

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1606

ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕ ΜΕΓΑΛΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΠΕ

ΣΤΑΥΡΟΥ ΧΑΡΙΚΛΕΙΑ (5781)
ΑΡΓΥΡΙΟΥ ΑΝΔΡΕΑΣ-ΧΡΗΣΤΟΣ (5786)

Εισηγητές:

ΚΑΡΕΛΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ - 2017

Περίληψη Πτυχιακής

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετάται το αντικείμενο του «Ευφυούς Δικτύου». Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο μικροδίκτυο, το οποίο αποτελεί έναν τρόπο δόμησης ή μέρος των έξυπνων δικτύων, και η σχέση του με την αυξημένη διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Αρχικά πραγματοποιείται θεωρητική ανασκόπηση των κλασικών Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ), ύστερα επεξηγούνται τα συστατικά στοιχεία των έξυπνων δικτύων και των μικροδικτύων, που ομαδοποιούνται στις λεγόμενες Διανεμημένες Πηγές Ενέργειας. Οι Διανεμημένες Πηγές Ενέργειας αποτελούνται, από τις Μονάδες Διεσπαρμένης Παραγωγής, τις Μονάδες Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας, και τις Πολιτικές Διαχείριση Ζήτησης. Σε ξεχωριστά κεφάλαια, αναλύονται αναλυτικότερα οι βασικές τεχνολογίες ΑΠΕ, τα Φωτοβολταϊκά και οι Ανεμογεννήτριες. Έπειτα, αναλύονται τα ευρύτερα χαρακτηριστικά και οι επιδιώξεις υλοποίησης των έξυπνων δικτύων. Μετά, αναλύεται η έννοια του μικροδικτύου. Τέλος, πραγματοποιείται μια μελέτη εφαρμογής μικροδικτύου με εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκών, ανεμογεννητριών, μικροτουρμπίνας και κυψελών καυσίμου, με ορισμένες ανάγκες φορτίου κάποιας περιοχής. Πραγματοποιείται σύγκριση μεταξύ τριών σεναρίων, κάλυψη φορτίων από το δίκτυο χωρίς την συμμετοχή διασπαρμένων πηγών, κάλυψη φορτίων από το δίκτυο με συμμετοχή των διασπαρμένων πηγών και κάλυψη φορτίων με την λειτουργία του Μικροδικτύου.

Παρακάτω παρουσιάζεται η δομή των κεφαλαίων της εργασίας :

Στο κεφάλαιο 1, περιγράφονται τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Παρουσιάζεται η δομή τους, η σύνθεση του ελληνικού ΣΗΕ, η διείσδυση των ΑΠΕ στα συμβατικά ΣΗΕ, η έννοια του υβριδικού σταθμού ηλεκτρικής ενέργειας και η έννοια της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Στα κεφάλαια 2-5, περιγράφονται οι Διανεμημένες Πηγές Ενέργειας. Επεξηγείται η έννοια της Διεσπαρμένης Παραγωγής και οι τεχνολογίες που την αποτελούν, αναπτύσσονται περαιτέρω οι τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών, των ανεμογεννητριών και παρουσιάζονται οι Μονάδες Αποθήκευσης Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Στο Κεφάλαιο 6, επεξηγείται ο όρος «Έξυπνο Δίκτυο», συμπεριλαμβανομένων των δομικών μονάδων του συστήματος, όπως το μικροδίκτυο, οι έξυπνοι μετρητές κ.ά. Επίσης, διερευνώνται οι τρόποι που απαιτούνται για τη διαχείριση του Δικτύου, καθώς και οι πολιτικές διαχείρισης, ελέγχου και προσέγγισης των καταναλωτών για τη συμμετοχή τους στο Έξυπνο Δίκτυο.

Στο κεφάλαιο 7, αναλύεται η έννοια του μικροδικτύου, δομή του, παρουσιάζονται ορισμένες εφαρμογές ανά τον κόσμο, επισημαίνονται βασικές προκλήσεις στην υλοποίησή τους, οι στρατηγικές λειτουργίας του και οι πολιτικές συμμετοχής των μικροδικτύων στην Αγορά ενέργειας.

Τέλος, στο κεφάλαιο 8 διατυπώνονται τα στοιχεία και τα αποτελέσματα της μελέτης, ενός δικτύου εφαρμογής, καθώς και οι τελικές παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	1
1 Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	2
1.1 Εισαγωγή.....	2
1.2 Ιστορική ανασκόπηση ΣΗΕ.....	3
1.3 Δομή συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.....	5
1.3.1 Σταθμοί παραγωγής.....	5
1.3.2 Σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.....	8
1.3.3 Σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.....	9
1.3.4 Απομονωμένα και διασυνδεδεμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.....	10
1.4 Σύνθεση Ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.....	12
1.5 Συμβατικά συστήματα ηλεκτρικής Ενέργειας και διείδυση ΑΠΕ.....	13
1.6 Υβριδικοί σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας.....	14
1.7 Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (Combined Heat and Power -CHP).....	15
2 Διεσπαρμένη παραγωγή.....	16
2.1 Εισαγωγή.....	16
2.2 Τεχνολογίες Διεσπαρμένης Παραγωγής.....	18
2.2.1 Μονάδες με μη συμβατικά καύσιμα.....	19
2.2.1.1 Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά.....	19
2.2.1.2 Αιολικά συστήματα και Ανεμογεννήτριες.....	21
2.2.1.3 Υδάτινοι Ενεργειακοί Πόροι.....	23
2.2.1.3.1 Μικρά υδροηλεκτρικά.....	23
2.2.1.3.2 Εκμετάλλευση παλίρροιας.....	24
2.2.1.3.3 Εκμετάλλευση της ενέργειας των κυμάτων.....	24
2.2.2 Μονάδες με συμβατικά καύσιμα.....	25
2.2.2.1 Κυψέλες καυσίμου (Fuel Cells).....	25
2.2.2.2 Εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης.....	27
2.2.2.3 Αεριοστρόβιλοι, μικροστρόβιλοι (Gas turbines, microturbines).....	28
2.2.2.4 Μηχανές Stirling.....	29
2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Διεσπαρμένης παραγωγής.....	30
2.4 Παράγοντες επιλογής και οικονομικά χαρακτηριστικά Διεσπαρμένης Παραγωγής.....	32
2.5 Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας (ΣΗΘ) και αποκεντρωμένη παραγωγή.....	34
2.5.1 Σύγχρονες τεχνικές ΣΗΘ.....	35
2.5.2 Οι μονάδες Μικρο-συμπαράγωγής στον οικιακό τομέα.....	37
3 Φωτοβολταϊκά.....	38
3.1 Εισαγωγή.....	38
3.2 Ηλιακή ενέργεια.....	38
3.2.1 Εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.....	38
3.3 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	43
3.3.1 Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα Φ/Β Στοιχείου.....	46
3.3.2 Καμπύλη V-I του Φωτοβολταϊκού.....	47
3.3.3 Βαθμός Απόδοσης Φωτοβολταϊκών.....	49
3.3.4 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	51
3.3.5 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών.....	53
3.3.6 Αυτόνομα συστήματα.....	57
4 Ανεμογεννήτριες.....	60
4.1 Εισαγωγή.....	60
4.2 Χαρακτηριστικά του ανέμου.....	61
4.2.1 Ταχύτητα ανέμου.....	61

4.2.2	Μεταβολή ταχύτητας ανέμου με το ύψος.....	63
4.2.3	Ενεργειακό περιεχόμενο και ισχύς ανέμου.....	64
4.3	Κατασκευαστική διαμόρφωση ανεμογεννητριών.....	65
4.3.1	Βασικά υποσυστήματα και άλλα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.....	65
4.3.1.1	Ηλεκτρικό σύστημα.....	67
4.3.1.2	Μηχανικό σύστημα.....	69
4.3.1.3	Σύστημα ελέγχου.....	70
4.4	Μετατροπή αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική.....	72
4.4.1	Αεροδυναμική ισχύς.....	72
4.4.2	Λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου, λ.....	74
4.4.3	Καθορισμός της ονομαστικής ισχύος της ανεμογεννήτριας.....	75
4.4.4	Συντελεστής ισχύος ανεμογεννήτριας.....	76
4.5	Σύνδεση ανεμογεννήτριας στο ηλεκτρικό δίκτυο.....	77
5	Μονάδες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.....	78
5.1	Εισαγωγή.....	78
5.2	Τεχνολογίες μονάδων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.....	79
5.2.1	Αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά (Pumped Storage Systems – PSS).....	80
5.2.2	Συστήματα αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (Compressed Air Energy Storage).....	81
5.2.3	Σφόνδυλοι (Flywheel).....	83
5.2.4	Υπεραγώγιμη μαγνητική αποθήκευση-YMA (Superconducting Magnetic Energy Storage-SMES).....	85
5.2.5	Υπερπυκνωτές (Double-layer capacitors–DLC or supercapacitors).....	86
5.2.6	Συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές (Battery Energy Storage Systems -BESS).....	87
5.2.6.1	Συσσωρευτές ιόντων λιθίου (Li-ion).....	90
5.2.6.2	Συσσωρευτές οξέος μολύβδου PbO ₂ (Lead-Acid).....	91
5.2.6.3	Συσσωρευτές Νικελίου - Καδμίου (NiCd).....	93
5.2.6.4	Μπαταρίες ροής (Flow batteries).....	95
5.2.6.5	Τεχνολογία θειούχου νατρίου (NaS).....	97
5.2.6.6	Τεχνολογία λιθίου-πολυμερούς (Li-Polymer).....	97
5.2.6.7	Σύνοψη εφαρμογών και χαρακτηριστικών των αποθηκευτικών διατάξεων.....	98
5.3	Σύνοψη εφαρμογών και χαρακτηριστικών των αποθηκευτικών διατάξεων.....	99
6	Έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα (Smart Grids).....	100
6.1	Εισαγωγή.....	100
6.2	Τα στοιχεία υλοποίησης ενός έξυπνου δικτύου.....	102
6.3	Προτεινόμενα μοντέλα έξυπνου δικτύου.....	105
6.3.1	Μοντέλο έξυπνου δικτύου με Ιεραρχικά δίκτυα επικοινωνιών.....	105
6.3.2	Μοντέλο έξυπνου δικτύου με Μικροδίκτυα.....	107
6.4	Η Διαχείριση ζήτησης.....	108
6.4.1	Προγράμματα Διαχείρισης Ζήτησης και χρέωσης καταναλωτών.....	109
6.4.1.1	Σταθερή χρέωση (flat rate).....	109
6.4.1.2	Χρονοχρέωση (Time of Use – ToU).....	109
6.4.1.3	Κρίσιμη Χρέωση Αιχμής (Critical Peak pricing).....	110
6.4.1.4	Απευθείας Έλεγχος του Φορτίου (Direct Load Control -DLC).....	110
6.4.1.5	Εκπτώσεις τις Ωρες της Αιχμής (Peak time rebates).....	110
6.4.1.6	Χρέωση Πραγματικού Χρόνου (Real time pricing RTP).....	111
6.4.1.7	Εξοικονόμηση ενέργειας και βελτίωση ενεργειακής απόδοσης.....	111
6.5	Έξυπνοι μετρητές.....	112
6.6	Εικονική μονάδα παραγωγής ενέργειας (Virtual power plant -VPP).....	113
7	Το Μικροδίκτυο ως δομική μονάδα του έξυπνου δικτύου.....	114

7.1	Εισαγωγή.....	114
7.2	Τα μικροδίκτυα ως τρόπος ενσωμάτωσης των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής.....	116
7.3	Αποσαφήνιση της έννοιας του μικροδικτύου.....	117
7.3.1	Τι είναι το μικροδίκτυο.....	117
7.3.2	Τι δεν είναι μικροδίκτυο.....	119
7.4	Δομή Μικροδικτύου.....	120
7.5	Μικροδίκτυα ανά τον κόσμο.....	122
7.6	Προκλήσεις στην υλοποίηση των μικροδικτύων.....	124
7.6.1	Συγχρονισμός πολλαπλών μικρών γεννητριών.....	125
7.6.2	Η χρήση αντιστροφέων (Inverters).....	125
7.6.3	Διακοπτόμενη παραγωγή ισχύος από τις ΑΠΕ.....	125
7.6.4	Μελέτη και σχεδιασμός μικροδικτύων.....	125
7.6.5	Απομόνωση μικροδικτύου (Islanding).....	126
7.6.6	Προστασία μικροδικτύων.....	126
7.6.7	Μοντελοποίηση και εξομοίωση μικροδικτύων.....	127
7.6.8	Κόστος μικροδικτύων.....	127
7.7	Στρατηγικές λειτουργίας μικροδικτύων.....	128
7.8	Πολιτικές Συμμετοχής του Μικροδικτύου σε Αγορά Ενέργειας.....	129
7.8.1	Η Πολιτική του «Καλού Πολίτη».....	129
7.8.2	Λειτουργία Αγοράς Μικροδικτύου Συμπεριλαμβάνοντας Προσφορές Καταναλωτών - Demand Side Bidding (DSB).....	130
8	Δίκτυο Εφαρμογής με εγκατεστημένη ισχύ FC, MT, WT, PV.....	132
8.1	Συνοπτική Περιγραφή του Προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε.....	135
8.2	Αποτελέσματα Εφαρμογής.....	136
8.3	Σύνοψη Επίτευξης Στόχων στα Μικροδίκτυα και Μελλοντικές Μελέτες.....	140
	Βιβλιογραφία.....	141

Εισαγωγή

Η αξιόπιστη και αποδοτική παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι θεμελιώδης προϋπόθεση για την βιώσιμη ανάπτυξη και την ευημερία των κοινωνιών ανά τον κόσμο. Επομένως το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ή πιο συγκεκριμένα το ηλεκτρικό δίκτυο κάθε χώρας αποτελεί το πιο καίριο σύστημα υποδομών, καθώς οποιαδήποτε διαταραχή, που μπορεί να προκαλέσει την κατάρρευση της συνεχόμενης λειτουργίας του, ισοδυναμεί με σημαντική παράλυση ολόκληρης της χώρας, κάνοντας προφανή την εξάρτηση των σύγχρονων κοινωνιών από την αδιάλειπτη προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυξανόμενες ανησυχίες διατυπώνονται ως προς τις δυνατότητες εξασφάλισης προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας, με τους τρόπους που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα, καθώς διάφορα αναδυόμενα προβλήματα του 21ου αιώνα αμφισβητούν την βιωσιμότητα αυτών των μεθόδων. Ορισμένα από τα προβλήματα αυτά έχουν σχέση, με την απαίτηση της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, με την αυξανόμενη εισαγωγή ΑΠΕ στο δίκτυο, με την μείωση της διαθεσιμότητας των πρωτογενών ενεργειακών πόρων (ορυκτά καύσιμα), την παλαιότητα των υποδομών των ηλεκτρικών δικτύων και αποτελούν πρόκληση στην μέχρι τώρα αξιοπιστία, ασφάλεια και ποιότητα της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, μία σημαντική αναβάθμιση του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου διαφαίνεται πώς είναι απαραίτητη, προκειμένου να μπορέσει να ανταποκριθεί στις απαιτητικές σύγχρονες ανάγκες και στα αναδυόμενα προβλήματα.

Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί το βέλτιστο μέσο για την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που είναι διαθέσιμες, όπως η αιολική, η ηλιακή, τα βιοκαύσιμα και η υδροηλεκτρική. Κατ'επέκταση, το ηλεκτρικό δίκτυο είναι εκείνο που θα πρέπει να ενσωματώσει τον κύριο όγκο της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Η απαίτηση όμως για περαιτέρω ενσωμάτωση διανεμημένων πηγών ενέργειας στο δίκτυο, σε όλα τα επίπεδα τάσης, με έμφαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μη-εγγυημένης παραγωγής είναι μία πρόκληση που το “παραδοσιακό” δίκτυο δεν μπορεί να αντιμετωπίσει, έτσι απαιτούνται καινοτόμες λύσεις, εισαγωγή νέων τεχνολογιών και νέες αρχιτεκτονικές δικτύων, που θα το κάνουν

Αυτά τα ζητήματα θα διερευνήσουμε σε αυτήν την διπλωματική εργασία.

1 Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

1.1 Εισαγωγή

Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) ή σύστημα ηλεκτρικής ισχύος χαρακτηρίζεται ένα σύνολο εγκαταστάσεων, που αποτελείται από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, υποσταθμούς μετασχηματισμού τάσης για ανύψωση ή υποβιβασμό της τάσης, εναέριες και υπόγειες γραμμές μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, και τους καταναλωτές. Η διάταξη ενός ΣΗΕ φαίνεται στην Εικόνα 1.1.



Εικόνα 1.1: Το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (υποσταθμός ανύψωσης-υποβιβασμού, γραμμές μεταφοράς, γραμμές διανομής)

Η συνδυασμένη λειτουργία των εγκαταστάσεων ενός ΣΗΕ αποσκοπεί στη τροφοδότηση ηλεκτρικών καταναλωτών με την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια αξιόπιστα, με υψηλά ποιοτικά χαρακτηριστικά και με χαμηλό κόστος. Η αξιοπιστία αναφέρεται όχι μόνο στην αδιάλειπτη ικανοποίηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από τους καταναλωτές, αλλά και στην ικανοποίηση των χρονικών και τοπικών διακυμάνσεων του φορτίου. Η ποιότητα αναφέρεται στην τήρηση θεσμοθετημένων ορίων διακύμανσης της τάσης και της συχνότητας, τα οποία συνήθως είναι 5% και 0,5% αντίστοιχα.

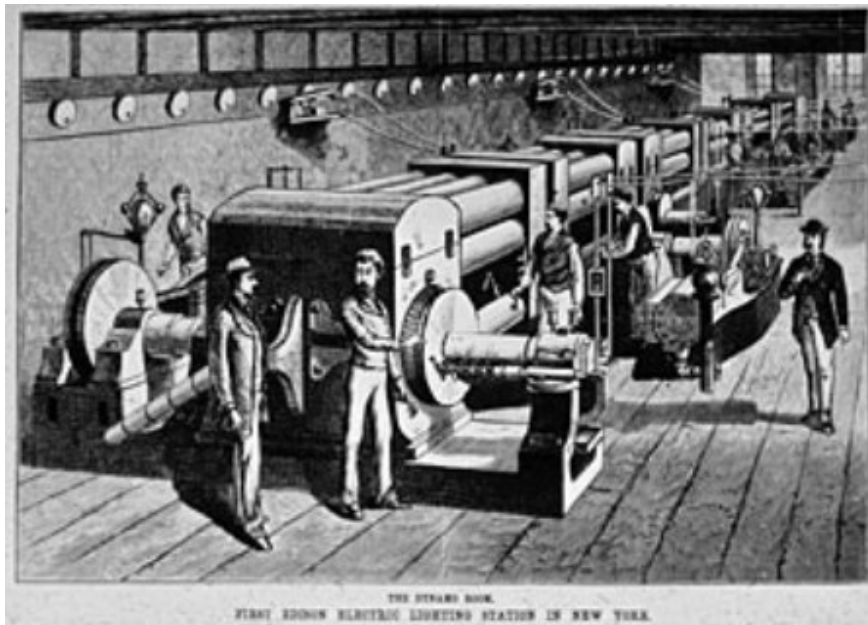
Η εξασφαλισμένη τροφοδοσία με ηλεκτρική ισχύ είναι μια από τις βασικές προϋποθέσεις για την σύγχρονη ζωή. Ελλιπής ή διακεκομμένη τροφοδότηση μπορεί να επιφέρει τεράστιες ζημιές στην οικονομία και στην κοινωνική τάξη. Αρκεί εδώ χαρακτηριστικά να σημειωθεί ότι η καθολική διακοπή του ρεύματος, που λέγεται και ολική σβέση (black out), η οποία έγινε το 1977 για 53 λεπτά στη Νέα Υόρκη των ΗΠΑ στοίχισε τότε μερικά δισεκατομμύρια δολάρια[1].

Αξίζει να σημειωθεί πως, τα ΣΗΕ, από τότε που καθιερώθηκαν, σχεδιάστηκαν με την λογική ότι η ισχύς του συστήματος θα έχει μία κατεύθυνση από τους μεγάλους σταθμούς παραγωγής, στο σύστημα μεταφοράς, ύστερα στο σύστημα διανομής και από εκεί στους καταναλωτές. Αυτή η λογική αναθεωρείται στις μέρες μας, όπως θα δούμε στα επόμενα κεφάλαια, και γίνονται προσπάθειες για την ένταξη μονάδων παραγωγής, διαφόρων επίπεδων ισχύος, σε όλα τα στάδια των ΣΗΕ με αμφίδρομη ροή ισχύος ανάμεσα στα διάφορα επίπεδα τάσης. Επίσης σημαντική προσπάθεια γίνεται στην ενσωμάτωση μονάδων αποθήκευσης, κάτι που δεν είναι διαδεδομένο στο δίκτυο. Όλες αυτές οι προσπάθειες αλλαγής των ΣΗΕ συντελούν στην ενσωμάτωση όσο το δυνατόν περισσότερων ΑΠΕ στα δίκτυα, αλλά και την εξοικονόμηση ορυκτών καυσίμων μέσω της καλύτερης διαχείρισης των πόρων των ΣΗΕ.

1.2 Ιστορική ανασκόπηση ΣΗΕ

Η πρώτη εμπορική χρήση του ηλεκτρισμού άρχισε γύρω στο 1870, όταν χρησιμοποιήθηκαν οι λαμπτήρες τύξου για φωτισμό οικιών και οδών. Νωρίτερα, πριν το 1800, η γνώση, γύρω από τον ηλεκτρισμό περιοριζόταν κυρίως στις μελέτες των ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων που είχαν γίνει από κάποιους πρωτοπόρους ερευνητές.

Το 1660 ο γνωστός και ως ‘Δήμαρχος του Μαγδεμβούργου’ Otto von Guericke κατασκεύασε την πρώτη ηλεκτροστατική μηχανή. Στα χρόνια που ακολουθούν, κατά τους 18ο και 19ο αιώνα, η ανακάλυψη διαδέχεται την άλλη, διατυπώνονται οι πρώτοι νόμοι του ηλεκτρισμού και κατασκευάζονται οι πρώτες ηλεκτρικές μηχανές. Ο Benjamin Franklin (1706-1790), χαρακτήρισε τα ηλεκτρικά φορτία που εμφανίζονται πάνω στο γυαλί θετικά και εκείνα που εμφανίζονται επάνω στον εβονίτη αρνητικά. Ο ίδιος εφευρίσκει και το αλεξικέραυνο. Οι εργασίες του B.Franklin εμπνέουν τους νεότερους Michael Faraday, Luigi Galvani, Alessandro Volta, Andre-Marie Ampere και Georg Simon Ohm να διατυπώσουν τους βασικούς νόμους που διέπουν φαινόμενα που σχετίζονται με τον ηλεκτρισμό. Ο James Clerk Maxwell (1833-1879) διατύπωσε τους ομώνυμους



THE STRAND WORKS.
FIRST EDISON ELECTRIC LIGHTING STATION IN NEW YORK.

