμμετοχή στο κόστος της ΗΕ που καταναλώνει και στο ενεργειακό του αποτύπωμα. Ταυτόχρονα, η αμφίδρομη ροή αυτή προσφέρει τη δυνατότητα στο διαχειριστή του δικτύου διανομής να διαχειρίζεται τη ζήτηση ΗΕ καθώς πλέον το δίκτυο εφοδιάζεται με ευελιξία και προσαρμοστικότητα.

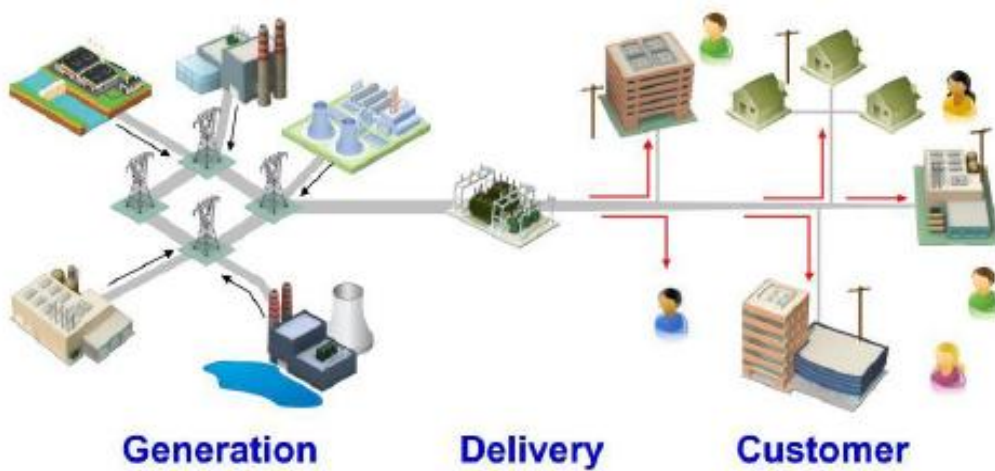
Δυνατότητα αυτόματης διόρθωσης βλαβών στην εσωτερική εγκατάσταση του μικροδικτύου: Η εγκατάσταση αισθητήρων και έξυπνων συσκευών δίνει την δυνατότητα ανίχνευσης και πρόβλεψης βλαβών και έτσι περιορίζεται η ανθρώπινη παρέμβαση σε επίπεδο αποκατάστασης. Με την συνεχή παρακολούθηση του συστήματος μεταφοράς και του δικτύου διανομής από τους διαχειριστές και έχοντας επιτύχει την βέλτιστη ανατροφοδότηση της ΗΕ, το ΕΗΔ ανταποκρίνεται καλύτερα στις διακοπές της παροχής ΗΕ με αποτέλεσμα την αύξηση της αξιοπιστίας του.

Μειώνεται η ανάγκη για επεκτάσεις δικτύου: Το έξυπνο δίκτυο δημιουργεί εγκαταστάσεις παραγωγής ακριβώς δίπλα στο φορτίο και χρησιμοποιεί με βέλτιστο τρόπο τις διατάξεις του υπάρχοντος συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Η διεύθυνση της διεσπαρμένης παραγωγής καθώς και η δυνατότητα μείωσης της μέγιστης ζήτησης της ΗΕ που διευκολύνεται από την επικοινωνία και την ενεργειακή προσαρμογή των καταναλωτών, μειώνει την ανάγκη αύξησης της παραγωγής ΗΕ από τις μεγάλες μονάδες παραγωγής κατά ώρες αιχμής.