Εικόνα 1.2: Απεικόνιση σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
νόμους, εκφράζοντας τις σχέσεις ανάμεσα στα ηλεκτρικά και μαγνητικά μεγέθη. Η μαθηματική έκφραση των σχέσεων αυτών, οι γνωστές εξισώσεις του Maxwell, αποτελούν τη θεωρητική βάση όλων των ενεργειακών συστημάτων.[1]

Παράλληλα με τους πρωτοπόρους της θεωρητικής έρευνας, εμφανίζονται και οι πρώτες πειραματικές διατάξεις που έχουν στόχο την αξιοποίηση της νέας αυτής μορφής ενέργειας. Έτσι το 1866 προτείνεται από τον Werner von Siemens η πρώτη στρεφόμενη ηλεκτρική μηχανή. Την ίδια εποχή ο Heinrich Göbel κατορθώνει μετά από πολλά πειράματα να κατασκευάσει την πρώτη λυχνία για ηλεκτρικό φωτισμό. Οι Willis Whitnew και Thomas Edison βελτιώνουν στη συνέχεια την κατασκευή αυτή, αντικαθιστώντας το μεταλλικό νήμα με νήμα από βολφράμιο και αυξάνοντας τη φωτεινή απόδοση της ηλεκτρικής λυχνίας.[1]



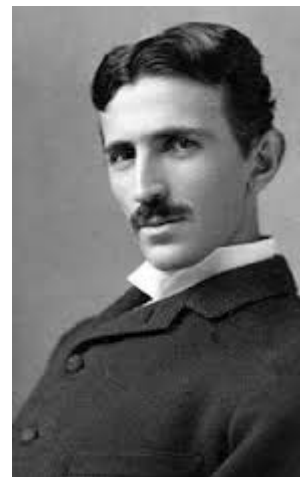
Εικόνα 1.3: Ηλεκτρικός λαμπτήρας από τον Edison.

Το πρώτο πλήρες ηλεκτρικό σύστημα, αποτελούμενο από γεννήτρια, καλώδιο, ασφάλεια, μετρητή και φορτία, ήταν αυτό που εγκαταστάθηκε από τον Thomas Edison στην πόλη της Νέας Υόρκης, ο ιστορικός σταθμός της Pearl Street που τέθηκε σε λειτουργία το 1882. Αυτό ήταν ένα σύστημα συνεχούς ρεύματος (dc) που αποτελούνταν από μία ατμομηχανή που κινούσε μία γεννήτρια συνεχούς και τροφοδοτούσε με ηλεκτρική ενέργεια 59 καταναλωτές σε μία περιοχή ακτίνας 1.5 km. Τα φορτία, που ήταν αποκλειστικά λαμπτήρες πυρακτώσεως, τροφοδοτούνταν σε μια τάση 110 V μέσω υπόγειου καλωδίου. Πολύ σύντομα αντίστοιχα συστήματα λειτούργησαν στις περισσότερες μεγαλουπόλεις σε όλον τον κόσμο. Το τεχνικό πρόβλημα που αντιμετώπιζαν αυτά τα πρώτα ηλεκτρικά συστήματα, ήταν ότι παρέμεναν ανενεργά, ή τουλάχιστον υπολειπούν, κατά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου, καθόσον υπήρχε έλλειψη ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Θα έπρεπε, συνεπώς, να έρθει μία άλλη εφαρμογή για να καλύψει αυτήν την έλλειψη ζήτησης. Με την ανάπτυξη των κινητήρων, η ηλεκτρική κινητήρια ισχύς κατέστη γρήγορα πολύ δημοφιλής και χρησιμοποιήθηκε σε πολλές εφαρμογές, λύνοντας ταυτόχρονα το τεχνικό πρόβλημα της έλλειψης ζήτησης που προαναφέρθηκε. Με τα πρώτα αυτά συστήματα, λοιπόν, ξεκίνησε αυτό που έμελλε να εξελιχθεί σε μία από τις μεγαλύτερες βιομηχανίες στον κόσμο.[2]

Παρά την αρχική ευρεία χρήση των συστημάτων συνεχούς ρεύματος, αυτά πολύ γρήγορα αντικαταστάθηκαν πλήρως από τα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος (ac). Ο λόγος ήταν προφανής. Τα συστήματα συνεχούς δεν είχαν τη δυνατότητα να μεταφέρουν ισχύ σε μεγάλες αποστάσεις, διότι για να γίνει κάτι τέτοιο και συγχρόνως να κρατηθούν οι απώλειες μεταφοράς και οι πτώσεις τάσης σε αποδεκτά επίπεδα, έπρεπε τα επίπεδα τάσης να είναι υψηλά. Υψηλές, όμως, τάσεις δεν ήταν αποδεκτές ούτε για την παραγωγή ούτε για την κατανάλωση επειδή δεν το επέτρεπε η τεχνολογία της εποχής αλλά και η ασφάλεια των καταναλωτών. Η λύση, συνεπώς, θα ήταν να μεταφερόταν η ισχύς σε μεγάλες αποστάσεις υπό υψηλότερη τάση, η οποία στη συνέχεια θα μειωνόταν σε χαμηλότερες τιμές στις θέσεις όπου υπήρχαν τα φορτία. Η σχεδίαση και η ανάπτυξη μιας συσκευής που θα μετασχημάτιζε στα επιθυμητά επίπεδα τάση και ρεύμα πρόβαλε πλέον σαν επιτακτική ανάγκη.

Η ανάπτυξη του μετασχηματιστή οδήγησε στην ανάπτυξη των ηλεκτρικών δικτύων εναλλασσόμενου ρεύματος, τα οποία έγιναν ακόμη πιο ελκυστικά με την ανάπτυξη των πολυφασικών συστημάτων από τον Nikola Tesla. Οι πρωτοποριακές για την εποχή εφευρέσεις του τελευταίου όσον αφορά τους κινητήρες εναλλασσόμενου, τις γεννήτριες, τους μετασχηματιστές και τα συστήματα μεταφοράς αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη των σημερινών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.[2]

Με την επικράτηση του εναλλασσόμενου ρεύματος, άρχισε η ανάπτυξη των τοπικών ηλεκτροπαραγωγών σταθμών, οι οποίοι, με συστήματα μεταφοράς και διανομής που εκτείνονταν μέχρι τα όρια δράσης τους, εξυπηρετούσαν το φορτίο στενών γεωγραφικών περιοχών. Πολύ σύντομα γειτονικά τέτοια συστήματα άρχισαν να διασυνδέονται, ώστε να μπορούν να ανταλλάσσουν ενέργεια και να ικανοποιούν στη βάση της αμοιβαιότητας φορτία αιχμής, όχι κατ' ανάγκη σε ταυτοχρονισμό, που μόνα τους θα ήταν αδύνατον να ικανοποιηθούν. Με τέτοιου είδους διασυνδέσεις εξάλλου γινόταν καλύτερη εκμετάλλευση του εξοπλισμού κάθε συστήματος. Για να μπορέσουν βέβαια να συνδεθούν μεταξύ τους αυτά τα συστήματα έπρεπε προηγουμένως να λυθεί το τεχνικό πρόβλημα της τυποποίησης της συχνότητας, επειδή υπήρχαν συστήματα που λειτουργούσαν σε διαφορετικές συχνότητες, όπως 25, 50, 60 και 133 Hz. Στην Ευρώπη και στη χώρα μας η συχνότητα τυποποιήθηκε στα 50 Hz, ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες, στον Καναδά, στη Βραζιλία και σε μέρος της Ιαπωνίας η τυποποίηση έγινε στα 60 Hz.[2]



Εικόνα 1.4: Οι πρωτοποριακές εφευρέσεις του Nikola Tesla καθιέρωσαν την ανάπτυξη ΣΗΕ όπως τα ξέρουμε σήμερα.

1.3 Δομή συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας

Την δομή ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) την καθορίζει κυρίως το μέγεθος του. Άλλη είναι η δομή ενός μεγάλου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που εξυπηρετεί μία εκτεταμένη γεωγραφική περιοχή και άλλη η δομή ενός μικρού συστήματος που εξυπηρετεί μία μικρή περιοχή. Δεν υπάρχουν απόλυτοι κανόνες όσον αφορά τον τρόπο δόμησης ενός συστήματος που να εφαρμόζονται σε όλα τα συστήματα. Το κάθε σύστημα δομείται με βάση τις ιδιαιτερότητες που καλείται να εξυπηρετήσει. Όλα τα συστήματα, όμως, παρουσιάζουν την εξής ομοιότητα εργάζονται σε διάφορα επίπεδα τάσης που χωρίζονται μεταξύ τους με μετασχηματιστές.

Ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) αποτελείται από τις ακόλουθες διακριτές συνιστώσες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.5.

- σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας,
- γραμμές μεταφοράς υπερυψηλής, υψηλής και μέσης τάσης,
- γραμμές διανομής μέσης και χαμηλής τάσης,
- υποσταθμοί μετασχηματισμού τάσης,
- καταναλώσεις.

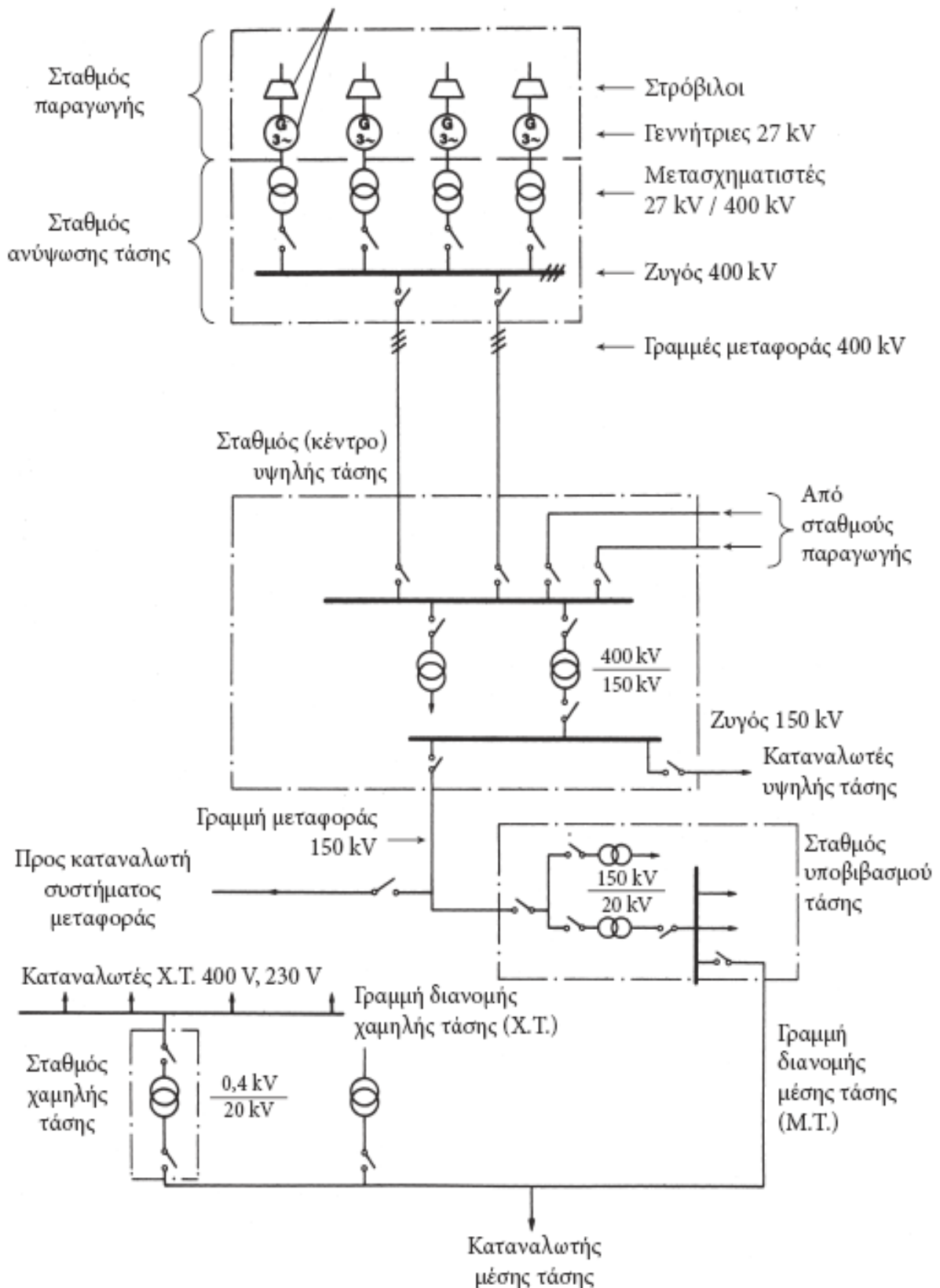
1.3.1 Σταθμοί παραγωγής

Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι μονάδες στις οποίες πραγματοποιείται η μετατροπή της αρχικής πηγής ενέργειας σε ηλεκτρική. Βέβαια, οι όροι “Παραγωγή ενέργειας” ή “Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας” που έχουν επικρατήσει χρησιμοποιούνται καταχρηστικά, καθώς η ενέργεια δεν παράγεται, προϋπάρχει σε διάφορες μορφές στην φύση, αλλά μετατρέπεται από την μία μορφή σε κάποια άλλη[3].

Οι σταθμοί παραγωγής σήμερα που παράγουν το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας, δεν έχουν αλλάξει από τα μέσα του 20ου αιώνα, και βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα, τους έχει δοθεί η ονομασία “συμβατικοί”. Μονάδες παραγωγής που δεν βασίζονται στα ορυκτά καύσιμα αλλά εκμεταλλεύονται πηγές ενέργειας, η οποίες δεν εξαντλούνται ή έχουν την δυνατότητα να ανανεώνονται με βιώσιμο ρυθμό, αποκαλούνται Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).

Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι[3]:

- Θερμοηλεκτρικά εργοστάσια, στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί προϊόν μετατροπής θερμικής ενέργειας από κάποιο ενδιάμεσο στάδιο της συνολικής αλληλουχίας ενεργειακών μετατροπών. Η αρχική μορφή ενέργειας, από την οποία ξεκινάει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να είναι είτε χημική ενέργεια ορυκτών καυσίμων (λιγνίτης, λιθάνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) είτε πυρηνική ενέργεια ορυκτών καυσίμων (ουράνιο, πλουτώνιο). Στη δεύτερη περίπτωση ο θερμοηλεκτρικός σταθμός έχει επικρατήσει να ονομάζεται πυρηνοληλεκτρικός. Οι θερμοηλεκτρικές γεννήτριες είναι σύγχρονες γεννήτριες, δηλαδή οι στροφές τους συμπίπτουν με την ονομαστική συχνότητα του παραγόμενου εναλλασσόμενου ρεύματος (στην Ελλάδα 50Hz).
- Υδροηλεκτρικά εργοστάσια, όπου η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από τη μετατροπή της διαθέσιμης δυναμικής ενέργειας νερού που βρίσκεται σε υψηλότερη υψομετρική στάθμη σε σχέση με τη θέση του υδροηλεκτρικού σταθμού (υδροδυναμική ενέργεια). Οι γεννήτριες στις οποίες υλοποιείται η μετατροπή αυτή ονομάζονται υδροστρόβιλοι και είναι, επίσης, σύγχρονες γεννήτριες.
- Διάφορες τεχνολογίες αξιοποίησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), όπως αιολικά πάρκα, φωτοβολταϊκοί σταθμοί, σταθμοί γεωθερμίας, σταθμοί βιομάζας, ηλιοθερμικοί σταθμοί, οι οποίες παρουσιάζουν ολοένα αυξανόμενο ποσοστό συμμετοχής στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως, από τη δεκαετία του '80 και έπειτα.



Εικόνα 1.5: Τυπική διάταξη ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. [1]

Η θέση εγκατάστασης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζεται από τεχνικοοικονομικούς παράγοντες. Έτσι οι υδροηλεκτρικοί και οι αιολικοί σταθμοί κατασκευάζονται, όπου υπάρχει εκμεταλλεύσιμο υδραυλικό ή αιολικό δυναμικό, οι λιγνιτικοί σταθμοί δίπλα στο πεδίο εξόρυξης. Ένας σημαντικός παράγοντας για την επιλογή της θέσης ενός θερμικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η διαθεσιμότητα του απαιτούμενου νερού για τη λειτουργία των κυκλωμάτων ψύξης. Τέλος μεγαλύτερη ευελιξία υπάρχει στη χωροθέτηση των σταθμών φυσικού αερίου και πετρελαίου, καθώς τα καύσιμα αυτά έχουν μεγάλη θερμογόνο δύναμη και η μεταφορά τους δεν επιβαρύνει σημαντικά το κόστος παραγωγής.[1]



Εικόνα 1.6: Φωτοβολταϊκό πάρκο.

Πρακτικά το σύνολο σχεδόν της παραγόμενης σήμερα ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνεται από περιστρεφόμενες γεννήτριες (ισχύος από 100 kW μέχρι πάνω από 1300 MW και τάσης λειτουργίας από 480 V μέχρι 25 kV), οπότε το τελευταίο βήμα της μετατροπής ενέργειας που λαμβάνει χώρα σε σταθμούς παραγωγής είναι από μηχανική σε ηλεκτρική ενέργεια. Εντατική πάντως έρευνα γίνεται για την ανάπτυξη μεθόδων άμεσης μετατροπής ενέργειας, χωρίς δηλαδή τη μεσολάβηση του ενδιάμεσου βήματος της μηχανικής ενέργειας. Παρόλο που αναπτύχθηκαν διάφορες τεχνικές άμεσης μετατροπής ενέργειας (θερμοηλεκτρική, θερμοιονική, μαγνητοϋδροδυναμική κ.α.) αυτές έχουν βρει εφαρμογές μόνο σε περιοχές που απαιτείται περιορισμένη παραγωγή ενέργειας. Θα έλεγε κανείς ότι είναι μάλλον αμφίβολο αν θα μπορούσαν αυτές οι μέθοδοι να αντικαταστήσουν σε μεγάλη κλίμακα τη χρήση των συμβατικών γεννητριών.[2]



Εικόνα 1.7: Ατμοηλεκτρικός σταθμός Πτολεμαΐδας

1.3.2 Σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υπερυψηλής τάσης και τους υποσταθμούς ανύψωσης και υποβιβασμού. Για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται εναέριες γραμμές ή υπόγεια καλώδια τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος. Σε σπανιότερες περιπτώσεις και κυρίως για διασυνδέσεις με υποθαλάσσια καλώδια, χρησιμοποιείται το συνεχές ρεύμα. Τυπικά επίπεδα τάσης για το δίκτυο της μεταφοράς είναι, για το Ελληνικό δίκτυο τα 150 kV και τα 400 kV ενώ στην Ευρώπη χρησιμοποιούνται και τα 220 kV. Οι υψηλότερες τάσεις μεταφοράς σε χρήση σήμερα είναι τα 1200 kV για το τριφασικό σύστημα και τα ± 600 kV για το συνεχές ρεύμα. Στους σταθμούς ή κέντρα μετασχηματισμού τάσης η τάση των ακροδεκτών των γεννητριών των σταθμών παραγωγής, η οποία είναι συνήθως 20 kV - 30 kV ανυψώνεται στα επίπεδα των τάσεων του συστήματος μεταφοράς. Στα αστικά και βιομηχανικά κέντρα κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, οι γραμμές μεταφοράς τερματίζουν σε αντίστοιχους υποσταθμούς, όπου οι τάσεις υποβιβάζονται στο επίπεδο των τάσεων του συστήματος διανομής, δηλαδή συνήθως στα 15 kV - 20 kV και σπάνια στα 6 kV.[1]



Εικόνα 1.8: Στόλος υψηλής τάσης

Όταν σχεδιάζουμε ένα σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας μια σειρά περιορισμών, οι σπουδαιότεροι από τους οποίους είναι :

- Το ήδη υπάρχον σύστημα.
- Η γεωγραφική θέση των κέντρων κατανάλωσης που υπάρχουν τώρα αλλά και αυτών που σχεδιάζονται για το μέλλον.
- Η κατάλληλη γεωγραφική θέση των σταθμών παραγωγής.[2]



Εικόνα 1.9: Υποσταθμούς ανύψωσης και υποβιβασμού υψηλής τάσης

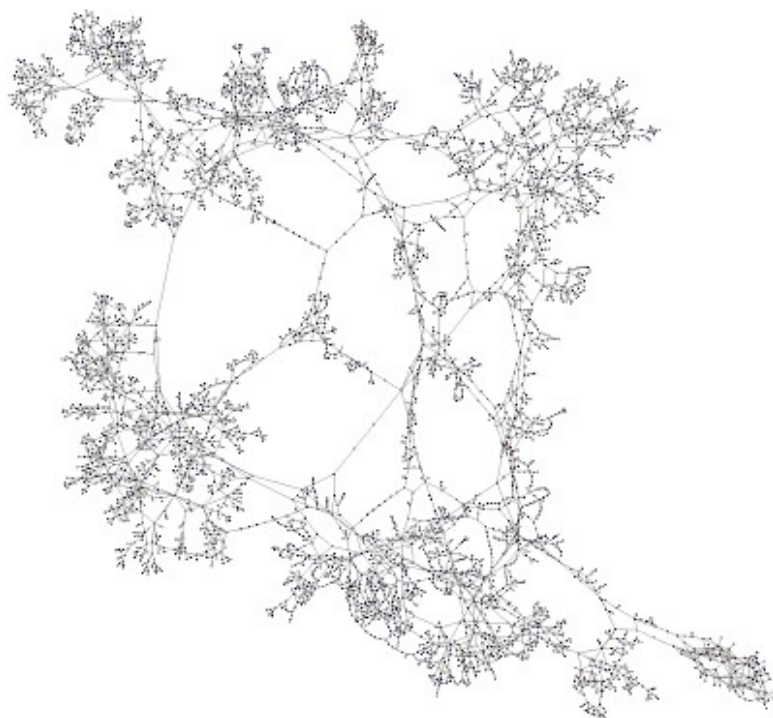
1.3.3 Σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

Αποτελεί τη συνέχεια του συστήματος μεταφοράς προς την κατεύθυνση της κατανάλωσης. Αποτελείται και αυτό από το σύνολο των εναέριων γραμμών και υπόγειων καλωδίων, καθώς και των υποσταθμών υποβιβασμού της τάσης. Η έκταση του συστήματος διανομής είναι πολλαπλάσια του αντίστοιχου της μεταφοράς, ενώ οι τάσεις λειτουργίας του χωρίζονται σε δυο επίπεδα, τη μέση τάση (MT) και τη χαμηλή τάση (XT). Στο ελληνικό δίκτυο διανομής η μέση τάση είναι 15 kV και συνηθέστερα 20 kV, ενώ η χαμηλή τάση είναι 0,4 kV. Το σύστημα διανομής περιλαμβάνει και τα φορτία, δηλαδή τους καταναλωτές της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά μπορεί να είναι οικιακοί και μικροί βιοτεχνικοί καταναλωτές ή μεγαλύτεροι βιομηχανικοί πελάτες. Ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ του καταναλωτή μεταβάλλεται η τάση και ο τρόπος της τροφοδοσίας του π.χ. μεμονωμένοι καταναλωτές ισχύος μέχρι 5,3 kW τροφοδοτούνται με μονοφασική τροφοδότηση στα 230 V. Καταναλωτές μικρής ισχύος π.χ. 50 kW έχουν τριφασική τροφοδότηση 0,4 kV, ενώ βιομηχανίες από π.χ. 100 kW και πάνω συνδέονται στη MT, δηλαδή στα 15 kV ή 20 kV. Ένας μικρός αριθμός ηλεκτροβόρων βιομηχανικών καταναλωτών συνδέεται απευθείας στο δίκτυο μεταφοράς στα 150 kV.[1]

Η βασική διαφορά στο σκοπό που εξυπηρετεί το σύστημα μεταφοράς, συγκρινόμενο με τα συστήματα διανομής, φαίνεται στον τρόπο δόμησης των δικτύων, Εικόνα 1.11. Ενώ το τελευταίο έχει γενικά (όχι όμως πάντοτε) ακτινική δομή, επειδή σκοπεύει στο να διοχετευθεί η ηλεκτρική ενέργεια σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις, το σύστημα μεταφοράς έχει δομή βρόχου και συνεπώς είναι σε θέση να διοχετεύει την ενέργεια σε μεγαλύτερο συνδυασμό κατευθύνσεων και να εξυπηρετεί έτσι καλύτερα το σκοπό της μεταφοράς.[2]



Εικόνα 1.10: Εναέριος υποσταθμός διανομής μέσης τάσης σε χαμηλή.



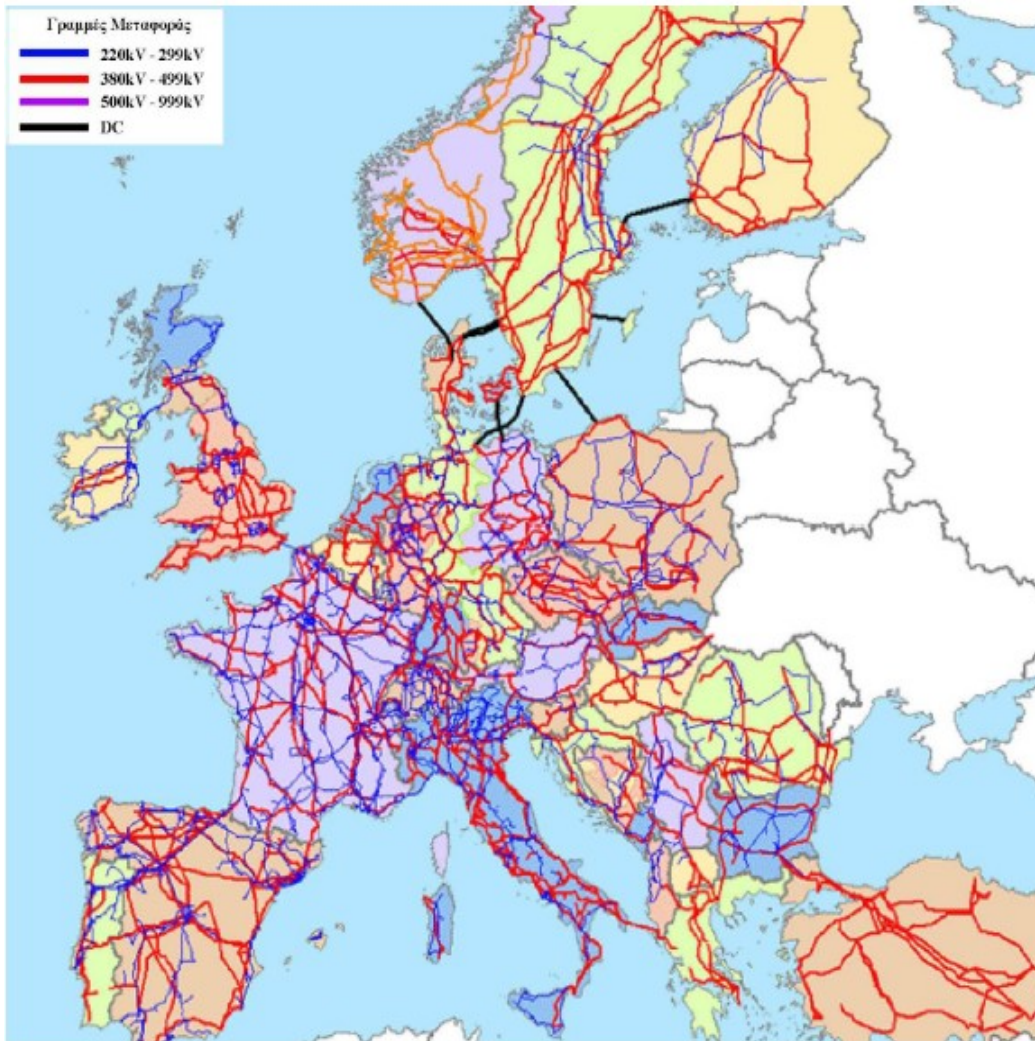
Εικόνα 1.11: Τοπολογία μέρους του ηλεκτρικού δικτύου των ΗΠΑ.

1.3.4 Απομονωμένα και διασυνδεδεμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας

Ένα ΣΗΕ ορίζεται ως διασυνδεδεμένο, όταν είναι ηλεκτρικά διασυνδεδεμένο με γειτονικά ΣΗΕ, π.χ. άλλων κρατών ή γεωγραφικών ενοτήτων. Επομένως, όλα τα ηπειρωτικά ευρωπαϊκά εθνικά δίκτυα είναι διασυνδεδεμένα μεταξύ τους. Επίσης τα Επτάνησα, και κάποια ακόμα από τα ελληνικά νησιά, έχουν διασυνδεθεί με το ηπειρωτικό εθνικό σύστημα μεταφοράς. Στην Εικόνα 1.12 παρουσιάζεται το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος στην Ελλάδα και το αυτόνομο σύστημα της Κρήτης. Αντίστοιχα στην Εικόνα 1.13 παρουσιάζονται οι διασυνδέσεις των εθνικών συστημάτων μεταφοράς στην Ευρωπαϊκή ήπειρο.



Εικόνα 1.12: Εθνικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας[3]



Εικόνα 1.13: Διασυνδέσεις εθνικών συστημάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη[3].

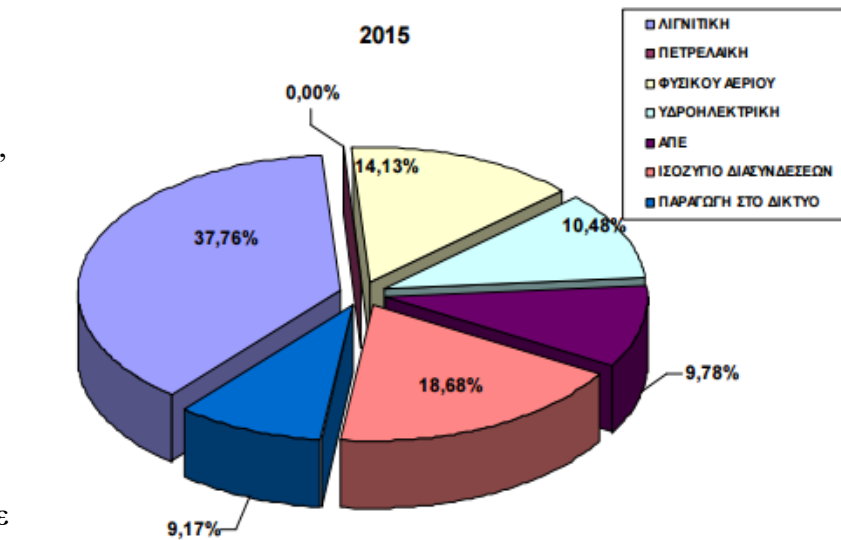
Ως απομονωμένο, ή μη διασυνδεδεμένο, σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (isolated ή autonomous power production system) ορίζεται το σύστημα το οποίο καλύπτει κατ' αποκλειστικότητα τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια μιας απομονωμένης γεωγραφικά περιοχής, στην οποία και είναι εγκατεστημένο, χωρίς να είναι διασυνδεδεμένο με "μεγάλα" δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Διαφορετικά λέμε ότι μία γεωγραφική περιοχή αποτελεί απομονωμένο ενεργειακό σύστημα, όταν όλες οι ανάγκες της σε ηλεκτρική ενέργεια καλύπτονται αποκλειστικά από συστήματα παραγωγής που είναι εγκατεστημένα στην περιοχή αυτή. Τα διασυνδεδεμένα ΣΗΕ δύνανται να αλληλοϋποστηριχτούν μεταξύ τους, μέσω της έγχυσης ηλεκτρικής ισχύος από το ένα στο άλλο. Η εξαγωγή και εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανάμεσα σε εθνικά δίκτυα μεταφοράς είναι μία διαδικασία διαδεδομένη και συχνά εφαρμοσμένη στα πλαίσια εμπορικών συμφωνιών μεταξύ κρατών, με σκοπό, κυρίως, τη μείωση του κόστους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Πολύ σημαντικότερη όμως είναι η δυνατότητα υποστήριξης ενός ΣΗΕ από τα συστήματα με τα οποία είναι διασυνδεδεμένο, στις περιπτώσεις εμφάνισης σφαλμάτων ή ανωμαλιών στην παραγωγή, που θέτουν σε κίνδυνο τη διατήρηση της δυναμικής ισορροπίας μεταξύ παραγωγής και ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Σε τέτοιες οριακές καταστάσεις, η δυνατότητα έγχυσης ισχύος από γειτονικά ΣΗΕ είναι δυνατό να αποτρέψει πιθανή κατάρρευση του συστήματος.[3]

Σε επόμενο κεφάλαιο, που θα μιλήσουμε για τα μικροδίκτυα, θα δούμε πως γίνονται προσπάθειες σήμερα για την διαίρεση των "μεγάλων" δικτύων σε μικροδίκτυα, στο ίδιο εθνικό δίκτυο, τα οποία θα είναι διασυνδεδεμένα μεν, με την δυνατότητα όμως να ανταλλάσσουν ισχύ αμφίδρομα, αλλά όταν χρειάζεται θα μπορούν να απομονώνονται και να λειτουργούν αυτόνομα.

1.4 Σύνθεση Ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

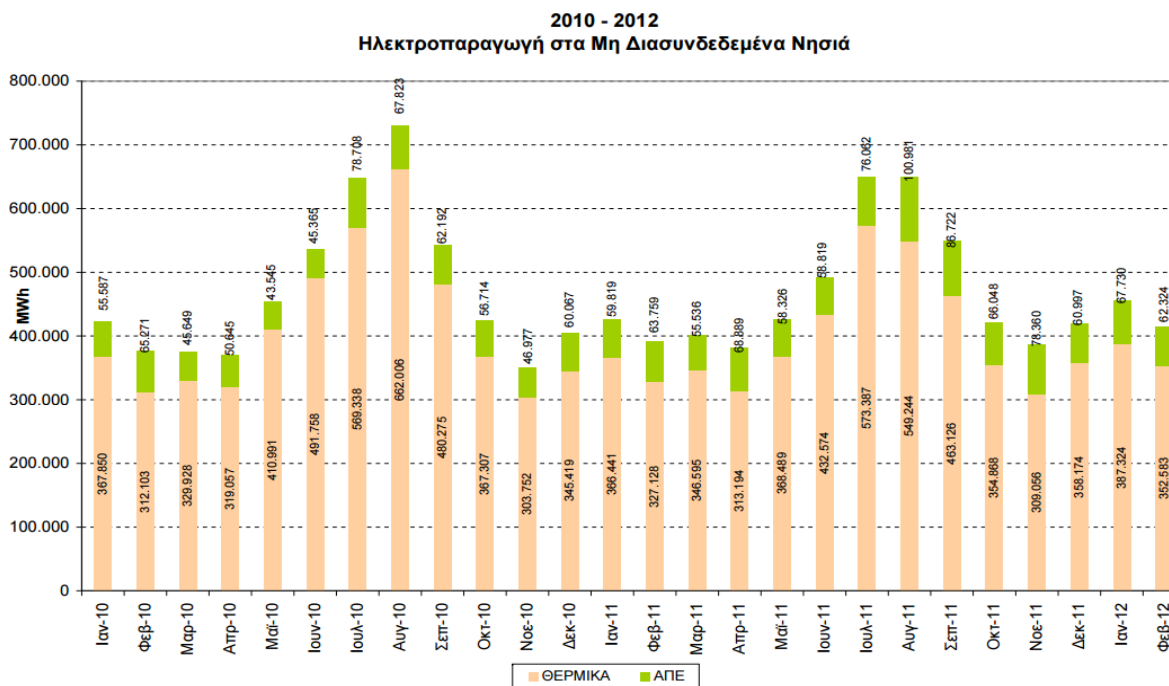
Οι μονάδες παραγωγής της ΔΕΗ είναι λιγνιτικές, υδροηλεκτρικές, πετρελαϊκές και φυσικού αερίου στην ηπειρωτική χώρα και σχεδόν εξ ολοκλήρου πετρελαϊκές στην Κρήτη, Ρόδο και τα υπόλοιπα νησιά. Τελευταία παρατηρείται αυξημένη διείσδυση και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), κυρίως αιολική ενέργεια και φωτοβολταϊκά, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα λιγνιτωρυχεία της ΔΕΗ στην Πτολεμαΐδα και τη Μεγαλόπολη εξασφαλίζουν το μεγαλύτερο για την ελληνική οικονομία ενεργειακό καύσιμο, το λιγνίτη, στον οποίο βασίστηκε ο εξηλεκτρισμός της χώρας μας από τη στιγμή της ίδρυσης της ΔΕΗ. Ο λιγνίτης βρίσκεται σε αφθονία στο υπέδαφος της Ελλάδας. Η χώρα μας κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την έκτη θέση παγκοσμίως. Με βάση τα συνολικά αποθέματα και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι στην



Εικόνα 1.14: Κατανομή της συνολικής παραχθείσας ηλεκτρικής ενέργειας ανά είδος (2015), στο διασυνδεδεμένο Σύστημα του ηπειρωτικού τμήματος της χώρας. [4]

Ελλάδα οι υπάρχουσες ποσότητες λιγνίτη επαρκούν για τα επόμενα 45 χρόνια. Σήμερα, οι 8 λιγνιτικοί σταθμοί της ΔΕΗ αποτελούν το 44% της εγκατεστημένης ισχύος και παράγουν το 62% περίπου της ηλεκτρικής παραγωγής της ΔΕΗ (2005).[2]



Εικόνα 1.15: Ηλεκτροπαραγωγή στα μη διασυνδεδεμένα νησιά [5]

1.5 Συμβατικά συστήματα ηλεκτρικής Ενέργειας και διείσδυση ΑΠΕ

Ένα συμβατικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι το σύστημα το οποίο βασίζει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μονάδες ελεγχόμενης και εγγυημένης παραγωγής. Τέτοιες μονάδες είναι εκείνες στις οποίες η τροφοδοσία της αρχικής προς μετατροπή ενέργειας (λιγνίτης/άνθρακας, πετρέλαιο κ.α.) μπορεί να ελεγχθεί και να προβλεφθεί προκειμένου να παραχθεί, κατά βούληση, η τελική μορφή ενέργειας (ηλεκτρική), σύμφωνα με τις επιταγές της ζήτησης. Για παράδειγμα, σε μία θερμοηλεκτρική μονάδα, δεδομένης της διαθεσιμότητας του καυσίμου, είναι δυνατό να ρυθμιστεί η λειτουργία της, κατά βούληση, με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας και τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, που καλείται να εξυπηρετήσει. Συνήθως μονάδες εγγυημένης παραγωγής είναι εκείνες στις οποίες η αρχική μορφή ενέργειας παρέχεται από μη ανανεώσιμες πηγές, κυρίως ορυκτά καύσιμα, όμως επιπλέον των ορυκτών καυσίμων, μονάδες εγγυημένης παραγωγής δύναται να αποτελούν εκείνες στις οποίες η αρχική μορφή ενέργειας προέρχεται από καύσιμα βιομάζας ή υδατοπτώσεις υδάτων (υδροηλεκτρικά), υπό την προϋπόθεση ότι η διαθεσιμότητά τους, ικανή ή ανεπαρκής αναφορικά με συγκεκριμένη ζήτηση ενέργειας, είναι γνωστή.

Σε αντίθεση, οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μη εγγυημένης παραγωγής είναι εκείνες στις οποίες η μετατροπή ενέργειας δεν είναι δυνατό να ελεγχθεί κατά βούληση από τον χρήστη. Σε αυτές τις περιπτώσεις η μετατροπή ενέργειας συνήθως καθορίζεται από τη διαθεσιμότητα της αρχικής μορφής ενέργειας, η οποία, σε αντίθεση με την περίπτωση των μονάδων εγγυημένης παραγωγής, είναι τυχαία και δεν μπορεί να ελεγχθεί. Τέτοιες μονάδες είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες, όπου η διαθεσιμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας ή του αιολικού δυναμικού αντίστοιχα, είναι τυχαία.

Στα συμβατικά συστήματα ενέργειας, μαζί με τις μονάδες εγγυημένης παραγωγής, μπορεί να συμπεριλαμβάνονται και μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής. Για παράδειγμα, το 2013 στο αυτόνομο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη, μαζί με τις θερμοηλεκτρικές μονάδες υπήρχαν εγκατεστημένα αιολικά πάρκα συνολικής ονομαστικής ισχύος περίπου 170MW, τα οποία συνεισέφεραν στην κάλυψη της ετήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στο νησί σε ποσοστό περίπου 17%[3].

Ο ρόλος των μονάδων αξιοποίησης των τεχνολογιών ΑΠΕ στα ανωτέρω συστήματα, δηλαδή των μονάδων μη εγγυημένης παραγωγής, είναι καθαρά επικουρικός. Προσβλέπουν δηλαδή, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα της πρωτογενούς μορφής ΑΠΕ, στην κάλυψη, όσο το δυνατό, μεγαλύτερου ποσοστού από τη ζήτηση τελικής ενέργειας, μειώνοντας αναλογικά την παραγωγή από τις μονάδες εγγυημένης παραγωγής και συμβάλλοντας, έτσι, στον περιορισμό της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων. Όμως οι κύριες μονάδες παραγωγής παραμένουν οι μονάδες εγγυημένης παραγωγής, όπου σε περίπτωση παντελούς έλλειψης συνεισφοράς από τις ΑΠΕ οι μονάδες εγγυημένης παραγωγής θα καλύπτουν την ζήτηση σε ποσοστό 100%. Η ένταξη μονάδων ΑΠΕ μη εγγυημένης παραγωγής στα συμβατικά ΣΗΕ έγκειται από διάφορους τεχνικούς περιορισμούς, εξαιτίας της σημαντικής επίδρασης τους, στην ασφαλή λειτουργία και ευστάθεια των ΣΗΕ. Η ιδιαίτερη αυτή επίδραση προκύπτει ακριβώς από το γεγονός της μεταβαλλόμενης και μη ελεγχόμενης παραγωγής ισχύος από τις μονάδες αυτές, η οποία θα πρέπει συνεχώς να αντιμετωπίζεται από τις υπόλοιπες ενταγμένες μονάδες εγγυημένης παραγωγής ισχύος (π.χ. θερμοηλεκτρικές μονάδες), ώστε η τελική παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος να συμπίπτει πάντα με την κατανάλωση. Ακραία περίπτωση των μεταβολών αυτών είναι η ξαφνική απώλεια μέρους, ή ολόκληρης, της παραγωγής μη εγγυημένης ισχύος, που μπορεί να προκύψει από διάφορες αιτίες, όπως ξαφνική απώλεια δυναμικού ΑΠΕ (π.χ. απότομη μείωση ηλιακής ακτινοβολίας λόγω νέφωσης) ή βλάβη των μονάδων παραγωγής (π.χ. θραύση πτερυγίου ανεμογεννήτριας λόγω κεραυνού). Στις περιπτώσεις αυτές, όσο υψηλότερη είναι η αρχική ποσοστιαία συμμετοχή των μονάδων ΑΠΕ στην παραγωγή, τόσο δυσκολότερα θα αντιμετωπιστεί από τις υπόλοιπες μονάδες εγγυημένης παραγωγής η απώλεια παραγωγής ισχύος.

1.6 Υβριδικοί σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας

Ένας υβριδικός σταθμός αποσκοπεί να μεγιστοποιήσει τη συμμετοχή μονάδων μη εγγυημένης παραγωγής, πρακτικά δηλαδή μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, στην κάλυψη μιας συγκεκριμένης ζήτησης ισχύος.

Σε αντίθεση με τον τρόπο ενσωμάτωσης των μονάδων μη εγγυημένης παραγωγής στα συμβατικά ΣΗΕ - όπου οι ελεγχόμενες μονάδες εγγυημένες παραγωγής (συμβατικές) πρέπει συνεχώς να μεταβάλλουν την παραγωγή ισχύος τους ώστε η διείσδυση ισχύος από της ΑΠΕ να γίνεται με ασφάλεια για το σύστημα τρόπο- όπου ο ρόλος τους παραμένει πάντα συμπληρωματικός, οι υβριδικοί σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας επιχειρούν να αντιστρέψουν αυτούς τους ρόλους των μονάδων ΑΠΕ και των συμβατικών μονάδων στα σύστημα ισχύος.

Ένας υβριδικός σταθμός αποτελείται από τρεις βασικές και διακριτές συνιστώσες[3]:

- Τις μονάδες βάσης, οι οποίες είναι μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής, πρακτικά μονάδες ΑΠΕ. Οι μονάδες βάσης αποτελούν τις κύριες μονάδες παραγωγής του συστήματος. Στην περίπτωση ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, αυτές μπορεί να είναι αιολικά πάρκα, φωτοβολταϊκοί σταθμοί κλπ
- Τις μονάδες αποθήκευσης, που σκοπό έχουν την προσαρμογή της τυχαίας παραγωγής ισχύος από τις μονάδες βάσης στη ζήτηση ισχύος. Στην περίπτωση ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, μονάδες αποθήκευσης μπορεί να είναι ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό (αντλιοσταμεικτήρας), ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές, μονάδα παραγωγής υδρογόνου ή μονάδες συμπίεσης αέρα
- Τις μονάδες εφεδρείας, που σκοπό έχουν την κάλυψη της ζήτησης ισχύος σε περίπτωση χαμηλής διαθεσιμότητας ισχύος από τις μονάδες βάσης και εξάντλησης των αποθεμάτων ενέργειας στις μονάδες αποθήκευσης. Στην περίπτωση ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, μονάδες εφεδρείας μπορεί να είναι κοινές θερμοηλεκτρικές μονάδες, κυρίως ντιζελογεννήτριες.

Οι υβριδικοί σταθμοί μπορούν να είναι μεγάλου μεγέθους και μικρού μεγέθους ή αλλιώς συγκεντρωμένης παραγωγής και αποκεντρωμένης παραγωγής, αντίστοιχα.

Επομένως, οποιοδήποτε σύστημα εμπεριέχει επαρκή χωρητικότητα αποθήκευσης ενέργειας, μπορεί να χρησιμοποιεί τις μονάδες μη εγγυημένης παραγωγής σαν την βασική του πηγή ενέργειας. Δυστυχώς τα ηλεκτρικά δίκτυα εμπεριέχουν πολύ μικρή δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας καθώς το κόστος των συσσωρευτών είναι ακόμα πολύ υψηλό. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κάποια τεχνολογία αποθήκευσης που να μπορεί με οικονομικό τρόπο να καλύψει τις ανάγκες των ηλεκτρικών δικτύων για επαρκή αποθήκευση ενέργειας. Όμως, η δημιουργία υβριδικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε σημεία με υψηλό αιολικό ή ηλιακό δυναμικό σε συνδυασμό με άλλους τοπικούς πόρους για αποθήκευση ενέργειας, όπως τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά, μπορούν να συνδράμουν σημαντικά στα υπάρχοντα συμβατικά ΣΗΕ, αφού αποτελούν μονάδες εγγυημένης παραγωγής.