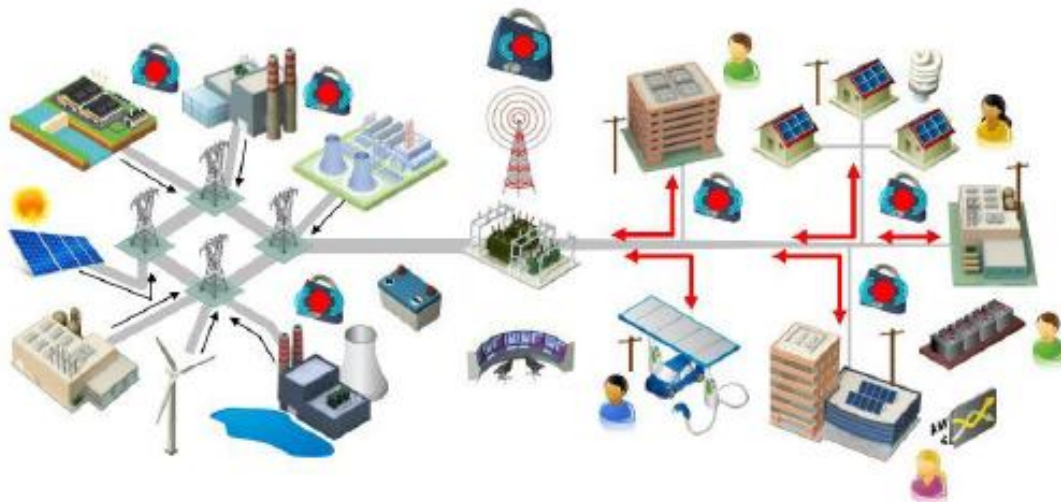
Ευέλικτη τιμολόγηση μέσω των έξυπνων ηλεκτρονικών μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας: Οι έξυπνοι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας είναι συσκευές που μετρούν την καταναλισκόμενη ενέργεια και διάφορα άλλα ηλεκτρικά μεγέθη και έχουν την ικανότητα επικοινωνίας με διάφορα κέντρα διαχείρισης, αποφάσεων και τιμολόγησης. Καταργείται λοιπόν η κατ' εκτίμηση χρέωση και επιβάλλεται η τιμολόγηση επί της πραγματοποιηθείσας κατανάλωσης

ηλεκτρικής ενέργειας. Προσφέρεται ακόμα η ευελιξία στο χρήστη να επιλέγει εξατομικευμένα προγράμματα και προμηθευτές με βάση τις οικονομικές τους προσφορές.

Στις Εικόνες απεικονίζεται η διαφορά σε επίπεδο ροής ισχύος στο δίκτυο μεταξύ συμβατικού κι έξυπνου δικτύου.



Εικόνα 25. Συμβατικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 26. Έξυπνο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

### **4.3 Οφέλη των Έξυπνων Δικτύων**

Τα οφέλη από την μετάβαση στο καθεστώς των έξυπνων δικτύων παρουσιάζονται στον

επόμενο πίνακα.

<b>Πλεονέκτημα</b>	<b>Περιγραφή</b>
Αξιοπιστία	Μειώνεται ο κίνδυνος blackout
	Στην περίπτωση blackout, η ανίχνευση του σφάλματος είναι ταχεία και η αποκατάσταση του άμεση.
	Μειώνονται οι διακοπές παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (outages)
Αποδοτικότητα	Εγκαθίστανται μέσα αποθήκευσης και έτσι μειώνεται η απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς του δικτύου
	Η ροή ισχύος ελέγχεται και έτσι μειώνονται οι απώλειες
	Βέλτιστη αξιοποίηση των υπαρχόντων πόρων του δικτύου χωρίς ανάγκη επεκτάσεων
	Επιπλέον των ΑΠΕ και των λοιπών πηγών διεσπαρμένης παραγωγής στο μέλλον θα ενσωματωθούν και τα ηλεκτρικά οχήματα ως πηγές, αποφορτίζοντας το δίκτυο.
Ποιότητα Υπηρεσιών	Λόγω του αποδοτικότερου ελέγχου, η τάση και η συχνότητα διατηρούνται εντός των ορίων και άρα επιτυγχάνεται η ευστάθεια του συστήματος σε αυξημένο βαθμό
	Οι αρμονικές περιορίζονται
Περιβάλλον	Η ένταξη και η βέλτιστη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και η μείωση των απωλειών έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση των εκπομπών CO <sub>2</sub> και λοιπών ρύπων