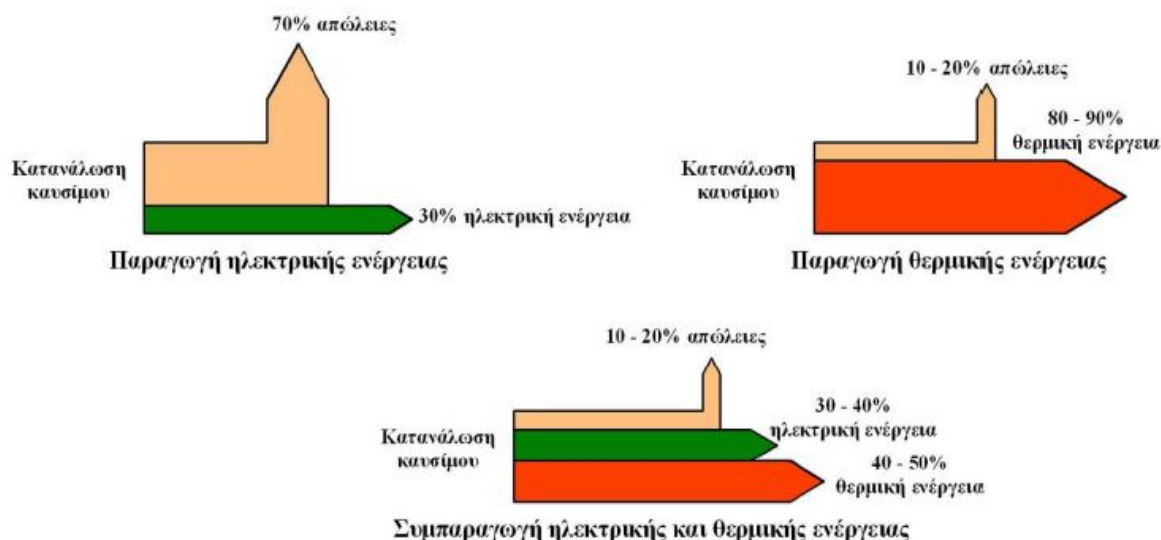
Ακόμη αξίζει να σημειωθεί, πως τα μικρότερα υβριδικά συστήματα, είναι αυτά που εδώ και χρόνια τροφοδοτούν οικιακούς καταναλωτές απομακρυσμένων περιοχών, με έλλειψη δυνατότητας σύνδεσης σε δίκτυο, τα οποία συνδυάζουν συνήθως φωτοβολταϊκά με μπαταρίες οξέως μολύβδου και κάποια ντιζελογεννήτρια ως μονάδα εφεδρείας.

1.7 Συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (Combined Heat and Power -CHP)

Τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παράγουν ηλεκτρική ισχύ με μικρό ποσοστό αξιοποίησης της εισερχόμενης πηγής ενέργειας, το οποίο φαίνεται από τους συντελεστές απόδοσης των συστημάτων αυτών. Το υπόλοιπο ποσοστό αποτελεί θερμική ισχύ, η οποία και αποβάλλεται στο περιβάλλον από τα συστήματα ψύξης. Ένα ποσοστό αυτής της παραγόμενης θερμικής ισχύος μπορεί να αξιοποιηθεί για ωφέλιμη χρήση, όπως την θέρμανση χώρων. Με αποτέλεσμα η ωφέλιμη ισχύς (ηλεκτρική και θερμική) που παράγεται από τις ίδιες ποσότητες της αρχικής προς μετατροπή ενέργειας (πχ ορυκτά καύσιμα) να είναι υψηλότερη, αυξάνοντας σημαντικά τον τελικό συντελεστή απόδοσης.

Τα συστήματα Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (Combined Heat and Power -CHP) παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική και θερμική ενέργεια σε ένα ενιαίο, ολοκληρωμένο ενεργειακό σύστημα, από την ίδια πηγή πρωτογενούς ενέργειας.

Αυτή η συνδυασμένη παραγωγή διαφέρει σε σχέση με την κοινή πρακτική, κατά την οποία η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται συνήθως συγκεντρωμένα σε σταθμούς παραγωγής μεγάλης ισχύος ενώ για την κάλυψη των αναγκών σε θερμότητα χρησιμοποιούνται αποκεντρωμένα συστήματα παραγωγής θερμικής ισχύος αποκεντρωμένης παραγωγής, τα οποία επιλέγονται κατά βούληση απευθείας από τον τελικό χρήστη (καυστήρες κεντρικής θέρμανσης, αντλίες θερμότητας κλπ).



Εικόνα 1.16: Ροή ενέργειας σε συμβατικούς ηλεκτρικούς και θερμικούς σταθμούς και σε σύστημα Σ.Η.Θ. [3]

Με δεδομένη την αυξημένη συνολική απόδοση, η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας παρουσιάζει μία σειρά ελκυστικών χαρακτηριστικών, τα οποία συνοψίζονται στα εξής:

- μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας ανά μονάδα τελικής παραγωγής ενέργειας,
- ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής ανά μονάδα τελικού ενεργειακού προϊόντος,
- μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων ανά μονάδα τελικής παραγωγής ενέργειας
- αυξημένο κίνητρο ανάπτυξης ενεργειακών συστημάτων αποκεντρωμένης παραγωγής (και διεσπαρμένης παραγωγής), λόγω της ταυτόχρονης παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος οι οποίες μπορούν να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των τοπικών καταναλωτών, αυξάνοντας ακόμα περισσότερο την υψηλή απόδοση λόγω ελαχιστοποίησης των απωλειών μεταφοράς.

2 Διεσπαρμένη παραγωγή

2.1 Εισαγωγή

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας έχουν σχεδιαστεί να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από κεντρικούς σταθμούς παραγωγής, να μεταφέρεται από το σύστημα μεταφοράς και να φτάνει στους τελικούς καταναλωτές μέσα από το σύστημα διανομής, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Υπάρχουν όμως και συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία λειτουργούν διάσπαρτα στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συστήματα όμως αυτά δεν ελέγχονται κεντρικά, συνδέονται συνήθως στο δίκτυο διανομής ή από την πλευρά του μετρητή του καταναλωτή, τροφοδοτούν με την παραγόμενη ισχύ τοπικά κυρίως φορτία, ενώ τυχόν περίσσειμα ισχύος προσφέρεται στο δίκτυο διανομής. Αυτό του είδους τα συστήματα παραγωγής ονομάζονται μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής.

Πιο συγκεκριμένα, η Μονάδα Διεσπαρμένης Παραγωγής (ΜΔΠ, Distributed Generation - DG) ορίζεται ως:

- η πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που συνδέεται απευθείας στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ή από την πλευρά του μετρητή του καταναλωτή και
- έχει ονομαστική ισχύ από μερικά kW έως 50 MW [1]

Εναλλακτικά στον όρο διεσπαρμένη παραγωγή, υπάρχει και ο όρος διανεμημένη παραγωγή.

Μία διαφοροποίηση μεταξύ των δύο όρων έγκειται στο ότι συνήθως η διεσπαρμένη παραγωγή συμπεριλαμβάνει τις ανεμογεννήτριες, που συμμετέχουν σε μεγάλα αιολικά πάρκα, ενώ η διανεμημένη όχι [2].

«Τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιείται η γενικότερη ορολογία των Διανεμημένων Πηγών ενέργειας (Distributed Energy Resources – DER), που περιλαμβάνουν τη διανεμημένη παραγωγή (Distributed Generation – DG), την αποθήκευση ενέργειας (energy storage) και τα αποκρινόμενα φορτία (responsive loads).» [1].

Οι εφαρμογές της διανεμημένης παραγωγής περιλαμβάνουν την κάλυψη κυμαινόμενων ή και βασικών φορτίων, την εκμετάλλευση τοπικών ενεργειακών δυναμικών, την εξομάλυνση αιχμών ζήτησης, τη συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας και την εγκατάσταση εφεδρείας ισχύος.[2]

Αν και η διεσπαρμένη παραγωγή δεν είναι κάτι καινούριο, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται η διαρκώς αυξανόμενη εγκατάσταση αυτών των μονάδων στο δίκτυο, το γεγονός αυτό σχετίζεται άμεσα με τους παρακάτω λόγους.

Πρώτον, στις διεθνείς προσπάθειές περιορισμού ή μείωσης των εκπομπών των αερίων και την αποτροπή της κλιματικής αλλαγής, οι οποίες έφεραν τις ανανεώσιμες πηγές στο προσκήνιο. Αρχικά με την διάσκεψη στο Κιότο (1997) και το πρωτόκολλο που υπογράφηκε από τις χώρες που συμμετείχαν, στην οποία τέθηκε η ανάγκη για μείωση των εκπομπών αερίων. Στην συνέχεια η παγκόσμια διάσκεψη για τις κλιματικές αλλαγές στην Κοπεγχάγη (7-19 Οκτωβρίου 2009) ήταν ο επόμενος σταθμός στην ιστορία που δείχνει πόσο επίκαιρες είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τον σπουδαίο ρόλο που μπορούν να διαδραματίσουν για την επίτευξη των παγκόσμιων στόχων.

Οι στόχοι που τέθηκαν από την Ευρωπαϊκή ένωση με χρονικό ορίζοντα επίτευξης το 2020, οι οποίοι περιλαμβάνουν:

- Βελτίωση της απόδοσης των ενεργειακών συστημάτων κατά 20%
- Αύξηση του ποσοστού διείσδυσης των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας στην τελική κατανάλωση στο επίπεδο του 20%
- Αύξηση του ποσοστού των βιοκαυσίμων στις μεταφορές κατά 10%.

Σημειώνεται ότι, ο στόχος για 20%, διείσδυση των ΑΠΕ αφορά το σύνολο των ενεργειακών χρήσεων. Καταλήγοντας, οι περιβαλλοντικοί προβληματισμοί και οι αντίστοιχες πολιτικές προώθησης περιβαλλοντικά φιλικών συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής, αποτελούν σήμερα την

κύρια κινητήρια δύναμη ανάπτυξης της διεσπαρμένης παραγωγής στην Ευρώπη.

Δεύτερον, στην ωριμότητα της τεχνολογίας των συστημάτων διεσπαρμένης παραγωγής. Η εισαγωγή νέων τεχνολογιών, όπως οι μικροστρόβιλοι είναι εμπορικά διαθέσιμες. Ενώ η σημαντική βελτίωση στην απόδοση υπαρχουσών τεχνολογιών, όπως οι εμβολοφόρες μηχανές και οι αεροστρόβιλοι, προσφέρονται στην αγορά σε μορφή ολοκληρωμένων συστημάτων που καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος σε σχέση με την ονομαστική ισχύ τους, από μερικά kW μέχρι εκατοντάδες MW[2]. Ακόμη η ευρεία εμπορική διάθεση και ζήτηση ηλεκτρικών συστημάτων ΑΠΕ μείωσε το κόστος παραγωγής περαιτέρω και βοήθησε στην βελτίωση της απόδοσης τους, με χαρακτηριστικά παράδειγμα τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες. Τεχνολογίες σαν τις θαλάσσιες κυματογεννήτριες όμως δεν εξελίχθηκαν ικανοποιητικά ακόμη, με αποτέλεσμα να μην είναι διαδεδομένες και εμπορικά διαθέσιμες, παραμένοντας σε ερευνητικό και δοκιμαστικό στάδιο ακόμα.

Τρίτον, στη λειτουργία απελευθερωμένων αγορών ηλεκτρικής ενέργειας. Στο περιβάλλον της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει αυξημένο ρίσκο στους συμμετέχοντες στην παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, οι συμμετέχοντες στην αγορά ενδιαφέρονται για τη μείωση αυτού του ρίσκου. Το κόστος για την κατασκευή μίας μεγάλης θερμικής μονάδας είναι πολύ υψηλό. Αυτό σημαίνει ότι, εξαιτίας των αβεβαιοτήτων της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να επιλεγεί η κατασκευή ΜΔΠ, επειδή έχουν μικρότερο οικονομικό ρίσκο. Επομένως η διεσπαρμένη παραγωγή αποτελεί έναν προνομιακό χώρο για ιδιωτικές επενδύσεις στην ηλεκτροπαραγωγή σε απελευθερωμένες αγορές ενέργειας. Οι ΜΔΠ προσφέρουν σημαντική ευελιξία για προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της κατανάλωσης. Το μικρό τους μέγεθος απαιτεί χαμηλά αρχικά κεφάλαια επένδυσης, άρα χαμηλότερο ρίσκο επένδυσης, ενώ οι χρόνοι κατασκευής είναι γενικά μικροί, σε σύγκριση με εκείνους των κεντρικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής. Επιπλέον για την εγκατάσταση συστημάτων διανεμημένης παραγωγής οι απαιτούμενες γραφειοκρατικές διαδικασίες είναι απλούστερες και δεν απαιτούνται πρόσθετες δαπάνες που σχετίζονται με τους μεγάλους σταθμούς παραγωγής, όπως απαιτήσεις διασύνδεσης, απαιτήσεις για εφεδρεία και βοηθητικές υπηρεσίες κ.λ.π. [2]

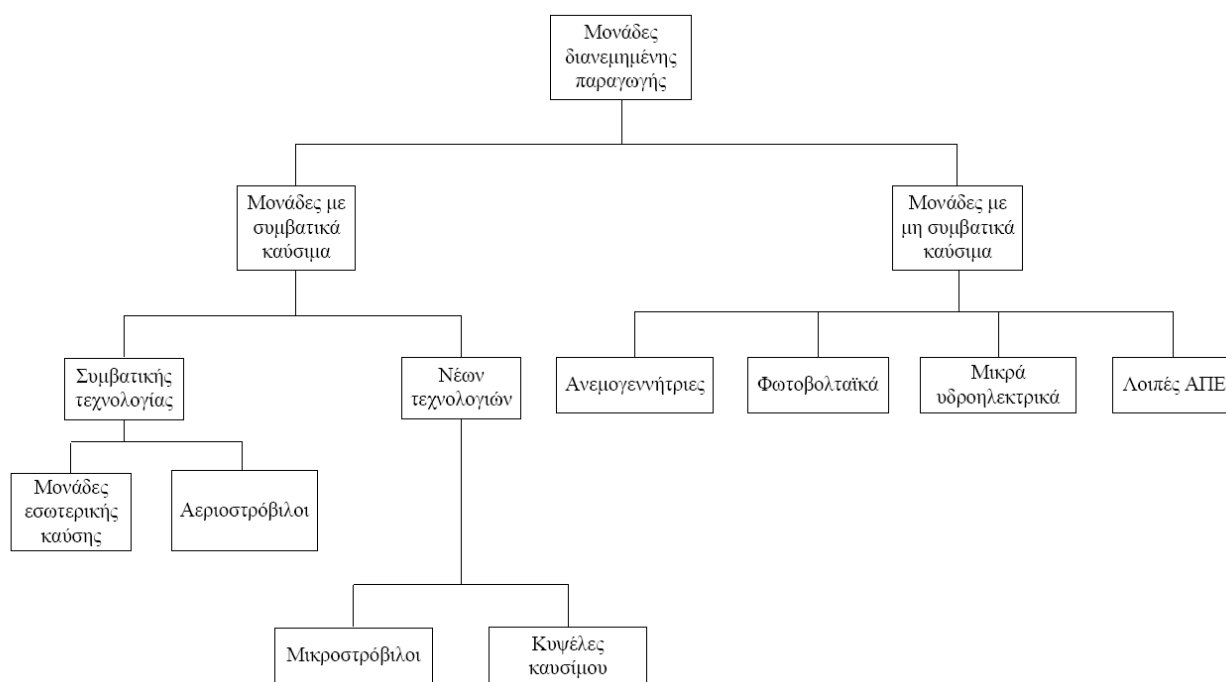
Τέταρτον, στις αυξημένες απαιτήσεις αξιοπιστίας από πλευράς των καταναλωτών. Το επίπεδο αξιοπιστίας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη είναι παραδοσιακά υψηλό, κυρίως λόγω των υψηλών προδιαγραφών λειτουργίας των συστημάτων. Η κατάσταση όμως αυτή είναι πιθανόν να αλλάξει προς το χειρότερο, καθώς το υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας συνεπάγεται και υψηλό κόστος για την ανάπτυξη και τη συντήρηση του συστήματος, Κάτι που δεν διασφαλίζεται υποχρεωτικά σε ένα απελευθερωμένο εμπορικά περιβάλλον [2]. Έτσι, η παρουσία των ΜΔΠ κοντά στα κέντρα κατανάλωσης φορτίου μπορεί να έχει θετική επίδραση στην ποιότητα ισχύος και στην αξιοπιστία παροχής. Με τις ΜΔΠ η ισχύς μεταφέρεται σε μικρότερη απόσταση, οπότε μειώνονται οι απώλειες. Επίσης, μειώνεται η ροή ισχύος από υψηλότερα επίπεδα τάσης προς το φορτίο. Αυτό μειώνει το ρίσκο υπερφόρτισης στα υψηλότερα επίπεδα τάσης. Η μεγαλύτερη μείωση των απωλειών επιτυγχάνεται όταν η ΜΔΠ βρίσκεται πολύ κοντά με το φορτίο. Αυτό συμβαίνει με τις οικιακές μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας και με τα φωτοβολταϊκά στις στέγες των κατοικιών [1].

2.2 Τεχνολογίες Διεσπαρμένης Παραγωγής

Οι βασικές τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής μπορούν να ταξινομηθούν όπως στην Εικόνα 2.1. Πιο συγκεκριμένα, οι ΜΔΠ διαχωρίζονται σε μονάδες με συμβατικά και μη συμβατικά καύσιμα. Οι μονάδες με συμβατικά καύσιμα διαχωρίζονται σε μονάδες συμβατικής τεχνολογίας (όπως μονάδες εσωτερικής καύσης και αεριοστρόβιλοι) και σε μονάδες νέων τεχνολογιών (όπως μικροστρόβιλοι και κυψέλες καυσίμου). Μονάδες με μη συμβατικά καύσιμα είναι οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), όπως οι ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά υδροηλεκτρικά και οι υπόλοιπες ΑΠΕ.

Επίσης, παραγωγοί και κατασκευαστές τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής αναζητούν τρόπους να συνδυάσουν τεχνολογίες (υβριδικά συστήματα) για να βελτιώσουν τις επιδόσεις και την απόδοση του εξοπλισμού διεσπαρμένης παραγωγής. Το πλεονέκτημα των υβριδικών συστημάτων είναι ότι όταν υστερεί η μία πηγή ενέργειας, συνήθως πλεονεκτεί η άλλη. Ο συνδυασμός ανεμογεννητριών, φωτοβολταϊκών και μπαταριών χρησιμοποιείται αρκετά συχνά σε απομονωμένες κατοικίες και οικισμούς όπου η πρόσβαση στο κεντρικό δίκτυο είναι πολύ δαπανηρή ή ακόμα και αδύνατη. Συνήθως στο σύστημα προστίθεται και μία ηλεκτρογεννήτρια με συμβατικά καύσιμα για μεγαλύτερη αξιοπιστία, ενώ η χρήση των μπαταριών (ή και κυψελών καυσίμου με υδρογόνο) είναι σχεδόν απαραίτητη σαν ποιο εύκολη λύση παροχής σταθερής τάσης στο σύστημα, αλλά και εφεδρείας. Όταν οι ΜΔΠ συνδέονται στο δίκτυο συνήθως η παροχή σταθερής τάσης προσφέρεται από το ίδιο το δίκτυο.

Τέλος, οι ΜΔΠ διαθέτουν διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος και συσκευές επικοινωνίας και ελέγχου, για την αποδοτική λειτουργία των μονάδων παραγωγής, για συμβατότητα με το υπάρχων ηλεκτρικό σύστημα παροχής, καθώς και για την επίτευξη του συνδυασμού των διάφορων τεχνολογιών μεταξύ τους σε ένα ενιαίο σύστημα (υβριδικά συστήματα).

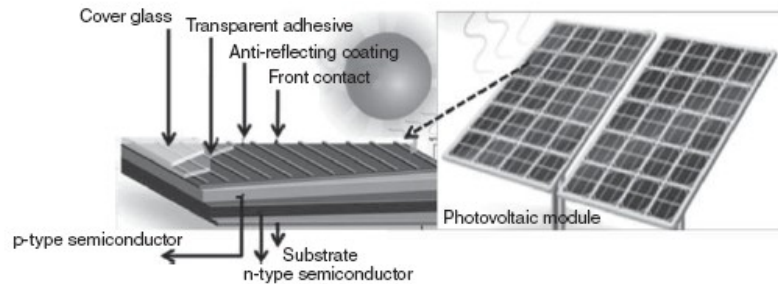


Εικόνα 2.1: Τεχνολογίες μονάδων διανεμημένης παραγωγής [1]

2.2.1 Μονάδες με μη συμβατικά καύσιμα

2.2.1.1 Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά

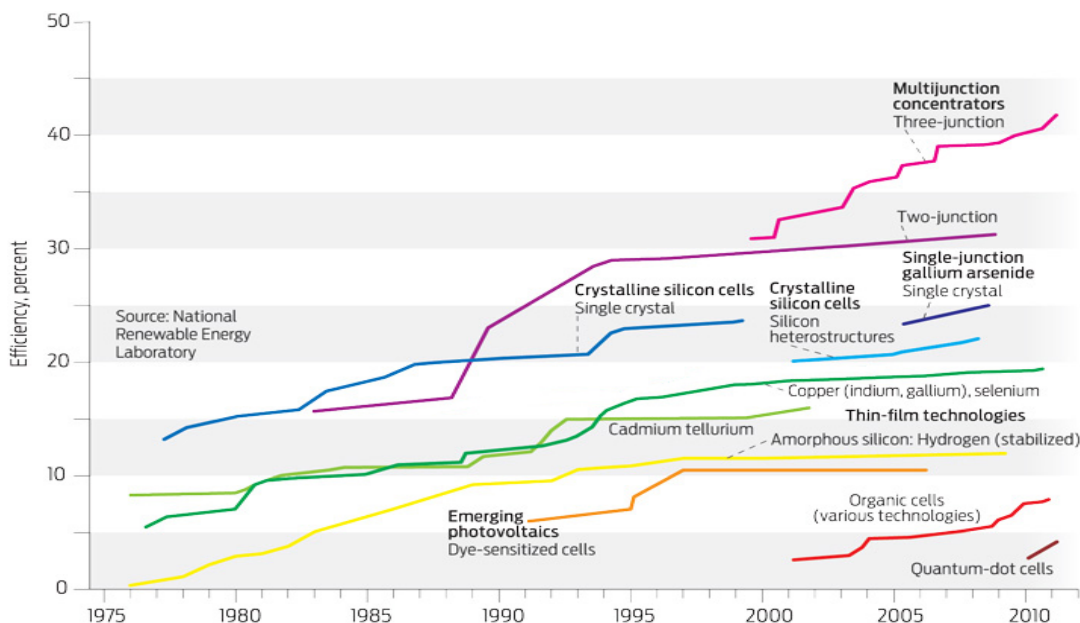
Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, με τη γνωστή μορφή των πάνελ, είναι η κύρια μορφή εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας σήμερα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν όμως και άλλα ηλιακά συστήματα τα οποία δεν παράγουν απευθείας ηλεκτρική ενέργεια ή δεν παράγουν καθόλου ηλεκτρική ενέργεια, αλλά χρησιμοποιούνται για την θέρμανση του νερού, θέρμανση αέρα, δημιουργία ψύξης κ.α. Αυτά τα συστήματα αν και δεν παράγουν ηλεκτρική ενέργεια παίζουν σημαντικό ρόλο στην μείωση χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας και των συμβατικών καυσίμων [3].



Εικόνα 2.2: Δομή τυπικού κελιού ενός Φ/Β πάνελ πυριτίου[3].

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική, συνεχούς ρεύματος. Η βασική φωτοβολταϊκή μονάδα (Εικόνα 2.2) είναι το στοιχείο ή κελί (cell), που μπορεί να αποτελείται από μονοκρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό ή άμορφο πυρίτιο. Πολλά κελιά συνδυάζονται σε ένα πλαίσιο (module) ή πάνελ (panel), ενώ πολλά πλαίσια δημιουργούν μία φωτοβολταϊκή συστοιχία (array). Δηλαδή ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από δεκάδες ή χιλιάδες φωτοβολταϊκά πάνελ, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους δημιουργώντας μία φωτοβολταϊκή συστοιχία.

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων οριζόμενη, ως ο λόγος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε συνθήκες πλήρους ηλιοφάνειας, είναι γενικά χαμηλή 17-40% (Εικόνα 2.3), όπου τα διαθέσιμα συστήματα στην αγορά δεν ξεπερνάνε το 24% μέχρι σήμερα.