	Εξηλεκτρισμός της ενέργειας στους τομείς θέρμανσης και μεταφοράς
	Μείωση νέων επεμβάσεων στα οικοσυστήματα λόγω αποτροπής των επεκτάσεων των ΣΗΕ
Οικονομικά οφέλη	Μείωση του κόστους δικτύου λόγω αποφυγής των επεκτάσεων και νέων έργων
	Μείωση του κόστους για τη συντήρηση των δικτύων λόγω της βελτιστοποίησης στη χρήση τους

#### **4.4 Έξυπνοι μετρητές**

Ένας μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας ή μετρητής ενέργειας είναι μια συσκευή που μετρά την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από μια κατοικία, επιχείρηση , ή μία συσκευή.

Οι μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας βαθμονομούνται συνήθως σε μονάδες χρέωσης, η πιο κοινή είναι η κιλοβατώρα [kWh]. Περιοδικές καταγραφές των μετρητών ηλεκτρικής ενέργειας ορίζουν τους κύκλους τιμολόγησης της ενέργειας που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια ενός κύκλου.

Σε ενεργειακά σχήματα που είναι επιθυμητή η εξοικονόμηση ενέργειας κατά τη διάρκεια ορισμένων περιόδων, οι μετρητές μπορεί να μετρούν τη ζήτηση, τη μέγιστη χρήση της ενέργειας σε κάποιο διάστημα. Η μέτρηση τύπου "Ωρα της ημέρας" επιτρέπει την εναλλαγή του κόστους ενέργειας κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, για να καταγράψει τα δεδομένα χρήσης κατά τις περιόδους αιχμής με υψηλό κόστος και εκτός των ωρών αιχμής, με χαμηλότερο κόστος. Επίσης, σε ορισμένες περιοχές οι μετρητές διαθέτουν ρελέ για την ανταπόκριση στη ζήτηση περικοπής φορτίου κατά τις περιόδους αιχμής φορτίου.

Καθώς η εμπορική χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας εξαπλώθηκε στη δεκαετία του 1880, έγινε ολοένα και πιο σημαντικό το γεγονός ότι ένας μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας, παρόμοιος με τους τότε υπάρχοντες μετρητές φυσικού αερίου, έπρεπε να χρησιμοποιηθεί για την

τιμολόγηση των πελατών για το κόστος της ενέργειας, αντί της χρέωσης για ένα σταθερό αριθμό λαμπτήρων ανά μήνα. Αναπτύχθηκαν πολλές πειραματικές μορφές μετρητών. Ο Edison αρχικά πρότεινε έναν DC ηλεκτρομηχανικό μετρητή με άμεση καταγραφή μέτρησης, αλλά, αντίθετα, ανέπτυξε ένα ηλεκτροχημικό σύστημα μέτρησης, το οποίο χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρολυτικό κελί ώστε να αθροίζει την κατανάλωση ρεύματος. Σε περιοδικά διαστήματα οι πλάκες απομακρύνονταν, ζυγίζονταν, και ο πελάτης τιμολογείται. Η ηλεκτροχημική μέτρηση απαιτούσε πολύ δουλειά από την πλευρά του διαχειριστή του δικτύου και δεν έγινε ευνοϊκά δεκτή από τους πελάτες. Ένας από τους πρώτους τύπους του ηλεκτροχημικού μετρητή που χρησιμοποιούταν στο Ηνωμένο Βασίλειο ήταν ο μετρητής «Reason» που παρουσιάζεται στην εικόνα 17.



Εικόνα 27. Ο μετρητής Reason.

Η πρώτη ακριβής, συσκευή μετρητή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ήταν ένας DC μετρητής του Δρ Hermann Aron, ο οποίος είναι κατοχυρωμένος με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1883. Η πιο κοινή μονάδα μέτρησης στο μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η κιλοβατώρα [kWh], το οποίο είναι ίσο με το ποσό της ενέργειας που χρησιμοποιείται από ένα φορτίο του ενός κιλοβάτ σε χρονικό διάστημα μίας ώρας, ή 3.600.000 τζάουλ . Ορισμένες εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούν το SI megajoule αντ 'αυτού.