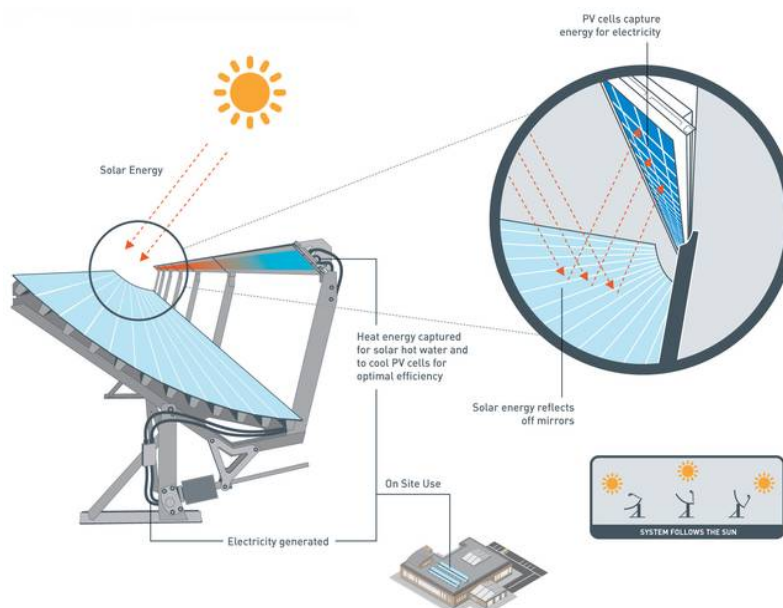


Εικόνα 2.3: Απόδοση ηλιακών κελιών ανά τεχνολογία κατασκευής.

Πίνακας 2.1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Ηλιακής ενέργειας, από Φωτοβολταϊκά συστήματα[4].

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Χωρίς καυσαέρια και αέρια του θερμοκηπίου, η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρότερη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.	Είναι ακόμα μία ακριβή τεχνολογία ανανεώσιμης ενέργειας.
Υπάρχει αφθονία παροχής καυσίμου, υπό την μορφή φωτός	Δεν είναι συνεχόμενη πηγή ενέργειας , καθώς ο ήλιος δεν είναι πάντα διαθέσιμος.
Είναι διαθέσιμη παντού, αρκεί να έχει λιακάδα.	Χρειάζεται ακριβούς μετατροπείς από DC σε AC.
Είναι κατάλληλη για διανεμημένη παραγωγή.	Χρειάζεται μπαταρίες ή σύνδεση στο δίκτυο για αδιάλειπτη λειτουργία.
Δεν υπάρχουν κινούμενα μηχανικά μέρη.	Απαιτούνται ακριβά υλικά συστήματα πολλά από τα συστήματα
Είναι αθόρυβα	Σε σχέση με άλλες μορφές ενέργειας ,χρειάζεται σχετικά αρκετός ελεύθερος χώρος.
Χρειάζονται αμελητέα συντήρηση, με διάρκεια ζωής κοντά στα 20 χρόνια	Η ενεργειακή απόδοση είναι ακόμα χαμηλή (17-40%).
Χρειάζεται μόνο μεγάλη επιφάνεια γης για μαζική παραγωγή.	Εύθραυστα υλικά χρησιμοποιούνται, οπότε χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή.

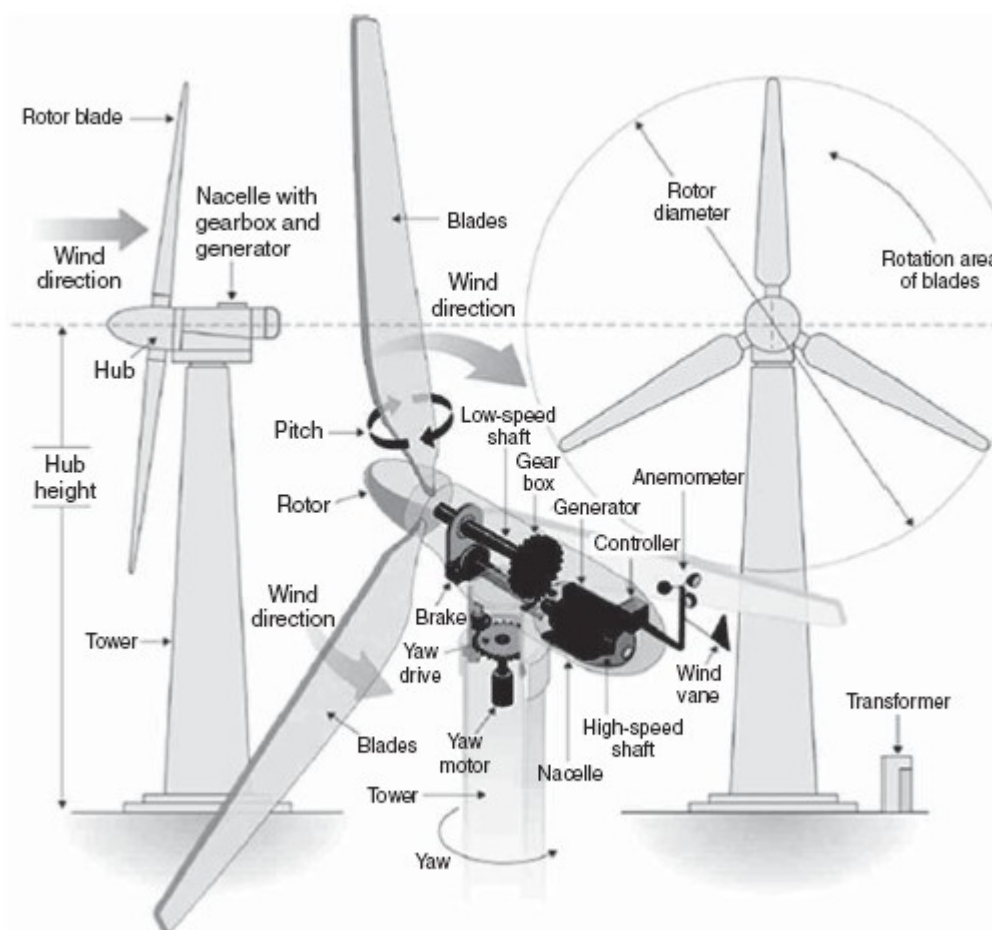
Ηλιακά συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας , όπως αυτό στην Εικόνα 2.4, μπορούν να έχουν συντελεστή απόδοσης πάνω από 70%. Στα συστήματα αυτά η συγκεντρωμένη ηλιακή ακτινοβολία από τα κάτοπτρα προσπίπτει σε φωτοβολταϊκά κύτταρα μικρής επιφάνειας και το ψυκτικό υγρό που τα ψύχει μεταφέρει την θερμότητα σε θερμοσυσσωρευτές. Η αποθηκευμένη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή για ψύξη.



Εικόνα 2.4: Ηλιακό σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας [Cogentra]

2.2.1.2 Αιολικά συστήματα και Ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν τον άνεμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μια τουρμπίνα με πτερωτές τοποθετείται στην κορυφή ενός ψηλού πύργου. Ο πύργος είναι ψηλός ούτως ώστε να εκμεταλλευόμαστε τη μεγαλύτερη ταχύτητα του ανέμου, απαλλαγμένη από τις αναταράξεις που προέρχονται από τη μεσολάβηση εμποδίων όπως δέντρα, λόφοι και κτίρια. Όπως περιστρέφεται η τουρμπίνα με τον άνεμο, μια γεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Μια ανεμογεννήτρια μπορεί να ποικίλλει σε μέγεθος από λίγα kW σε οικιακές εφαρμογές έως μερικά MW. Η ανεμογεννήτρια που περιγράφηκε προηγουμένως ονομάζεται οριζόντιου άξονα, όπως στην Εικόνα 2.5.

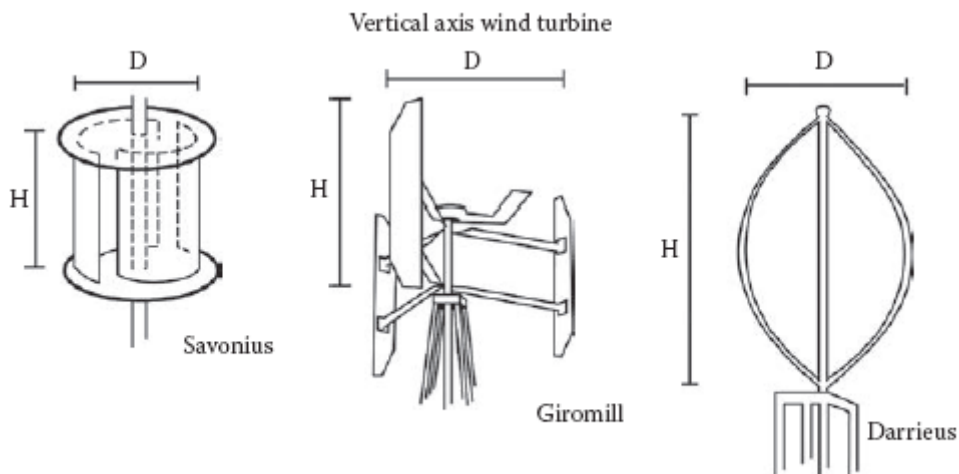


Εικόνα 2.5: Γεννήτρια οριζοντίου άξονα [3].

Υπάρχουν όμως και ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα όπως στην εικόνα Εικόνα 2.6 στις οποίες, όπως λέει και το όνομα τους, ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος ως προς την επιφάνεια της γης, με την γεννήτρια τοποθετημένη στην βάση της κατασκευής, αυτές οι ανεμογεννήτριες αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της συνολικής εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, λόγω της χαμηλής τους απόδοσης σε σύγκριση με τις ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα.

Η κυριότερη εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η σύνδεσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο μιας χώρας. Στήνονται λοιπόν, αιολικά πάρκα, συστοιχίες δηλαδή ανεμογεννητριών σε περιοχές όπου το αιολικό δυναμικό είναι ικανό να καταστήσει μία τέτοια επένδυση βιώσιμη, και συνδέονται στο δίκτυο με την βοήθεια υποσταθμών. Με αυτόν τον τρόπο προσφέρεται στο δίκτυο η συνολικά παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Μία άλλη εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι σε αυτόνομα συστήματα, τα οποία δεν ηλεκτροδοτούνται από το δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει και η δυνατότητα χρήσης ακόμα και συσσωρευτών, στους οποίους αποθηκεύεται η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια και χρησιμοποιείται σε συνθήκες άπνοιας.

Αναλυτικότερα για τις ανεμογεννήτριες θα μιλήσουμε σε παρακάτω κεφάλαιο.



Εικόνα 2.6: Ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα.

Πίνακας 2.2: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας[3].

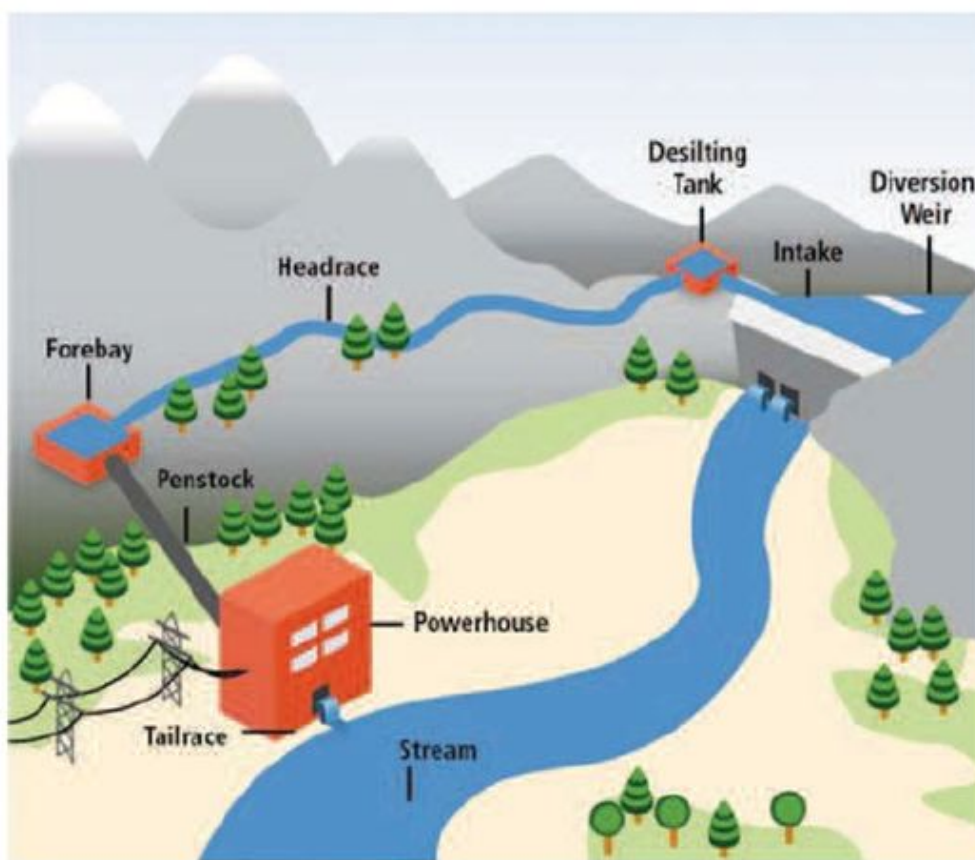
Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Όπως η ηλιακή, έτσι και η αιολική δεν παράγει αέρια που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.	Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να εγκατασταθούν μόνο σε περιοχές που άνεμος φυσάει συχνά, επομένως δεν είναι όλες οι γεωγραφικές περιοχές κατάλληλες για ανεμογεννήτριες.
Οι επενδύσεις στις ανεμογεννήτριες μπορούν να επιστραφούν σε μερικά χρόνια.	Για οικιακούς χρήστες οι ανεμογεννήτριες δεν είναι κατάλληλες καθώς παράγουν θόρυβο, επίσης είναι δύσκολο να υπάρχει καλή απόδοση, καθώς σε κατοικημένες περιοχές υπάρχουν διάφορα εμπόδια, υποβαθμίζοντας την ισχύ του ανέμου με διάφορους τρόπους.
Είναι παντελώς ανανεώσιμη και ανεξάντλητη πηγή ενέργειας.	Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να καταστραφούν κατά την διάρκεια καταιγίδων.
Σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες είναι η φθηνότερη επιλογή.	

2.2.1.3 Υδάτινοι Ενεργειακοί Πόροι

2.2.1.3.1 Μικρά υδροηλεκτρικά

Τα υδροηλεκτρικά μπορούν χωριστούν σε τρεις κατηγορίες με βάση το μέγεθος και κατ'έκταση την ισχύ που παράγουν, σε μεγάλα υδροηλεκτρικά ($\geq 30\text{MW}$), σε μικρά υδροηλεκτρικά (100kW με περίπου 30MW) και σε μικρουδροηλεκτρικά ($< 100\text{kW}$)[4]

« Με τον όρο Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο, σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία, εννοούμε ένα υδροηλεκτρικό έργο εγκατεστημένης ισχύος μέχρι 15MW . Η αρχή λειτουργίας ενός τυπικού μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού (ΜΥΗΣ) βασίζεται στην εκμετάλλευση της δυναμικής ενέργειας των επιφανειακών υδάτων, με μετατροπή της αρχικά σε κινητική ενέργεια και στη συνέχεια σε ηλεκτρική. Η εγκατάσταση ενός ΜΥΗΣ αξιοποιεί τη φυσική πτώση των νερών και την υψομετρική διαφορά μέσω ενός υπό πίεση υδραυλικού συστήματος που διοχετεύει το νερό σε ένα στρόβιλο.»[5]



Εικόνα 2.7: Μικρό Υδροηλεκτρικό, source: Energypedia

Ο ορισμός ενός μικρού υδροηλεκτρικού διαφέρει ανά χώρα. Στην Ευρώπη, για παράδειγμα, κυμαίνεται από 100kW μέχρι 10MW και σε κάποιες άλλες χώρες μέχρι 25MW ή 30MW . Το World Energy Council εκτιμά πως μικρά υδροηλεκτρικά (μέχρι 10MW) είχαν συνολική εγκατεστημένη ισχύ γύρω στο 25.5GW το 2006 και 55GW το 2010 [4].

«Τα ΜΥΗΕ έχουν την μεγαλύτερη ενεργειακή αποδοτικότητα (παραγόμενη ενέργεια ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος) από όλες τις τεχνολογίες ΑΠΕ. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η ενεργειακή αποδοτικότητα των ΜΥΗΕ ξεπερνά τα 40% τη στιγμή που η αντίστοιχη αποδοτικότητα ανέρχεται σε 25% για τα αιολικά και σε 16% για τα Φωτοβολταϊκά.»[6]

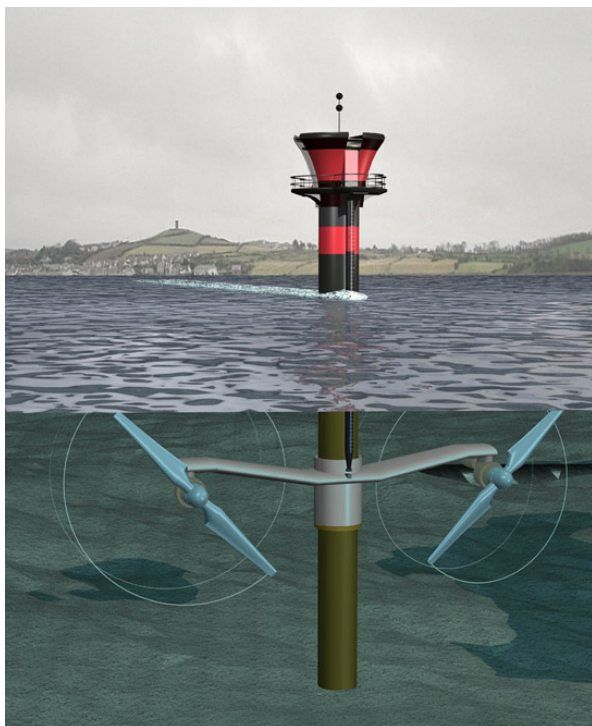
«Σύμφωνα πάλι με τα πρόσφατα στοιχεία του ΛΑΓΗΕ, κάθε kWh που παράγεται από ΜΥΗΕ, αποζημιώνεται με τιμή που ανέρχεται στο 49% περίπου της μέσης τιμής ενέργειας από όλες τις ΑΠΕ και με το 26% περίπου του μέσου κόστους μιας φωτοβολταϊκής kWh .»[6]

2.2.1.3.2 Εκμετάλλευση παλίρροιας

Οι παλίρροιας δημιουργούνται στην επιφάνεια της γης από την βαρυτική έλξη της σελήνης και του ήλιου. Η επίδραση της σελήνης στην γη, ως προς την δημιουργία παλίρροιας είναι μεγαλύτερη από εκείνη του ήλιου, παρόλο που η βαρυτική δύναμη από τον ήλιο είναι μεγαλύτερη.

Το ενεργειακό δυναμικό από την εκμετάλλευση της ροής των παλιρροιών εκτιμάται 2200 Twh/χρόνο.[4]

Ένας τρόπος αξιοποίησης της κινητικής ενέργειας που προκαλούν οι παλίρροιας, με σχετικά χαμηλό περιβαλλοντικό κόστος, είναι η εγκατάσταση υποβρύχιων τουρμπίνων (Εικόνα 2.8) με μεγάλα πτερύγια, με δυνατότητα περιστροφής 180 μοιρών, ώστε να εκμεταλλεύονται τόσο την πλημμυρίδα όσο και την άμπωτη.



Εικόνα 2.8: Παλιρροϊκό σύστημα, 1.2MW, στο Strangford Narrows, Βόρεια Ιρλανδία.

2.2.1.3.3 Εκμετάλλευση της ενέργειας των κυμάτων

Τα κύματα δημιουργούνται από την προοδευτική μεταφορά ενέργειας από τον άνεμο καθώς πνέει στην επιφάνεια του νερού. Μετά την δημιουργία τους, τα κύματα μπορούν να ταξιδέψουν μεγάλες αποστάσεις χωρίς ιδιαίτερη μείωση της ενέργειας τους. Η εγκατάσταση αξιόπιστων συστημάτων σε παράκτιες περιοχές μπορεί να είναι πολύτιμη πηγή ενέργειας για τις τοπικές κοινωνίες.

Έχουν επινοηθεί διάφορων μορφών γεννήτριες, και έχουν κατασκευαστεί αρκετά πειραματικά συστήματα για τον έλεγχο της απόδοσης τους. Αν και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν έχει ακόμη ευρέως εμπορευματοποιηθεί, γίνονται προσπάθειες προς αυτήν την κατεύθυνση.

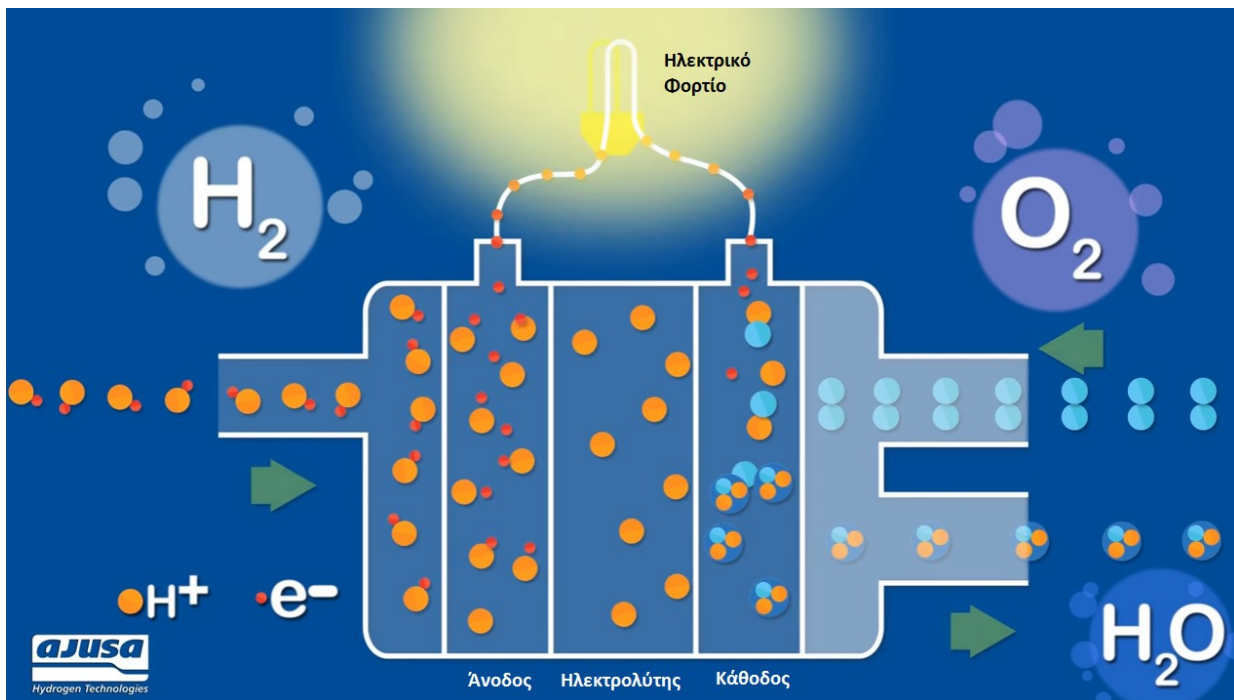


Εικόνα 2.9: Παράκτιες Κυματογεννήτριες.