Η ζήτηση συνήθως μετριέται σε watt, αλλά κατά μέσο όρο πάνω από ένα χρονικό διάστημα, συνήθως ένα τέταρτο ή μισή ώρα. Η άεργος ισχύς μετριέται σε "χιλιάδες βολτ-αμπερόρια reactive ", (kvarh). Κατά σύμβαση, ένα επαγωγικό φορτίο, όπως ένα μοτέρ, θα έχει θετική άεργο ισχύ. Ένα χωρητικό φορτίο, θα έχει αρνητικές τιμές αέργου ισχύος. Τα Volt-αμπέρ δείχνουν όλη την ισχύ που πέρασε μέσω ενός δικτύου διανομής, συμπεριλαμβανομένων της αέργου και της πραγματικής. Αυτό είναι ίσο με το γινόμενο της μέσης τετραγωνικής ρίζας βολτ και αμπέρ.

Οι αρμονικές του ηλεκτρικού ρεύματος από τα φορτία μετριέται με διάφορους τρόπους. Ο συντελεστής ισχύος είναι ο λόγος της πραγματικής ισχύος προς τα βολτ-αμπέρ. Ένα χωρητικό φορτίο έχει ηγετικό συντελεστή ισχύος, και ένα επαγωγικό φορτίο έχει υστερούν συντελεστή ισχύος. Ένα καθαρά ωμικό φορτίο (όπως μια λάμπα πυρακτώσεως, θερμάστρα ή βραστήρας) παρουσιάζει συντελεστή ισχύος 1. Οι αρμονικές του ρεύματος είναι ένα μέτρο της διαταραχής της μορφής κύματος. Για παράδειγμα, τα ηλεκτρονικά φορτία όπως τα τροφοδοτικά υπολογιστών τραβούν ρεύμα κατά τις ώρες αιχμής της τάσης 'ωστε να καλύψουν τα στοιχεία της εσωτερικής αποθήκευσής τους. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική πτώση τάσης κοντά στην κορυφή της τάσης τροφοδοσίας το οποίο δείχνει σαν επιπέδωση της κυματομορφής τάσης. Η επιπέδωση αυτή προκαλεί περιττές αρμονικές οι οποίες δεν είναι επιτρεπτές εφόσον υπερβαίνουν συγκεκριμένα όρια, καθώς δεν είναι μόνο σπατάλη, αλλά μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία άλλου εξοπλισμού. Οι εκπομπές αρμονικών από το νόμο στην ΕΕ και άλλες χώρες πρέπει να εμπίπτουν τα καθορισμένα όρια. Εκτός από την μέτρηση με βάση το ποσό της ενέργειας που χρησιμοποιείται, άλλοι τύποι μέτρησης είναι διαθέσιμοι.

Μετρητές οι οποίοι μετρούν την ποσότητα του φορτίου, γνωστή ως αμπερόμετρα, χρησιμοποιήθηκαν κατά τις πρώτες ημέρες της ηλεκτροκίνησης. Αυτά εξαρτώνται από την σταθερή εναπομένουσα τάση τροφοδοσίας για την ακριβή μέτρηση της χρήσης ενέργειας, η οποία δεν ήταν μια πιθανή περίπτωση στις περισσότερες περιπτώσεις.

Μερικοί μετρητές μετρούν μόνο το χρονικό διάστημα για το οποίο γινόταν φόρτιση, χωρίς μέτρηση του μεγέθους της τάσης ή του ρεύματος. Αυτοί ήταν κατάλληλοι μόνο για εφαρμογές σταθερού φορτίου. Κανείς από τους δύο τελευταίους τύπους δεν είναι πιθανό να

χρησιμοποιηθεί σήμερα.