2.2.2 Μονάδες με συμβατικά καύσιμα

2.2.2.1 Κυψέλες καυσίμου (Fuel Cells)

Η κυψέλη καυσίμου εφευρέθηκε από τον William Grove το 1839. Όμως 120 χρόνια αργότερα, η Nasa έδειξε τη χρησιμότητά αυτής της πηγής, όντας η κύρια πηγή ηλεκτρισμού στη διαστημική άκατο. Ύστερα από αυτές τις επιτυχίες η βιομηχανία ξεκίνησε να εκτιμά την εμπορική αξία των κυψελών καυσίμου. Επιπρόσθετα, αντί για τη χρησιμοποίησή τους μόνο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε εγκαταστάσεις, υπάρχει τώρα έντονο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη κυψελών καυσίμου για χρήση στην αυτοκινητοβιομηχανία, έναντι της χρήσης μπαταριών. Όμως παρόλο που οι κυψέλες καυσίμου προσφέρουν υψηλής απόδοσης χαρακτηριστικά, αξιοπιστία, αντοχή και περιβαλλοντικά οφέλη, απαιτείται πολύ μεγάλο κόστος αρχικής επένδυσης το οποίο είναι τεράστιο εμπόδιο για μεγάλης κλίμακας εφαρμογή [4].



Εικόνα 2.10: Παραγωγή ενέργειας από κυψέλη καυσίμου.

Η αρχή λειτουργίας μίας κυψέλης καυσίμου βασίζεται στην αντίδραση των μορίων υδρογόνου με το οξυγόνο, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια, θερμότητα και νερό, δηλαδή η διαδικασία αποτελεί την αντίστροφη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης.

Αναλυτικότερα η κυψελίδα καυσίμου εμπεριέχει δύο ηλεκτρόδια τα οποία διαχωρίζονται από έναν ηλεκτρολύτη. Δύο διαφορετικές ηλεκτροχημικές αντιδράσεις λαμβάνουν μέρος. Αρχικά στην άνοδο, το αέριο υδρογόνο που εισέρχεται παράγει ιόντα υδρογόνου, όπου τα αρνητικά ιόντα (ηλεκτρόνια) μεταβαίνουν στην κάθοδο μέσα από το ηλεκτρικό φορτίο, ενώ τα θετικά ιόντα (πρωτόνια) μεταβαίνουν στην κάθοδο μέσα από τον ηλεκτρολύτη. Ύστερα στην κάθοδο το οξυγόνο που παρέχεται από τον αέρα ενώνεται με τα ιόντα του υδρογόνου και τα ηλεκτρόνια που έρχονται από το ηλεκτρικό κύκλωμα για να σχηματίσουν νερό και να αποβάλουν θερμότητα κατά την ένωση. Έτσι τα τελικά προϊόντα της ολικής αντίδρασης είναι ηλεκτρισμός, νερό και αποβολή θερμότητας.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου ανάλογα με τον ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται, ο οποίος καθορίζει τις βασικές ιδιότητες του συστήματος, δηλαδή την θερμοκρασία λειτουργίας. Συνεπώς οι κυψέλες καυσίμου κατατάσσονται με βάση τον τύπο του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται.

Πίνακας 2.3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κυψελών καυσίμου.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Οι κυψέλες καυσίμου έχουν υψηλή απόδοση (μέγιστη θεωρητική απόδοση είναι 83% στους 250 βαθμούς Κελσίου)	Οι κυψέλες καυσίμου έχουν πολύ υψηλό κόστος και χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τους ακριβά υλικά όπως λευκόχρυσος.
Κυψέλες καυσίμου είναι καθαρή πηγή ενέργειας, χρησιμοποιώντας μόνο υδρογόνο και οξυγόνο σαν καύσιμα	Η αξιοπιστία των κυψελών καυσίμου αποτελεί ένα πρόβλημα, μέχρι στιγμής.
Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να παράγουν συνεχόμενα ενέργεια, εφόσον υπάρχει διαθέσιμο καύσιμο.	Η κατασκευή τους δεν είναι ακόμα στιβαρή και ανθεκτική, ειδικά στις υψηλές θερμοκρασίες.
Το καύσιμο μπορεί να παραχθεί από νερό.	Έχουν χαμηλή πυκνότητα καυσίμου σε σχέση με τη βενζίνη.
Οι κυψέλες καυσίμου είναι οι πλέον κατάλληλες για διανεμημένη παραγωγή.	
Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να λειτουργήσουν ανάποδα, για αποθήκευση ενέργειας παράγοντας υδρογόνο από νερό, παρέχοντας στις κυψέλες ηλεκτρική ενέργεια.	

Όταν η παραγωγή υδρογόνου γίνεται από την περίσσεια ισχύος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τότε η παραγωγή ενέργειας από την κυψέλη καυσίμου είναι 100% ανανεώσιμη. Στην περίπτωση που το υδρογόνο αποθηκεύεται με σκοπό να εξασφαλιστεί συνεχής παροχή ισχύος από την κυψέλη καυσίμου, τότε η όλη διάταξη ονομάζεται ως αναγεννούμενη κυψέλη καυσίμου (regenerative fuel cell – RFC).

Οι κυψέλες καυσίμου είναι κατάλληλες για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας καθώς κατά την αντίδραση παράγουν αρκετή θερμική ισχύ. Από τους διάφορους τύπους κυψελών καυσίμου, μόνον οι κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέως (Phosphoric Acid Fuel Cell – PAFC) έχουν αναπτυχθεί σε τέτοιο βαθμό, που να είναι κατάλληλες για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και να είναι ήδη σήμερα εμπορικά διαθέσιμες. Η θερμοκρασία λειτουργίας τους (περίπου 200°C) περιορίζει τη θερμοκρασία της ανακτώμενης θερμότητας. Επειδή η χημική ενέργεια του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρική χωρίς την παρεμβολή θερμοδυναμικού κύκλου, ο βαθμός απόδοσης δεν περιορίζεται από εκείνον του κύκλου Carnot. Αν και θεωρητικά το άνω όριο είναι η μονάδα, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης των κυψελών φωσφορικού οξέος κυμαίνεται στην περιοχή του 37 – 45%. Για φορτίο λειτουργίας της κυψέλης καυσίμου στο 50% του ονομαστικού, ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι ίσος, ή και μεγαλύτερος, από αυτόν σε ονομαστικό φορτίο. Ο ολικός βαθμός απόδοσης φθάνει το 85 – 90%, ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα βρίσκεται στην περιοχή 0,8 – 1,0.[7]

2.2.2.2 Εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης

Οι εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης, γνωστές και σαν ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, αποτελούν την πιο διαδεδομένη τεχνολογία διανεμημένης παραγωγής. Πρόκειται για μια παραδοσιακή και δοκιμασμένη τεχνολογία που συνδυάζει χαμηλό κόστος προμήθειας ανά εγκατεστημένη κιλοβατώρα, μεγάλη διαθεσιμότητα σε μεγέθη, δυνατότητα γρήγορης εκκίνησης, υψηλούς συντελεστές απόδοσης (μέχρι και 43% για μεγάλα συστήματα) και υψηλή λειτουργική αξιοπιστία. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά, σε συνδυασμό με την ικανότητα των συστημάτων αυτών να εκκινούν χωρίς ηλεκτρική τροφοδότηση από το δίκτυο, τα καθιστούν πρωταρχική επιλογή σε εφαρμογές εφεδρικής ισχύος. Επιπλέον αποτελούν σήμερα την πιο διαδεδομένη μορφή συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής για ισχείς μικρότερες του 1 MW [2].



Εικόνα 2.11: Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος [Vpower]

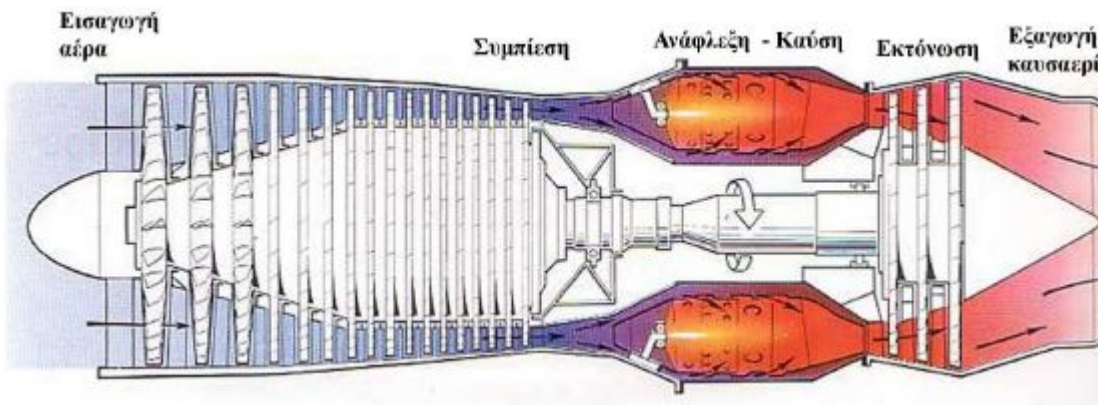
Μια μηχανή εσωτερικής καύσης μετατρέπει την ενέργεια που περιέχεται σε κάποιο καύσιμο σε μηχανική ενέργεια. Αυτή η μηχανική ενέργεια χρησιμοποιείται για την περιστροφή ενός άξονα μέσα στη μηχανή. Μια γεννήτρια συνδέεται με τη μηχανή εσωτερικής καύσης για τη μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε ηλεκτρική ενέργεια.

Οι κινητήριες μηχανές λειτουργούν με αέριο ή υγρά καύσιμα. Οι μηχανές του αερίου λειτουργούν κυρίως με φυσικό αέριο, αλλά υπάρχουν και συστήματα για βιοαέριο ή υγροποιημένο αέριο. Οι μηχανές υγρών καυσίμων χρησιμοποιούν συνήθως ντίζελ, αν και υπάρχουν συστήματα βενζίνης ή βαρέων κλασμάτων πετρελαίου.

Στις βόρειες χώρες διαδεδομένη είναι η συμπαραγωγή με αυτό το σύστημα, όπου αρκετά είναι διαθέσιμα στο εμπόριο.

2.2.2.3 Αεριοστρόβιλοι, μικροστρόβιλοι (*Gas turbines, microturbines*)

Οι αεριοστρόβιλοι κατατάσσονται, επίσης, στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Ο αεριοστρόβιλος αποτελείται, Εικόνα 2.12, από έναν κύριο άξονα, που στη μία άκρη έχει μία ή, συνήθως, δύο βαθμίδες συμπιεστή και στην άλλη άκρη έχει μία ή, συνήθως, δύο βαθμίδες στροβίλων. Με την περιστροφή του άξονα αναρροφάται αέρας από το περιβάλλον, ο οποίος συμπιέζεται και οδηγείται στο θάλαμο καύσης, όπου εκτελείται ψεκασμός καυσίμου. Το μίγμα αέρα/καυσίμου υψηλής πίεσης αναφλέγεται. Τα παραγόμενα καυσαέρια υψηλής ενθαλπίας (πίεσης και θερμοκρασίας) οδηγούνται, στη συνέχεια, καταρχήν στην υψηλή βαθμίδα στροβίλου και, στη συνέχεια, στη χαμηλή βαθμίδα, όπου εκτονώνονται, αποδίδοντας μηχανική ισχύ. Ένα μέρος από την παραγόμενη μηχανική ισχύ χρησιμοποιείται για την περιστροφή του άξονα του στροβίλου και την τροφοδοσία της απαιτούμενης μηχανικής ισχύος στο συμπιεστή. Το υπόλοιπο και μεγαλύτερο μέρος της μηχανικής ισχύος αποτελεί το ωφέλιμο μηχανικό έργο.



Εικόνα 2.12: Σχηματική απεικόνιση αεριοστρόβιλου.

Στην αγορά σήμερα προσφέρονται, σε διάφορα μεγέθη, Αεριοστροβιλικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής, όπου αυτά με ισχύ από 1MW-20MW να είναι ιδιαίτερα δημοφιλή για εφαρμογές συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας. Με την αξιοποίηση της θερμότητας των καυσαερίων των αεριοστρόβιλων μπορεί να παραχθεί ατμός υψηλότερης θερμοκρασίας από τον αντίστοιχο παράγεται από καυσαέρια μίας εμβολοφόρας μηχανής εσωτερικής καύσης.

Τα χαρακτηριστικά αεριοστρόβιλων είναι τα εξής:

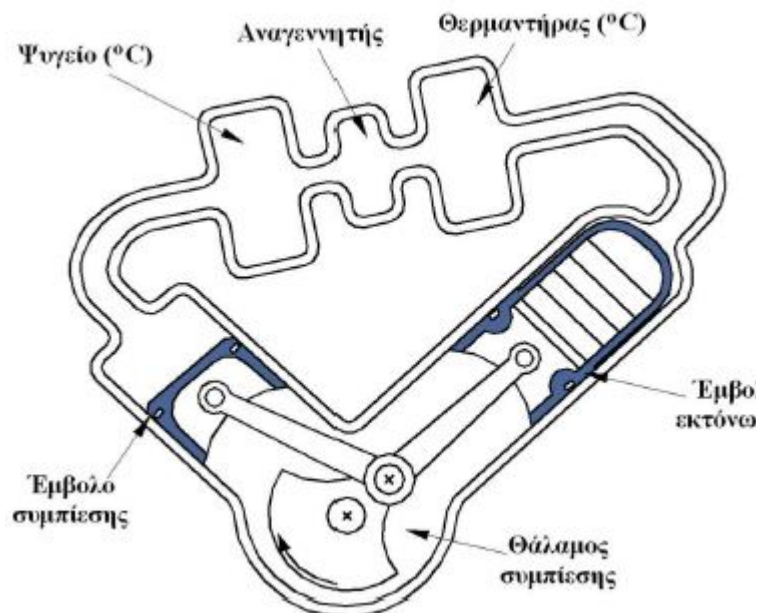
- Οι απαιτήσεις για συντήρηση είναι γενικά μικρότερες από εκείνες μιας εμβολοφόρας μηχανής, αλλά αντίστοιχα είναι και ο συντελεστής απόδοσης ο οποίος κυμαίνεται κατά μέγιστο στο 35%, ενώ συνήθως διαμορφώνεται στο 30%
- Καταναλώνουν, συνήθως, ελαφρύ καύσιμο (π.χ. πετρέλαιο κίνησης), το οποίο παρουσιάζει υψηλή τιμή. Δύνανται, βεβαίως, να λειτουργήσουν και με φυσικό αέριο, με χαμηλότερη τιμή προμήθειας.
- Είναι ταχείς μηχανές, έχουν γρήγορη διαδικασία εκκίνησης, της τάξης των μερικών λεπτών και παρουσιάζουν άριστη ευελιξία και ικανότητα στην παρακολούθηση των μεταβολών του φορτίου.
- Είναι οικονομικές στην προμήθεια και εύκολες στην εγκατάσταση.
- Η χαμηλή απόδοση των αεριοστρόβιλων, σε συνδυασμό με την κατανάλωση ελαφρού καυσίμου, όποτε συμβαίνει κάτι τέτοιο, συνεπάγεται τη διαμόρφωση υψηλού ειδικού κόστους παραγωγής, το οποίο ξεπερνάει τα 0,30€/kWh. Στην περίπτωση κατανάλωσης φυσικού αερίου το ειδικό κόστος παραγωγής μειώνεται στα 0,20€/kWh.

2.2.2.4 Μηχανές Stirling

Οι μηχανές Stirling έχουν κατηγοριοποιηθεί ως μηχανές εξωτερικής καύσης, . Είναι σφραγισμένα συστήματα με ένα αδρανές αέριο που θέτει σε λειτουργία τη μηχανή. Χάρη στην εξωτερική καύση και στον κλειστό κύκλο λειτουργίας, τα κινούμενα μέρη του κινητήρα δεν εκτίθενται στα προϊόντα της καύσης με αποτέλεσμα οι φθορές να είναι περιορισμένες. Όμως, απαιτούνται στεγανωτικές διατάξεις για την αποφυγή διαρροών τόσο του αερίου υψηλής πίεσης προς το εξωτερικό του κυλίνδρου, όσο και του λιπαντικού λαδιού προς το εσωτερικό του κυλίνδρου. Η κατασκευή αποτελεσματικών διατάξεων με ικανοποιητική διάρκεια ζωής είναι ένα από τα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν, το θετικό είναι όμως ότι απαιτούν συντήρηση σε μεγάλα χρονικά διαστήματα ,με αποτέλεσμα να λειτουργούν αρκετές χιλιάδες ώρες συνεχώς.

Η εξωτερική καύση στις μηχανές Stirling επιτρέπει τη χρήση διαφόρων καυσίμων: υγρά ή αέρια καύσιμα, αέρια ή υγρά προερχόμενα από άνθρακα, καύσιμα προερχόμενα από βιομάζα, ακόμη και απορρίμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Επιπλέον, είναι δυνατή η αλλαγή καυσίμου χωρίς διακοπή της λειτουργίας ή μετατροπή των ρυθμίσεων του κινητήρα.

Συνήθως είναι διαθέσιμες σε μικρά μεγέθη (1-25 kW) και προς το παρόν παράγονται σε μικρές ποσότητες για εξειδικευμένες εφαρμογές στη διαστημική και τη θαλάσσια βιομηχανία.



Εικόνα 2.13: Απλοποιημένη λειτουργική διάταξη κινητήρα Stirling.

Τα πλεονεκτήματα της μηχανής Stirling είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης, η καλή συμπεριφορά σε συνθήκες μερικού φορτίου, οι χαμηλές εκπομπές ρύπων και η χαμηλή στάθμη θορύβου καθώς και κραδασμών. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται στην περιοχή του 40%, ενώ εκτιμάται ότι μπορεί να ανέρθει έως και στο 50%. και θερμικό βαθμό απόδοσης 50 – 60% Η απόδοση διατηρείται σταθερή και σε μερικό φορτίο. Ο ολικός βαθμός απόδοσης βρίσκεται στην περιοχή του 60 – 80%, ενώ ο λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα είναι της τάξης του 1,2 – 1,7. Καθώς τα συστήματα αυτά βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης, εκτιμάται ότι είναι δυνατή η επίτευξη τιμών διαθεσιμότητας και αξιοπιστίας που θα είναι συγκρίσιμες με αυτές των συστημάτων Diesel.[7]

2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Διεσπαρμένης παραγωγής

Τα πλεονεκτήματα της διεσπαρμένης παραγωγής συνοψίζονται στα εξής:

- Η παραγωγή της ενέργειας στην τοποθεσία στην οποία χρησιμοποιείται, ελαχιστοποιεί τις απώλειες μεταφοράς, όπως επίσης και το κόστος μεταφοράς, ένα σημαντικό μέρος (πάνω από 30%) του συνολικού κόστους του ηλεκτρισμού.
- Η διεσπαρμένη παραγωγή βοηθά στην αποσυμφόρηση των ήδη υπαρχόντων δικτύων μεταφοράς. Επιπλέον επιτρέπει τη χρήση θερμικής ενέργειας σε εφαρμογές συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας, αυξάνοντας έτσι τη συνολική απόδοση του συστήματος.
- Οι καταναλωτές, που κάνουν χρήση διεσπαρμένης παραγωγής έχουν πολλά οφέλη, καθώς μπορούν να καλύπτουν και θερμικά φορτία μέσω των εφαρμογών συμπαραγωγής. Τέτοιοι καταναλωτές είναι εκείνοι που έχουν πρόσβαση σε φτηνά καύσιμα, όπως για παράδειγμα φυσικό αέριο, αλλά και εκείνοι που ευνοούνται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής που ζούνε και μπορούν έτσι να αξιοποιήσουν ανανεώσιμες πηγές.
- Η συνεχώς αυξανόμενη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών, αλλά και άλλων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, εκτός από την υψηλότερη απόδοση ενέργειας θα κάνει και πιο εθνικά ανεξάρτητη την παρεχόμενη ενέργεια, καθώς μειώνονται οι εισαγωγές ενέργειας.
- Η διεσπαρμένη παραγωγή καλύπτει μία πολύ ευρεία γκάμα τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένου πολλών ανανεώσιμων τεχνολογιών που παρέχουν ισχύ μικρής κλίμακας, σε τοποθεσία κοντά στους χρήστες. Όλες αυτές οι τεχνολογίες δημιουργούν νέες ευκαιρίες στην αγορά και αυξημένο βιομηχανικό ανταγωνισμό. Οι νέες τεχνολογίες που αναπτύσσονται και η εμπειρία που μπορεί να αποκτηθεί από την υλοποίηση των νέων ενεργειακών μοντέλων διεύθυνσης θα προσφέρουν ανεκτίμητη αρτιότητα γνώσεων με τεράστιες δυνατότητες εξαγωγής
- Όσο αυξάνεται η ζήτηση για περισσότερη και καλύτερης ποιότητας ηλεκτρική ισχύ, η διεσπαρμένη παραγωγή παρέχει εναλλακτικές λύσεις για αξιόπιστη και οικονομική ισχύ σε νοικοκυριά και επιχειρήσεις. Μπορεί να εξασφαλίσει στους πελάτες ότι οι παροχές είναι συνεχόμενες και αξιόπιστες, σε περιπτώσεις όπου υπάρχει διακοπή ρευματοδότησης στο σπίτι ή στη γειτονιά, αποκαθιστώντας την ηλεκτρική ενέργεια σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα
- Η εκτεταμένη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα μειώσει την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων και τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου αλλά και επιβλαβείς εκπομπές όπως τα οξείδια του θείου και του αζώτου (SOx/NOx), συνεισφέροντας έτσι με ουσιαστικό τρόπο στην προστασία του περιβάλλοντος
- Από την επενδυτική σκοπιά του θέματος είναι πρακτικά πιο εύκολο να βρεθούν τοποθεσίες για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και άλλες διεσπαρμένες παραγωγές από ότι για ένα μεγάλο, κεντρικό εργοστάσιο παραγωγής ισχύος και μάλιστα οι μονάδες αυτές είναι πιο εύκολο και κυρίως πιο γρήγορο να συνδεθούν στο δίκτυο. Η έκθεση και το ρίσκο του κεφαλαίου μειώνονται, και αποφεύγονται οι περιττές δαπάνες.