Οι μετρητές ηλεκτρικού ρεύματος λειτουργούν με συνεχή μέτρηση της στιγμιαίας τάσης (βολτ) και ρεύματος (αμπέρ) για να δώσουν την ενέργεια που χρησιμοποιείται (σε joules, κιλοβατώρες κλπ.). Οι μετρητές για τις υπηρεσίες μικρότερης ισχύος (όπως μικρούς οικιακούς πελάτες) μπορεί να συνδεθούν απευθείας στη γραμμή μεταξύ της πηγής και του πελάτη. Για μεγαλύτερα φορτία, περισσότερο από περίπου 200 αμπέρ του φορτίου, μετασχηματιστές ρεύματος χρησιμοποιούνται, έτσι ώστε ο μετρητής να μπορεί να βρίσκεται εκτός σύμφωνα με τους αγωγούς παροχής υπηρεσιών. Οι μετρητές χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, ηλεκτρομηχανικοί και ηλεκτρονικοί.

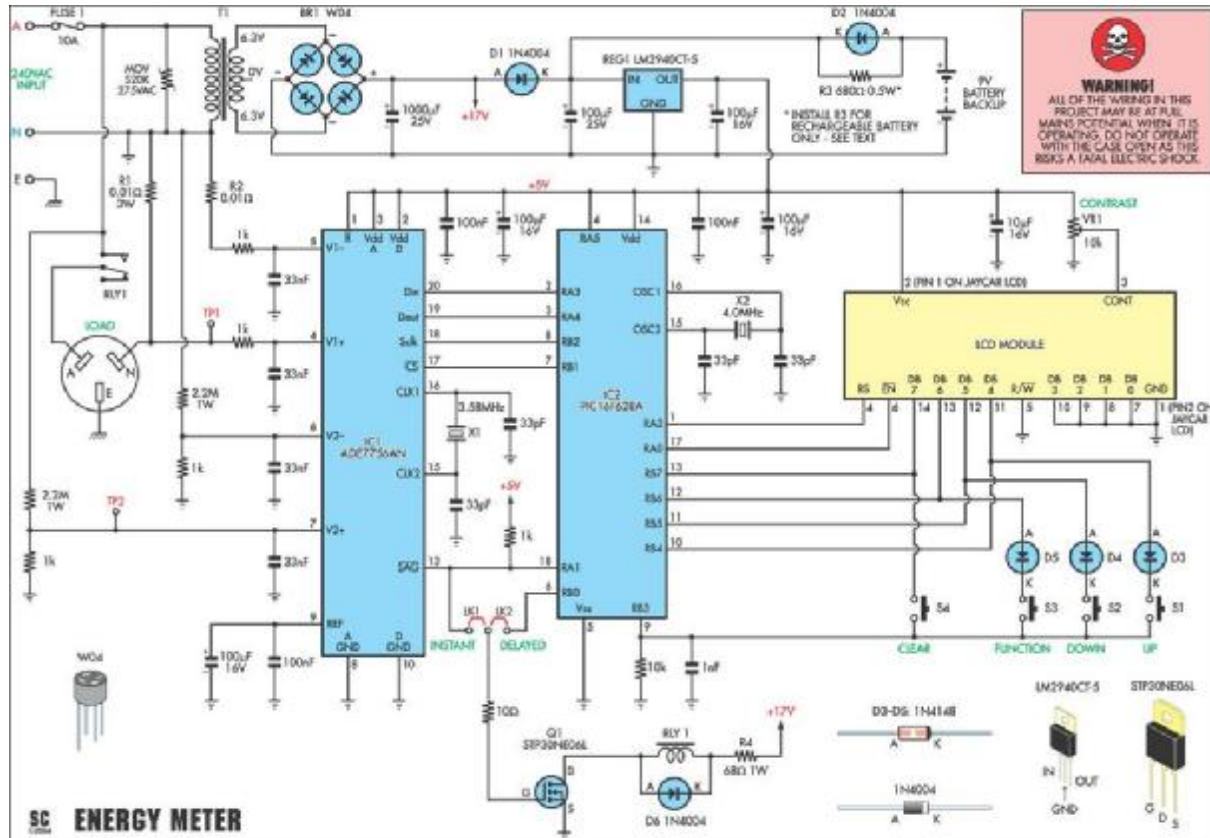


Εικόνα 28. Μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας στερεάς κατάστασης.

Οι ηλεκτρονικοί μετρητές εμφανίζουν την ενέργεια που χρησιμοποιείται σε μια LCD ή LED οθόνη, και μερικοί μπορούν επίσης να μεταδίδουν μετρήσεις σε απομακρυσμένα μέρη. Εκτός από τη μέτρηση της ενέργειας που χρησιμοποιείται, οι ηλεκτρονικοί μετρητές μπορούν επίσης να καταγράφουν άλλες παραμέτρους του φορτίου και της τροφοδοσίας όπως το στιγμιαίο και μέγιστο ποσοστό στις απαιτήσεις χρήσης, τάσεις, συντελεστή ισχύος και την



τιμή της άεργου ισχύος που χρησιμοποιούνται κλπ. Μπορούν επίσης να υποστηρίξει την καταγραφή της ποσότητας ενέργειας που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της αιχμής και τις ώρες εκτός αιχμής.



Εικόνα 29. Βασικό μπλοκ διάγραμμα ενός ηλεκτρονικού μετρητή

Όπως και στο μπλοκ διάγραμμα της εικόνας 19, ο μετρητής έχει μια παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, μια μηχανή μέτρησης, μια μηχανή επεξεργασίας και επικοινωνίας (δηλαδή μικροελεγκτή), και άλλα add-on modules όπως RTC, οθόνη LCD, θύρες επικοινωνίας και ούτω καθεξής.

Η μηχανή μέτρησης έχει δεδομένη τάση και ρεύμα εισόδου και έχει μια τάση αναφοράς, δειγματολήπτες και ποσοστοποιητές που ακολουθούνται από ένα τμήμα ADC που αποδίδει τα ψηφιοποιημένα ισοδύναμα όλων των εισόδων. Αυτές οι εισοδοί στη συνέχεια επεξεργάζονται χρησιμοποιώντας ένα ψηφιακό επεξεργαστή σήματος για να υπολογίσει τις διάφορες

παραμέτρους μέτρησης, όπως ισχύ, ενέργειας κλπ.

Η μεγαλύτερη πηγή των μακροπρόθεσμων σφαλμάτων στο μετρητή είναι η διολίσθηση στον προενισχυτή, ακολουθούμενη από την ακρίβεια της τάσης αναφοράς. Τα δύο αυτά μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία, καθώς και ποικίλλουν έντονα επειδή οι περισσότεροι μετρητές είναι σε εξωτερικούς χώρους. Η καταγραφή και η αντιστάθμιση αυτών είναι ένα σημαντικό μέρος του σχεδιασμού του μετρητή.

Το τμήμα επεξεργασίας και επικοινωνίας έχει την ευθύνη του υπολογισμού των διαφόρων ποσοτήτων που προέρχονται από τις ψηφιακές τιμές που παράγονται από τη μηχανή μέτρησης. Αυτό έχει επίσης την ευθύνη της επικοινωνίας με τη χρήση διαφόρων πρωτοκόλλων και διασύνδεση με άλλες ενότητες add-on συνδεθεί ως slaves σε αυτό.

RTC και άλλες μονάδες add-on επισυνάπτονται ως slaves στο τμήμα επεξεργασίας και επικοινωνίας για τις διάφορες λειτουργίες εισόδου / εξόδου. Σε ένα σύγχρονο μετρητή περισσότερα, αν όχι όλα από αυτά θα πρέπει να εφαρμοστούν στο εσωτερικό του μικροεπεξεργαστή, όπως το ρολόι πραγματικού χρόνου (RTC), ελεγκτής LCD, αισθητήρας θερμοκρασίας, μνήμη και μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό.