Όμως, τα μειονεκτήματα της διεσπαρμένης παραγωγής είναι τα εξής:

- Ένα από τα βασικότερα ζητήματα που προκύπτει είναι το υψηλό κόστος. Συγκεκριμένα, το υψηλό κόστος κεφαλαίου ανά kW εγκατεστημένης ισχύος συγκριτικά με τα μεγάλα κεντρικά εργοστάσια παραγωγής. Διαφορές όμως υπάρχουν και στα κόστη κεφαλαίου για διαφορετικές τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής και μπορούν να ποικίλλουν από 1000 €/kW έως 20000 €/kW στις τουρμπίνες καύσης και τις κυψέλες καυσίμου αντίστοιχα.
- Μία άλλη άποψη αναφέρει ότι το κόστος για την πρωταρχική παροχή καυσίμου στη διεσπαρμένη παραγωγή θα είναι αρκετά μεγαλύτερο από ότι για την κεντρική παραγωγή.
- Ένα άλλο θέμα είναι ότι η αυξανόμενη συμμετοχή της διεσπαρμένης παραγωγής στην εγκατεστημένη παραγωγή θα επιφέρει μικρότερη επιλογή μεταξύ των βασικών καυσίμων. Αυτό θα μπορούσε να μειώσει τη διαφοροποίηση των πρωταρχικών αποθεμάτων ενέργειας. Δεδομένου ότι οι περισσότερες τεχνολογίες διεσπαρμένης παραγωγής βασίζονται πρωταρχικά στο αέριο, αναμένεται έντονα αυξημένη ζήτηση και εξάρτηση από αυτό.
- Η ακριβής πρόβλεψη δεν είναι πάντα δυνατή για την ικανότητα παραγωγής συγκεκριμένων μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, όπως, για παράδειγμα, των αιολικών πάρκων. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να γίνει μετεωρολογική πρόβλεψη, η οποία όμως δεν μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια την ποσότητα ισχύος που μπορεί να παραχθεί. Σε μικρά χρονικά διαστήματα μπορούν να υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις στη δυνατότητα παραγωγής ή ακόμα και απώλεια της παραγωγής εξαιτίας της φύσης ορισμένων πηγών, όπως, για παράδειγμα, ο άνεμος. Έτσι, υπάρχει συγκεκριμένο ποσοστό της ζήτησης που μπορεί να καλυφθεί από ανανεώσιμες πηγές, δηλαδή η διείσδυση των ΑΠΕ έχει ένα όριο, οπότε πρέπει να υπάρχει εφεδρεία συμβατικών μονάδων παραγωγής ή μονάδων αποθήκευσης ώστε να εξομαλύνουν την τυχαία διάθεση παραγωγής με την κατανάλωση. Αυτό το πρόβλημα αφορά κυρίως τα απομονωμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, που δεν έχουν σύνδεση με το ευρύτερο δίκτυο.
- Τα συστήματα διανομής έχουν παραδοσιακά σχεδιαστεί υποθέτοντας ότι ο κύριος υποσταθμός είναι η μοναδική πηγή ισχύος και ικανότητας βραχυκύκλωσης. Οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής ακυρώνουν αυτή την υπόθεση, επειδή τοποθετούνται μονάδες παραγωγής στο σύστημα διανομής. Έτσι, η σύνδεση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής οδηγεί σε καταστάσεις λειτουργίας που δεν συμβαίνουν σε ένα συμβατικό σύστημα χωρίς μονάδες παραγωγής απευθείας συνδεδεμένες στο σύστημα διανομής. Η αυξημένη διείσδυση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής μπορεί να έχει επιπτώσεις στο σύστημα διανομής, όπως έκθεση του συστήματος και του εξοπλισμού των καταναλωτών σε πιθανή ζημιά, μείωση της ποιότητας ισχύος, μείωση της αξιοπιστίας και αυξημένος χρόνος για την αποκατάσταση της παροχής ισχύος έπειτα από διακοπή. Οι αρνητικές αυτές επιπτώσεις μπορούν να εξαλειφθούν με κατάλληλη σχεδίαση του συστήματος διανομής, αυτές οι προσπάθειες υλοποιούνται στον σχεδιασμό του έξυπνου δικτύου, όπως θα δούμε σε παρακάτω κεφάλαια.
- Όταν είναι μεγάλη η διείσδυση των μονάδων διασπαρμένης παραγωγής, μπορεί να συμβεί υπερφόρτιση των γραμμών και των μετασχηματιστών διανομής εξαιτίας των μεγάλων ποσοτήτων παραγωγής των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής τις περιόδους χαμηλής ζήτησης φορτίου. Ακόμη, αυξάνει ο κίνδυνος υπερτάσεων εξαιτίας της παραγωγής των μονάδων διασπαρμένης παραγωγής που βρίσκονται σε απομακρυσμένους κόμβους του συστήματος διανομής. Αυτό μπορεί θεωρητικά να συμβεί πριν η παραγωγή να ξεπεράσει την κατανάλωση. Σε κάποιες σπάνιες περιπτώσεις μπορούν να συμβούν υποτάσεις εξαιτίας της παραγωγής των μονάδων διασπαρμένης παραγωγής που βρίσκονται σε άλλη γραμμή διανομής. Τέλος, η λειτουργία της προστασίας μπορεί να είναι εσφαλμένη, δηλαδή το σύστημα προστασίας μπορεί είτε να αποτύχει να λειτουργήσει είτε να λειτουργήσει με ανεπιθύμητο τρόπο.

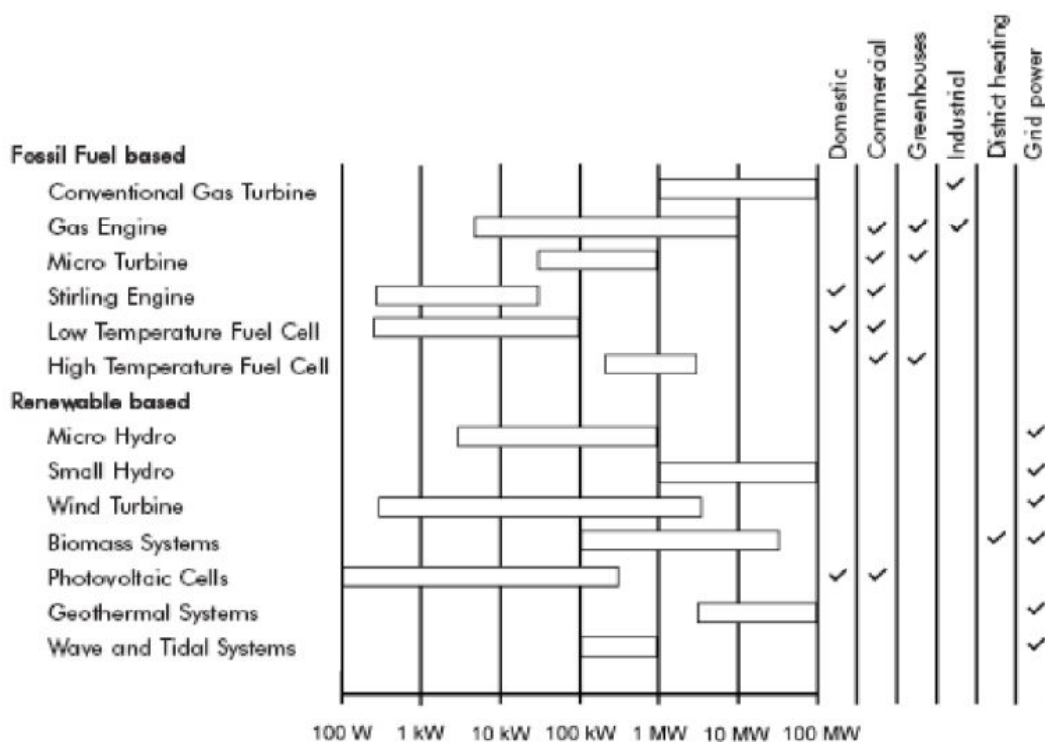
2.4 Παράγοντες επιλογής και οικονομικά χαρακτηριστικά Διεσπαρμένης Παραγωγής

Μία σύνοψη των χαρακτηριστικών των διεσπαρμένων πηγών που αναφέρθηκαν προηγουμένως παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.14.

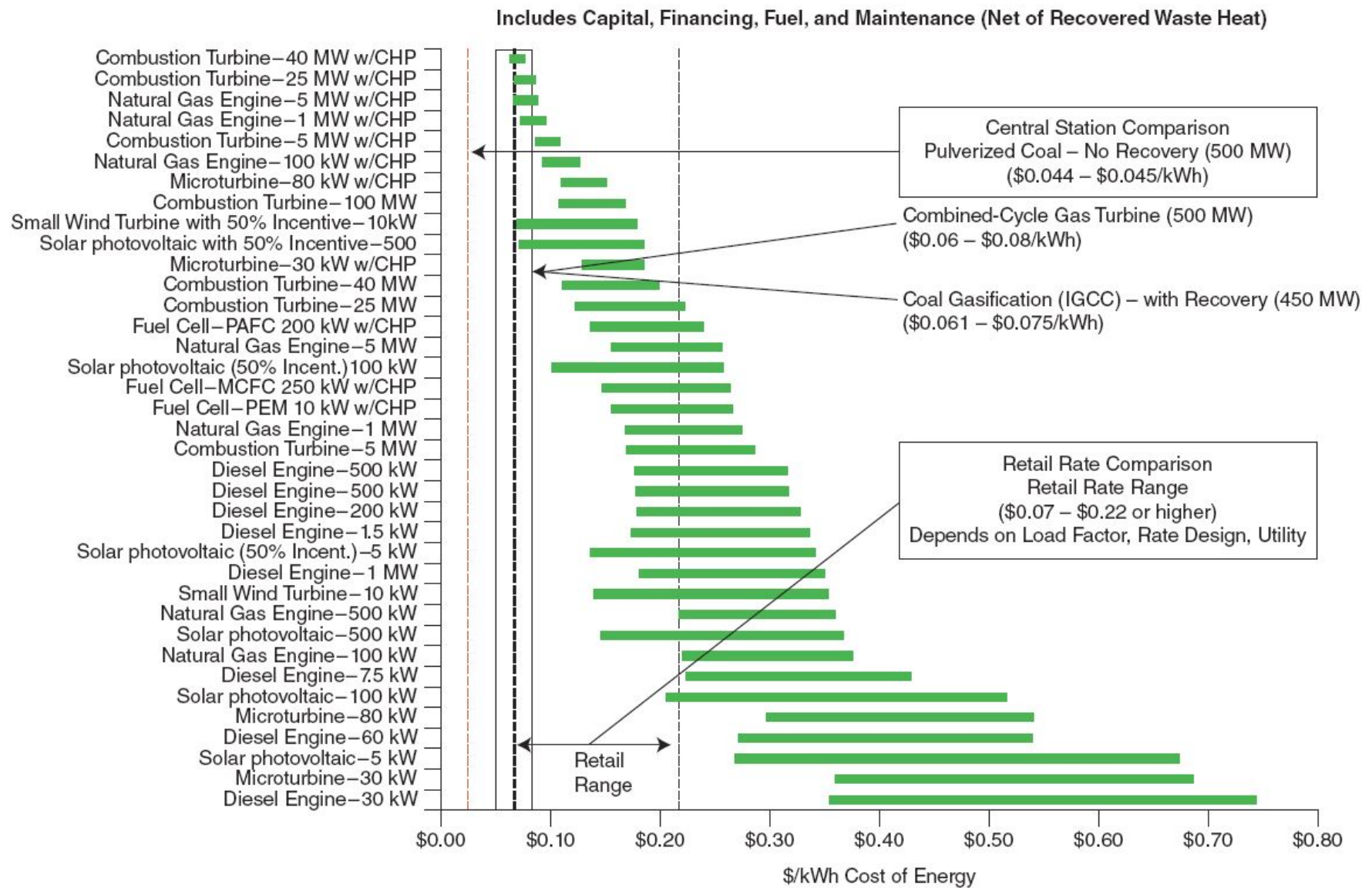
	Γεννήτρια	Αεριοστρόβιλος	Μικρο- τουρμπίνα	ΦΒ	ΑΓ	Κυψέλες καυσίμου
Ελεγχόμενη παραγωγή	✓	✓	✓	–	–	✓
Καύσιμο	Ντίζελ ή αέριο	Αέριο	Διάφορα αέρια ή υγρά	Ήλιος	Αέρας	Υδρογόνο
Απόδοση (%)	35	29-42	27-32	6-19	25	40-57
Πυκνότητα ενέργειας (kW/m²)	50	59	59	0.02	0.01	1-3
Σύστημα αποθήκευσης	–	–	–	✓	✓	–
Διάρκεια ζωής (ώρες λειτουργίας)	40,000	40,000	40,000	–	–	10,000-40,000

Εικόνα 2.14: Χαρακτηριστικά λειτουργίας κύριων τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής

Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν οι διάφορες μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής σε διάφορες εφαρμογές, είναι σημαντική η γνώση των τεχνικών και οικονομικών χαρακτηριστικών κάθε τεχνολογίας. Κάθε εφαρμογή που ενσωματώνει διεσπαρμένες πηγές έχει διαφορετικές ανάγκες και περιορισμούς, οπότε παράγοντες όπως ενεργειακή πυκνότητα/μάζα της πηγής, διαθεσιμότητα πρωταρχικής ενέργειας, βαθμός απόδοσης, κόστος εγκατάστασης, διάρκεια ζωής και τελικό κόστος παραγωγής ενέργειας παίζουν κρίσιμο ρόλο στην κατάλληλη επιλογή μεταξύ των διαθέσιμων διεσπαρμένων πηγών. Στην Εικόνα 2.15 βλέπουμε συνήθειες επιλογές χρήσης της κάθε τεχνολογίας.



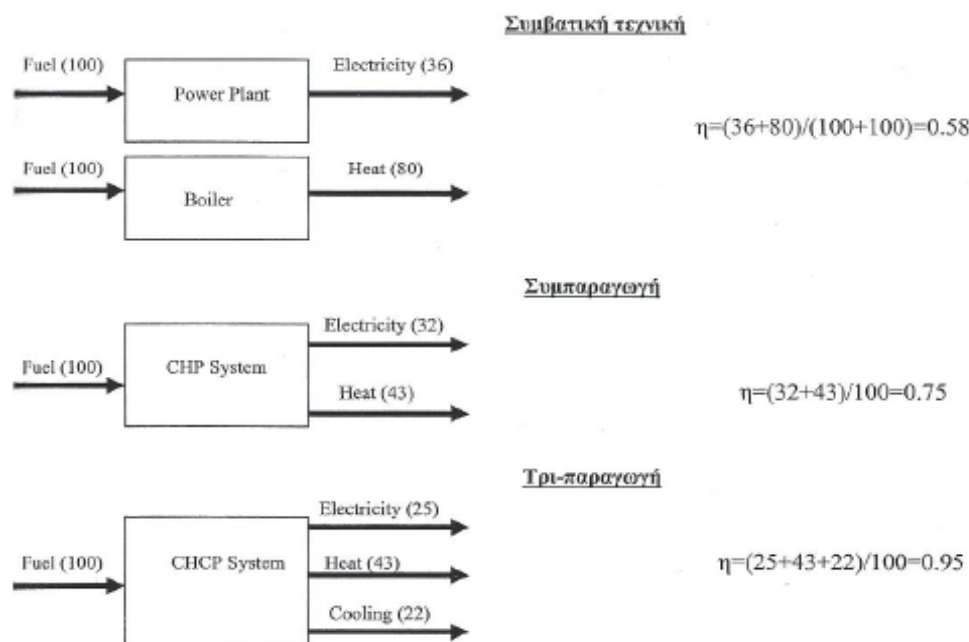
Εικόνα 2.15: Χρήσεις των τεχνολογιών διεσπαρμένης παραγωγής και εύρος της ισχύος εξόδου τους



Εικόνα 2.16: Το συνολικό κόστος αρκετών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής[3]. [Electric Power Research Institute (EPRI)]

2.5 Συμπααραγωγή ηλεκτρισμού θερμότητας (ΣΗΘ) και αποκεντρωμένη παραγωγή

Οι σύγχρονες μέθοδοι ηλεκτροπαραγωγής μετατρέπουν το 40-55% της ενέργειας του καυσίμου σε ωφέλιμη ενέργεια με αποτέλεσμα το 60-45% του καυσίμου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα με την μορφή θερμότητας. Η ολική κατανάλωση καυσίμων μειώνεται σημαντικά (άρα και οι εκπομπές των ρύπων) ενώ η συνολική απόδοση αυξάνει (>80%) εάν εφαρμοσθεί η Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού και Θέρμανσης, (ΣΗΘ) ή απλά Συμπααραγωγή, (για την Αγγλία Combined Heat and Power – CHP για τις ΗΠΑ – Cogeneration), Εικόνα 2.17. Συμπααραγωγή είναι η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής (ή μηχανικής) και θερμικής ενέργειας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας σε ένα ενιαίο και ολοκληρωμένο σύστημα. Η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για θέρμανση κτιρίων (τηλεθέρμανση) ή για βιομηχανικές διεργασίες. Όταν το σύστημα συμπααραγωγής έχει την δυνατότητα να παράγει και ενέργεια ψύξης τότε ονομάζεται Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού, Θέρμανσης και Ψύξης (ΣΗΘΨ), η απλά Τρι-παραγωγή, (για την Αγγλία Combined Heat, Cooling and Power – CHCP για τις ΗΠΑ Tri-generation).



Εικόνα 2.17: Συμβατικό Ενεργειακό Σύστημα Σε Σύγκριση Με Τα Συστήματα Συμπααραγωγής Και Τριπαραγωγής

Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρισμού αναζωπύρωσε το ενδιαφέρον των ιδιωτών που είτε μπορούν να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία ΣΗΘ για να καλύψουν τις ενεργειακές τους ανάγκες (αυτοπαραγωγή), είτε να πουλούν το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα στο δίκτυο (παραγωγή). Ειδικά, με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την ικανότητα κατασκευής μονάδων σε πολύ μικρή κλίμακα (10kW), τα τελευταία χρόνια η ΣΗΘ έχει αρχίσει να διεισδύσει και στον οικιακό τομέα (micro-CHP), ως «αποκεντρωμένη» παραγωγή.

Προς το παρόν, οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης με φυσικό αέριο, αντιπροσωπεύουν την πιο ώριμη, διαθέσιμη στην αγορά, τεχνολογία. Απαιτούν μικρό χώρο εγκατάστασης, έχουν υψηλή μηχανική απόδοση, χαμηλό κόστος συντήρησης και μεγάλη διάρκεια ζωής. Οι κινητήρες αυτοί μπορούν να λειτουργήσουν, ως έξοδοι μηχανικής, ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας, ως ηλεκτρικές γεννήτριες και/ή ηλεκτρικές αντλίες θερμότητας, αντλίες θερμότητας με

απορρόφηση, τροχοί αφύγρανσης και ούτω καθεξής, επιτρέποντας ένα ευρύ φάσμα συνθηκών λειτουργίας, ώστε να καλύψουν τις θερμικές (θέρμανση και ψύξη χώρων, ζεστό νερό χρήσης) και ηλεκτρικές απαιτήσεις του τελικού καταναλωτή. Σήμερα, ωστόσο, και στο πλαίσιο της προσπάθειας εξοικονόμησης ενέργειας, φυσικών πόρων και προώθησης των ΑΠΕ, κρίνεται αποδοτικότερη και συμφέρουσα η χρήση καυσίμων, όπως της βιομάζας και του φυσικού αερίου, που είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον.

2.5.1 Σύγχρονες τεχνικές ΣΗΘ

Με βασικό, αλλά ταυτόχρονα πολύ γενικό κριτήριο την προτεραιότητα που δίνεται στην παραγωγή της ηλεκτρικής ή της θερμικής ενέργειας σ' ένα σύστημα ΣΗΘ υπάρχουν δύο γενικοί χαρακτηρισμοί:

1. Συστήματα «Κορυφής» (Topping Systems). Στα συστήματα «Κορυφής», ρευστό υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ η αποβαλλομένη θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται σε θερμικές διεργασίες, θέρμανση χώρων ή ακόμη και για παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Συστήματα «Βάσης» (Bottoming Systems). Στα συστήματα «Βάσης», παράγεται πρώτα θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (όπως π.χ. σε φούρνους χαλυβουργιών, υαλουργείων, εργοστασίων τσιμέντου, κ.λπ.) και κατόπιν τα θερμά αέρια διοχετεύονται σε κατάλληλη διάταξη, όπου παράγεται ατμός που κινεί την στροβιλογεννήτρια. Είναι επίσης δυνατό, τα θερμά αέρια να διοχετευθούν κατευθείαν σε αεριοστρόβιλο, που κινεί γεννήτρια.

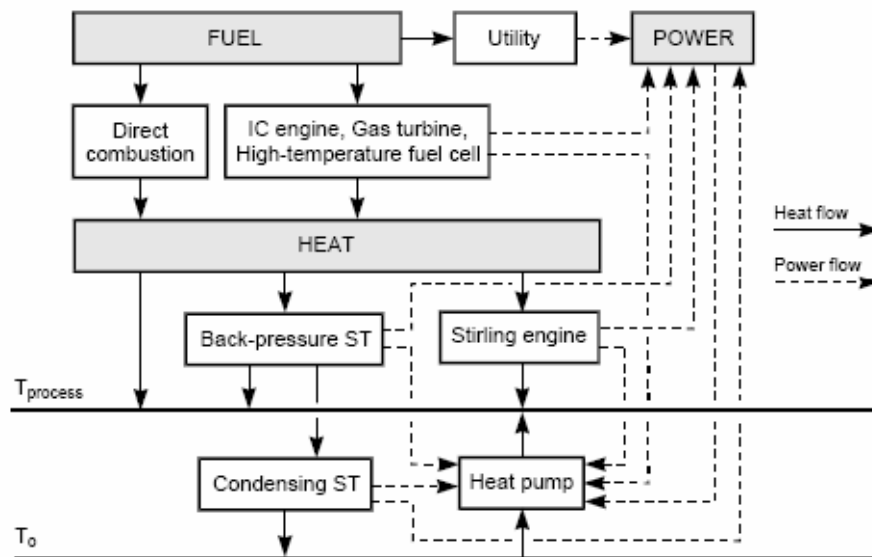
Ένα σύστημα ΣΗΘ αποτελείται κυρίως από τα ακόλουθα στοιχεία:

- Τον κινητήρα (Prime Mover): Ατμοστρόβιλος, Αεριοστρόβιλος, Παλινδρομική Μηχανή Εσωτερικής Καύσης, Συνδυασμένου Κύκλου, Κυψέλες Καυσίμου, Μηχανή Stirling ή Μικροτουρμπίνα. Ο κινητήρας κινεί τη γεννήτρια.
- Το Σύστημα Ανάκτησης Θερμότητας: Σύστημα που ανακτά την απορριπτόμενη θερμότητα από τα ρευστά που έχουν σχέση με τη λειτουργία της μηχανής (με εναλλάκτες ανάκτησης θερμότητας) και από τα καυσαέρια (με λέβητα ανάκτησης θερμότητας που αποκαλείται και λέβητας καυσαερίων).
- Τη Γεννήτρια: Σύγχρονη, Ασύγχρονη ή Αυτοδιεγερόμενη Ασύγχρονη. Παράγει την ηλεκτρική ενέργεια.
- Το Σύστημα Ελέγχου: Μέσω αυτού διασφαλίζεται η ασφαλής και ικανοποιητική λειτουργία του συστήματος ΣΗΘ.

Επιγραμματικά τα πιο διαδεδομένα και ευρέως εφαρμόσιμα συστήματα ΣΗΘ είναι:

- Συστήματα Ατμοστρόβιλων (Αντίθλιψης, Απομάστευσης, Κύκλο Βάσης)
- Συστήματα Αεριοστρόβιλου Ανοικτού ή Κλειστού Κύκλου
- Συστήματα Συνδυασμένου Κύκλου
- Συστήματα Με Εμβολοφόρο/Παλινδρομική Μηχανή Εσωτερικής Καύσης
- Κύκλοι Βάσης Rankine Με Οργανικά Ρευστά
- Κυψέλες Καυσίμου
- Μηχανές Stirling
- Τυποποιημένες Μονάδες – «Πακέτα»

Μεγάλη ώθηση στη διάδοση της ΣΗΘ αναμένεται ότι θα δώσει η μαζική παραγωγή τυποποιημένων μονάδων σε μορφή πακέτου με ηλεκτρική ισχύ 10-100kW, Εικόνα 2.18.



Εικόνα 2.18:Πιθανοί Συνδυασμοί Μηχανών ΣΗΘ.

2.5.2 Οι μονάδες Μικρο-συμπαγωγής στον οικιακό τομέα

Διαφορετικοί ορισμοί για τη Μίκρο-Συμπαγωγή, (μ _ΣΗΘ ή micro_ΣΗΘ ή micro_CHP) είναι διαθέσιμοι στην τεχνική και επιστημονική βιβλιογραφία. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία για την προώθηση της Συμπαγωγής καθορίζει την τιμή αυτή στα 50kWel. Άλλοι ερευνητές που μελετούν οικιακές εφαρμογές συστημάτων μ _ΣΗΘ θέτουν ανώτατο όριο τα 5kWel, ή τα 15kWel. Οι συγγραφείς αυτοί αναφέρουν ότι τα συστήματα αυτά διαφέρουν από τα μεγαλύτερα, σε σχέση με τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, τα μοντέλα ιδιοκτησίας και τη συμπεριφορά των καταναλωτών.