#### **4.5 Οφέλη από έξυπνους μετρητές**

Τα οφέλη των έξυπνων μετρητών παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

<b>Οφέλη Έξυπνων Μετρητών</b>
• Ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο
• Δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας
• Δυνατότητα λήψης εντολών
• Ευκολότερη μετάβαση σε άλλο προμηθευτή
• Δυνατότητα απομακρυσμένης εκκίνησης και διακοπής της σύνδεσης με το δίκτυο
• Διαθεσιμότητα προηγμένων τιμολογιακών πολιτικών εκ μέρους των προμηθευτών

<ul style="list-style-type: none"><li>• Δυνατότητα βελτίωσης της ποιότητας του ηλεκτρικού ρεύματος</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Συμβολή στην αύξηση της διείσδυσης διεσπαρμένης παραγωγής ΗΕ στο δίκτυο μίας οικίας ή μιας επιχείρησης</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Ευελιξία στην τιμολόγηση</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Τιμολόγηση για την πραγματική κατανάλωση ενέργειας</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Παραγωγή ψηφιακών δεδομένων και δυνατότητα απεικόνισης τους σε ψηφιακές συσκευές (smartphone, tablet, apps)</li></ul>

## Συμπεράσματα

Ένα έξυπνο δίκτυο είναι ένα εκσυγχρονισμένο ηλεκτρικό δίκτυο που χρησιμοποιεί αναλογική ή ψηφιακή τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών για να συγκεντρώσει και να ενεργήσει με βάση πληροφορίες - όπως πληροφορίες σχετικά με τις συμπεριφορές των προμηθευτών και των καταναλωτών - με αυτοματοποιημένο τρόπο για να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα, την αξιοπιστία, την οικονομία, και τη βιωσιμότητα της παραγωγής και της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας με ηλεκτρονικά μέσα και ο έλεγχος της παραγωγής και της διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν σημαντικές πτυχές του έξυπνου δικτύου.

Η μετάβαση στην εποχή των έξυπνων δικτύων συνεπάγεται επίσης μια εκ θεμελίων αναδιοργάνωση του τομέα των υπηρεσιών ηλεκτρικής ενέργειας, αν και η τυπική χρήση του όρου είναι επικεντρώνεται στην τεχνική υποδομή.

Από τις αρχές του 21ου αιώνα, οι ευκαιρίες να επωφεληθεί η κοινωνία από τις βελτιώσεις στον τομέα των ηλεκτρονικών επικοινωνιών για την επίλυση των περιορισμούς και του κόστους του ηλεκτρικού δικτύου έχουν γίνει εμφανείς. Οι τεχνολογικοί περιορισμοί στη μέτρηση δεν υπάρχουν πλέον, και έτσι δεν είναι απαραίτητο να τιμολογείται ο κάθε καταναλωτής βάσει της μέγιστης ισχύος του. Παράλληλα, αυξανόμενες ανησυχίες για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τους σταθμούς ορυκτών καυσίμων έχουν οδηγήσει σε μια επιθυμία να χρησιμοποιηθούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Κυρίαρχες μορφές όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια είναι εξαιρετικά μεταβλητές, και έτσι η ανάγκη για πιο εξελιγμένα συστήματα ελέγχου έγινε εμφανής, για να διευκολυνθεί η σύνδεση των πηγών αυτών στο κατά τα άλλα ελεγχόμενο δίκτυο. Η ηλεκτροπαραγωγή από φωτοβολταϊκά κύτταρα (και σε μικρότερο βαθμό από ανεμογεννήτριες), τίθεται υπό αμφισβήτηση και είναι επιτακτική η ανάγκη για μεγάλους, κεντρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ραγδαία πτώση του κόστους δείχνει μια σημαντική αλλαγή από την κεντρική τοπολογία του δικτύου σε ένα που είναι σε μεγάλο βαθμό κατανεμημένο, με την ισχύ να παράγεται και να καταναλώνεται στο δίκτυο διανομής.

Τέλος, η αυξανόμενη ανησυχία για τρομοκρατική επίθεση σε ορισμένες χώρες έχει οδηγήσει σε εκκλήσεις για ένα πιο ισχυρό ενεργειακό δίκτυο που είναι λιγότερο εξαρτημένο από κεντρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που θεωρήθηκαν ότι είναι πιθανοί στόχοι επίθεσης.

Η εφαρμογή της ψηφιακής επεξεργασίας και η επικοινωνία με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, καθιστώντας τη ροή των δεδομένων και τη διαχείριση πληροφοριών στο επίκεντρο του έξυπνου δικτύου. Διάφορες δυνατότητες απορρέουν από τη βαθιά ολοκληρωμένη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας με δίκτυα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα κύρια πλεονεκτήματα από τα πολύπλοκα αλλά αποδοτικά αυτά δίκτυα είναι: η βελτίωση των υποδομών, η μείωση του κόστους επέκτασης και συντήρησης του υφιστάμενου δικτύου, η ενίσχυση στην ένταξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η μείωση των απωλειών του δικτύου, η μείωση των αερίων ρύπων και η μείωση των blackouts και των διακοπών παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (outages).

## Βιβλιογραφία

- Stephen A. Dyer (ed.) Survey of instrumentation and measurement Wiley-IEEE, 2001 ISBN 0-471-39484-X, page 875
- Shallnberger integrating watt meter, with illustration, retrieved 2010 Sep 29
- IEEE Recommended practice for industrial and commercial power systems analysis Standard 399-1997, IEEE, ISBN 1-55937-968-5
- Verne Kopytoff; Ryan Kim (2009-02-22). "Google plans meter to detail home energy use". San Francisco Chronicle
- Market Data Exchange Day ahead, Hour ahead and Real time pricing for New York
- "What are KYZ Pulses?". SolidState Instruments - a division of Brayden Automation Corp.
- Teridian Semiconductors Application Note, "Antitamper Features Enabled by the 71M6511" The 71M6511 is a single chip metering device widely used in computerised meters.
- "Theft of power". James Bong's Ultimate SpyGuide to Marijuana. pp. 234–242.
- Hart, G.W. (June 1989). "Residential energy monitoring and computerized surveillance via utility power flows". Technology and Society Magazine, IEEE 8 (2): 12–16. doi:10.1109/44.31557
- Mohsen Fadaee Nejad, AminMohammad Saberian and Hashim Hizam (June 3, 2013). "Application of smart power grid in developing countries". 7th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO) (IEEE)
- Smart Grid Working Group (June 2003). "Challenge and Opportunity: Charting a New Energy Future, Appendix A: Working Group Reports"

Energy Future Coalition.

- Federal Energy Regulatory Commission staff report (August 2006). "Assessment of Demand Response and Advanced Metering (Docket AD06-2-000)". United States Department of Energy.
- Qixun Yang, Board Chairman, Beijing Sifang Automation Co. Ltd., China and .Bi Tianshu, Professor, North China Electric Power University, China. (2001-06-24). "WAMS Implementation in China and the Challenges for Bulk Power System Protection". Panel Session: Developments in Power Generation and Transmission — Infrastructures in China, IEEE 2007 General Meeting, Tampa, FL, USA, 24–28 June 2007 Electric Power, ABB Power T&D Company, and Tennessee Valley Authority (Institute of Electrical and Electronics Engineers).
- Yih-Fang Huang; Werner, S.; Jing Huang; Kashyap, N.; Gupta, V., "State Estimation in Electric Power Grids: Meeting New Challenges Presented by the Requirements of the Future Grid," Signal Processing Magazine, IEEE , vol.29, no.5, pp.33,43, Sept. 2012
- N. A. Sinitsyn. S. Kundu, S. Backhaus (2013). "Safe Protocols for Generating Power Pulses with Heterogeneous Populations of Thermostatically Controlled Loads". Energy Conversion and Management 67: 297–308
- Energy Future Coalition, "Challenge and Opportunity: Charting a New Energy Future," Appendix A: Working Group Reports, Report of the Smart Grid Working Group.
- F.R. Yu, P. Zhang, W. Xiao, and P. Choudhury, "Communication Systems for Grid Integration of Renewable Energy Resources," IEEE Network, vol. 25, no. 5, pp. 22-29, Sept. 2011.
- Klimstra, Jakob; Hotakainen, Markus (2011). Smart Power Generation (PDF). Helsinki: Avain Publishers.