Πολλές προσπάθειες έγιναν και συνεχίζονται για την ανάπτυξη συστημάτων μ _ΣΗΘ στον οικιακό τομέα. Τα αποτελέσματα της τεχνικής και οικονομικής σύγκρισης των διάφορων συστημάτων ΣΗΘ δείχνουν ότι ελάχιστες μονάδες είναι κατάλληλες, υπό συγκεκριμένες οικονομικές θεωρήσεις, για χρήση σε μονοκατοικία. Ωστόσο, οι διαφορετικές τεχνολογίες παρουσιάζουν πολλά υποσχόμενα οικονομικά αποτελέσματα εν συγκρίσει με τα συμβατικά συστήματα παραγωγής ενέργειας. Αν και οικονομικά ασύμφορα στην παρούσα φάση, μελλοντικά τα συστήματα μ _ΣΗΘ βασιζόμενα στις Κυψέλες Καυσίμου θεωρούνται επικρατέστερα για χρήση σε μονοκατοικία εφόσον παρουσιάζουν το χαμηλότερο αρχικό θερμικό κόστος καθώς και λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επιπλέον, των καθαρά οικονομικών παραγόντων, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που παίζουν σοβαρό ρόλο. Σε αυτούς συγκαταλέγονται η αξιοπιστία των συστημάτων, η ευκολία χρήσης ενός συγκεκριμένου συστήματος, καθώς και περιβαλλοντικοί παράγοντες.

Στις αναφορές στο τέλος υπάρχουν συγκεντρωτικοί πίνακες με τα κυριότερα τεχνικά και οικονομικά χαρακτηριστικά μονάδων ΣΗΘ που ξεκινούν από 1kW_e για να φθάσουν τα 2-3MWe και που χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους καυσίμου. Επειδή, το ενδιαφέρον μας επικεντρώνεται στην μ _ΣΗΘ αναφέρουμε ενδεικτικά τις κυριότερες επιτυχημένες προσπάθειες που έχουν γίνει. Συγκεκριμένα, Ιάπωνας κατασκευαστής έχει αναπτύξει ένα σύστημα μ _ΣΗΘ για ένα σπίτι με μέγεθος: 1kW_e, 2,80kW_{th}, συνολικής ενεργειακής απόδοσης, 85%. Κατά την περίοδο 2003 – 2009, περίπου 86.000 μονάδες πουλήθηκαν μόνο στην Ιαπωνία. Επίσης, Γερμανός κατασκευαστής, ο οποίος μέχρι σήμερα έχει εγκαταστήσει πάνω από 25.000 μονάδες στην Ευρώπη, κατασκεύασε μονάδα μ _ΣΗΘ 5,5kW ηλεκτρικής και 12,5kW θερμικής ισχύος και συνολικής απόδοσης ~90%, ικανή να τροφοδοτηθεί με φυσικό αέριο, υγραέριο, πετρέλαιο ή βιοντίζελ. Με έναν προαιρετικό εναλλάκτη θερμότητας καυσαερίων, η θερμική παραγωγή μπορεί να αυξηθεί σε 13,3kW με συνολική απόδοση ίση με 92%.

Τα ενεργειακά και περιβαλλοντικά οφέλη της μ _ΣΗΘ δεν μπορούν να αμφισβητηθούν, αλλά μερικά εμπόδια, όπως το υψηλό αρχικό κόστος είναι ακόμη πολύ εμφανή. Στην πραγματικότητα, μια δράση στήριξης, η οποία θα επιτρέψει μια σύντομη περίοδο αποπληρωμής είναι αναγκαία. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός θεμάτων που εμπλέκονται στον καθορισμό των οικονομικών μεταβλητών, περιλαμβανομένου του δημόσιου τομέα και των ιδιωτικών τομέων (επιχειρήσεις διανομής φυσικού αερίου, κατασκευαστές και ούτω καθεξής). Για παράδειγμα, η δυνατότητα άντλησης κεφαλαίων, καθώς και η πώληση του ηλεκτρικού πλεονάσματος στο δίκτυο σε καλή τιμή θα μπορούσε να συμβάλει στη διεύρυσή τους στην αγορά. Επίσης, νομοθετικές πρωτοβουλίες παίζουν ένα βασικό ρόλο στην υποστήριξη πολύ αποδοτικών τεχνολογιών. Περαιτέρω κίνητρα, όπως χαμηλοί φορολογικοί συντελεστές για το φυσικό αέριο, δυνατότητα εμπορίας ρύπων διοξειδίου του άνθρακα, κατά προτεραιότητα έγχυση της παραγωγής τους στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, και οικονομικά μέσα για την υποστήριξη συστημάτων υψηλής ενεργειακής απόδοσης θα μπορούσαν να θεσπιστούν από τις κυβερνήσεις. Γενικά, συμπεραίνεται ότι το κόστος επένδυσης των υπό εξέταση σταθμών μ _ΣΗΘ πρέπει να μειωθεί προκειμένου να επιτευχθεί η προώθησή τους στην αγορά ενέργειας.

Τέλος, η προώθηση αυτών των συστημάτων στις αστικές περιοχές, όπου το πρόβλημα των προτύπων ποιότητας του αέρα είναι πολύ σημαντικό, προϋποθέτει ότι τα αποτελέσματα των τοπικών εκπομπών, οι οποίες εξαρτώνται, πάνω απ' όλα, από το καύσιμο και την τεχνολογία που χρησιμοποιείται, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

3 Φωτοβολταϊκά

3.1 Εισαγωγή

Ο ορισμος του φωτοβολταϊκού προέρχεται απο τις ρίζες των λέξεων η πρώτη είναι το φως και η δευτερη βολτ (δηλ.ηλεκτρικη ενεργεια).Αρα η συνθεση των λεξεων αυτων είναι ηλεκτρικη ενεργεια φωτος.Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι μια επαφή υλικών (κυρίως ημιαγωγών),στην οποία η απορροφούμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενεργεία.Το υλικο που χρησιμοποιειται ευρεως είναι το πυριτιο(Si) του οποιου πρωτη υλη είναι η αμμο ,δεχεται επεξεργασια για να καθαριστεί και να χρησιμοποιηθει .Στην αμμο το πυριτιο περιεχεται με τη μορφη οξειδιου του πυριτιου ,το τελικο προιον χαρακτηριζεται απο υψηλη καθαροτητα.

Διακρίνονται σε τεσσερις κατηγοριες :

- α)κρυσταλλικου πυριτιου β)πολυκρυσταλλικου πυριτιου γ)στοιχεια ταινιες
- δ)στοιχεία άμορφου πυριτίου. [1]

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 και χρησιμοποιήθηκε για πρακτικούς σκοπούς στα τέλη της δεκαετίας του '50 σε διαστημικές εφαρμογές. Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα έχουν τη δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από το Φ/Β πλαίσιο ή ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και τα ηλεκτρονικά συστήματα που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη Φ/Β συστοιχία. Για αυτόνομα συστήματα υπάρχει επίσης το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες.

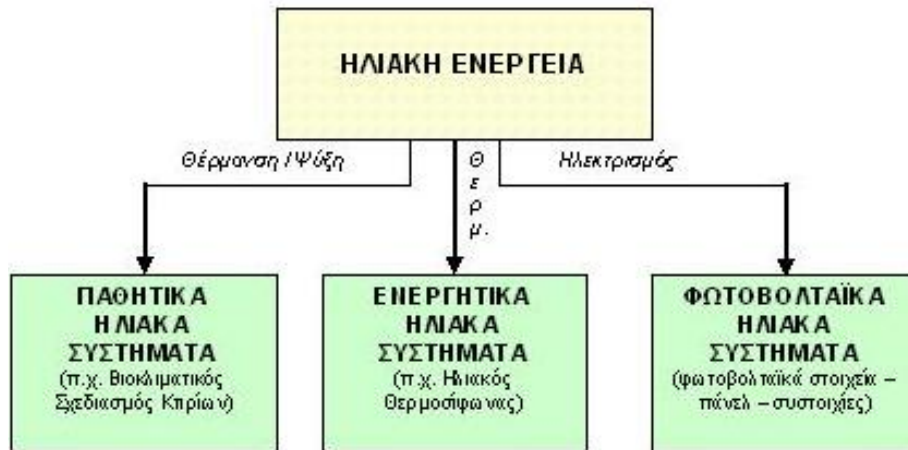
3.2 Ηλιακή ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται ως το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας με την σημασία της λέξης,όσο ο ήλιος εξακολουθεί να υφίσταται θα υπάρχει και ηλιακή ενέργεια. Την ηλιακή ακτινοβολία δεν μπορείς να την ελέγξεις και αποτελεί ανεξάντλητο ενεργειακό πόρο που παρέχει ανεξαρτησία , προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

3.2.1 Εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας

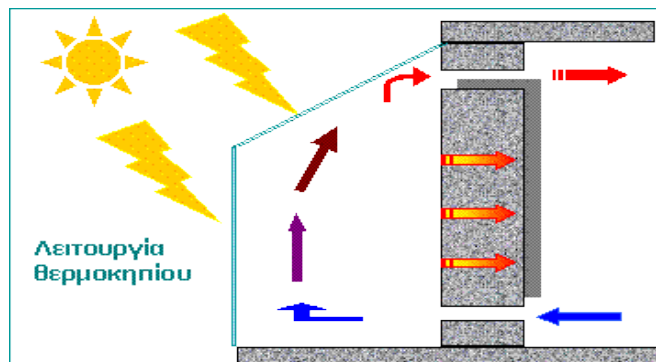
Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών(Εικόνα 3.1):

1. τα παθητικά ηλιακά συστήματα,
2. τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα και
3. τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

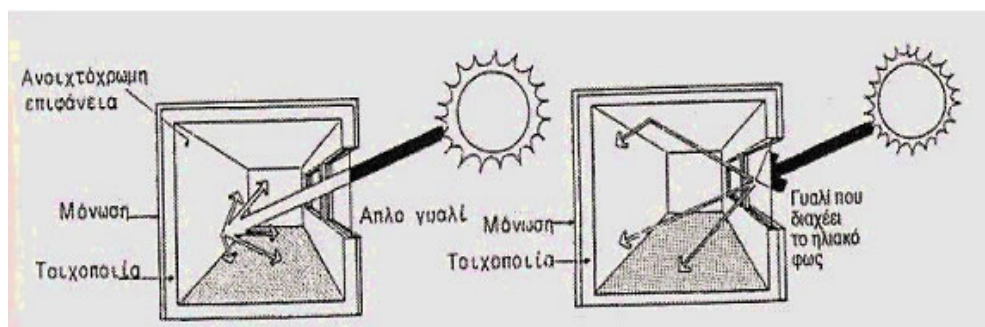


Εικόνα 3.1: Κατηγορίες εφαρμογών ηλιακής ενέργειας

Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού συστήματος. Η ουσία του φαινομένου στηρίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ουσιαστικά στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και η δέσμευση της θερμότητας του, ένα ποσοστό ανακλάται προς το εξωτερικό περιβάλλον, ένα απορροφάται από τον συλλέκτη από το οποίο ένα μέρος επανακτινοβολείται στο περιβάλλον.



Εικόνα 3.2: Λειτουργία θερμοκηπίου



Εικόνα 3.3

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τα παθητικά ενεργητικά συστήματα διαχωρίζονται στα υλικά:

- της συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας
- της αποθήκευσης .

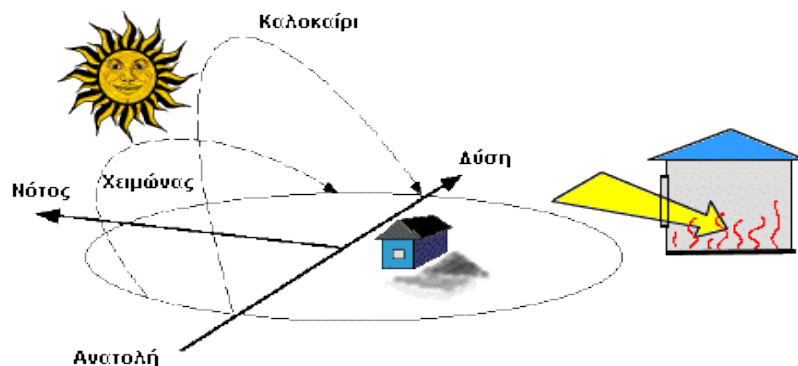
Έτσι τα υλικά της συλλογής ηλιακής ακτινοβολίας είναι αυτά που είναι διαπερατά από την ηλιακή ακτινοβολία. Κριτήρια με τα οποία θα επιλεγούν για την εφαρμογή τους είναι

- οι θερμοφυσικές τους ιδιότητες,
- η αισθητική (που είναι βασικός παράγοντας για την διαμόρφωση των κτιρίων)
- η αντοχή (σημαντικό κριτήριο της για της καταπονήσεις των θερμικών αλλαγών και τις ανεμοπιέσεις)
- και το κόστος αγοράς.

Τα συνηθέστερα υλικά που χρησιμοποιούνται σε τέτοιες κατασκευές είναι

- οι υαλοπίνακες,
- τα σκληρά πλαστικά και
- η διαφανής θερμομόνωση.

Τα δε υλικά αποθήκευσης είναι υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα κυρίως οικοδομικά υλικά όπως σκυρόδεμα,πέτρα,ωμόπλινθοι,οπτόπλινθοι,κεραμικά πλακίδια και νερό. Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα πρέπει να έχουν προσανατολισμό περίπου νότιο, ώστε να υπάρχει ηλιακή πρόσπτωση στα ανοίγματα κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα. Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα πρέπει να συνδυάζονται με την απαιτούμενη θερμική προστασία (θερμομόνωση) και την απαιτούμενη θερμική μάζα του κτιρίου, η οποία αποθηκεύει και αποδίδει τη θερμότητα στο χώρο με χρονική υστέρηση, ομαλοποιώντας έτσι την κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο εικοσιτετράωρο.(24ωρο) Θα πρέπει το καλοκαίρι να συνδυάζονται με ηλιοπροστασία και συχνά με δυνατότητα αερισμού. Ηλιοπροστασία γιατί με τις υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού υπάρχει πιθανότητα κάποιου προβλήματος στην απόδοση του συστήματος,διότι η Ελλάδα είναι μια χώρα με απεριόριστο ήλιο-μεγάλη ηλιοφάνεια όλη τη διάρκεια του έτους και ειδικότερα την καλοκαιρινή περίοδο και προσφέρεται για την αξιοποίηση της.Την περίοδο όπου οι εξωτερικές συνθήκες βρίσκονται σε υπερθέρμανση υπάρχει κίνδυνος,για αυτό τον λόγο το κτίριο συμπεριφέρεται ως φυσικός συλλέκτης δροσισμού και ψύξης,γι αυτό η προστασία σε αυτές τις περιπτώσεις είναι η κατάλληλη σκίαση ,ο φυσικός αερισμός και η φυσική ψύξη. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα στα κτίρια αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση των χώρων το χειμώνα, καθώς και για παροχή φυσικού φωτισμού. Τα συστήματα αυτά συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο.



Εικόνα 3.4: Προσανατολισμός κτηρίων

Ο φυσικός φωτισμός από την μεριά του μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας και αντικαταστεί τον τεχνητό φωτισμό. Ενα βοηθητικό σύστημα φωτισμού προϋποθέτει κατάλληλες θέσεις και μελετημένο σχεδιασμό για την καλύτερη απόδοση του. Κατηγορίες

τεχνητού φωτισμού μπορεί να είναι

- *Ανοίγματα οροφής:* Τα ανοίγματα οροφής μπορεί να είναι διαφανείς ή ημιδιαφανείς υαλοπίνακες να διαχέουν ομοιόμορφα τις δέσμες φωτός στο χώρο.
- *Αίθρια, φωταγωγοί:* Τα αίθρια από την πλευρά τους διαχέονται καλύτερα στις κεντρικές οροφές των κτηρίων εξασφαλίζοντας την καλύτερη οπτική άνεση. Άλλος τρόπος εξίσου αποδοτικός είναι τα ηλιοστάσια όπου τοποθετούνται στις οροφές των κτιρίων και συλλέγουν το φυσικό φως, η θέση του ρυθμίζεται έτσι ώστε να υπάρχει πάντα το φως διαθέσιμος από όποιο σημείο και αν βρίσκεσαι και όποια ώρα της ημέρας και φυσικό ανάλογα με την εποχή του έτους.
- *Φωτοσωλήνες:* Οι φωτοσωλήνες και οι φωταγωγοί οι οποίοι είναι ένας παραπλήσιος τρόπος για τους φωταγωγούς οι οποίοι διαπερνούν το κτίριο κάθετα και διανέμεται το φως σε όλους τους ορόφους, συνηθέστερα συνδυάζονται με ηλιοστατικούς καθρέφτες οι οποίοι ανακλούν το φως μέσα στον αγωγό και χρησιμοποιούνται κυρίως σε καινούργια κτίρια.



Εικόνα 3.5

Ενεργητικά ηλιακά συστήματα ονομάζονται όσα συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε νερό, σε αέρα ή σε κάποιο άλλο ρευστό. Υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της σε θερμικές χρήσεις χαμηλών θερμοκρασιών, αυτό συμβαίνει διότι η τεχνολογία που εφαρμόζεται στα συστήματα αυτά είναι αρκετά απλή. Τα ενεργητικά συστήματα αποτελούν μηχανικές κατασκευές ικανές να συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια να την αποθηκεύουν και να την χρησιμοποιούν όταν προτείνεται. Από τα ενεργειακά ηλιακά συστήματα η πιο διαδεδομένη εφαρμογή των ενεργητικών συστημάτων είναι η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης δηλαδή οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, καθώς και τα φωτοβολταϊκά πλαίσια για την παραγωγή μικρής ισχύος της ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης σε αυτήν την κατηγορία μπορούν να ληφθούν υπόψη και οι ηλιακοί συλλέκτες νερού.



Εικόνα 3.6

Πέρα από την οικιακή χρήση εφαρμογές των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων χρησιμοποιούνται όπου απαιτείται θερμότητα , και χαμηλές θερμοκρασίες στάθμης .Προοπτικές ανάπτυξης μπορούν να θεωρηθούν και η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης ,για τον κλιματισμό χώρων .Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα διακρίνονται σε δύο είδη ανάλογα με το κύκλωμα κυκλοφορίας του θερμαινόμενου μέσου:Σε ανοικτού κυκλώματος και σε κλειστού.

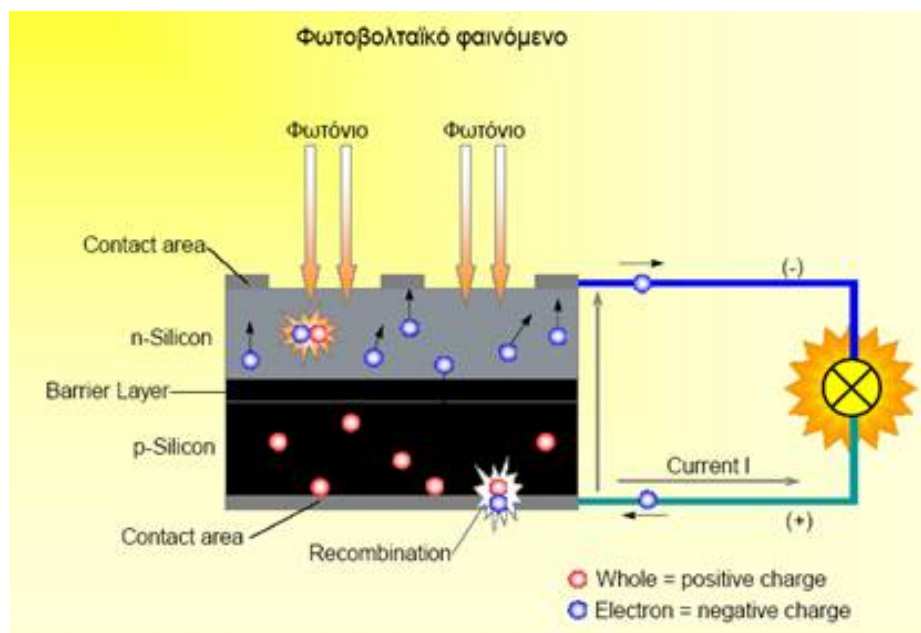
- Ανοικτού κυκλώματος λέγοντας έχουμε την απευθείας θέρμανση του νερού χρήσης (το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε).
- Κλειστού κυκλώματος: έμμεση θέρμανση του νερού χρήσης (το θερμαινόμενο μέσο κυκλοφορεί σε ιδιαίτερο κύκλωμα το οποίο θερμαίνει το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε χωρίς να γίνεται ανάμιξή τους, μέσω εναλλάκτη θερμότητας) .

Οι θερμοσίφωνες ανοικτού κυκλώματος είναι απλούστεροι και φθηνότεροι, όμως οι θερμοσίφωνες κλειστού κυκλώματος αντέχουν περισσότερο στις χαμηλές θερμοκρασίες το χειμώνα καθώς λειτουργούν με αντιψυκτικό το οποίο προστατεύει το συλλέκτη. Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού αποτελείται από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες στην ταράτσα ή στην στεγή, ένα δοχείο αποθήκευσης της θερμότητας (buffer) που αποθηκεύεται σε μεγάλα θερμοδοχεία και χρησιμοποιείται όταν χρειαστεί και σωληνώσεις. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει η απαραίτητη ηλιακή θέρμανση,πρέπει να υποστηρίζεται αυτό το σύστημα με λέβητα καύσης ,ενεργειακό τζάκι, η αντλία θερμότητας. Για τη θέρμανση ζεστού νερού χρήσης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σύστημα θέρμανσης νερού βεβιασμένης κυκλοφορίας, το οποίο διαθέτει ηλεκτρικές αντλίες, βαλβίδες, διαφορικούς θερμοστάτες και συστήματα ελέγχου για να κυκλοφορήσει το ρευστό μεταφοράς θερμότητας μέσα στους συλλέκτες. Σε σπίτια που έχουν εγκαταστημένο σύστημα κεντρικής θέρμανσης, ως εφεδρικό σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο λέβητας πετρελαίου Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται στο δοχείο αποθήκευσης. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως στην οροφή του κτιρίου, με νότιο προσανατολισμό και κλίση 30° - 60° ως προς τον ορίζοντα, ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως. Πέρα από την οικιακή χρήση, η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη σήμερα, ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε απαιτείται θερμότητα χαμηλής θερμοκρασιακής στάθμης. Έτσι, η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης, για τον κλιματισμό χώρων και άλλες εφαρμογές, εμφανίζεται ως μία από τις πολλά υποσχόμενες προοπτικές, λόγω της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας ακριβώς την εποχή που απαιτούνται τα ψυκτικά φορτία. Η ακτινοβολία του Ήλιου, η ηλιακή ακτινοβολία, όπως έχουμε συνηθίσει να τη λέμε, έχει τροφοδοτήσει κι

εξακολουθεί να τροφοδοτεί με ενέργεια όλες σχεδόν τις ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ενέργεια του Ήλιου είναι όμως και από μόνη της μια σημαντική πηγή ενέργειας, την οποία αξιοποίησε ο άνθρωπος από την αρχαία εποχή έως σήμερα. Η ακτινοβολία του ήλιου όχι μόνο δίνει φως, αλλά επίσης θερμαίνει τα σώματα στα οποία προσπίπτει. Αυτή τη θερμότητα μπορούμε είτε να τη χρησιμοποιήσουμε αμέσως, καθώς έρχεται από τον ήλιο, είτε να την αποθηκεύσουμε με τεχνητά μέσα και να τη χρησιμοποιήσουμε όταν τη χρειαστούμε. Λιγότερο γνωστό είναι ότι η ηλιακή ακτινοβολία αλλάζει και τις ιδιότητες κάποιων υλικών (των ημιαγωγών), που παράγουν έτσι ηλεκτρικό ρεύμα. Μπορούμε να αξιοποιήσουμε την ηλιακή ακτινοβολία για ενεργειακούς σκοπούς, είτε για να προσλάβουμε θερμότητα από τον ήλιο, είτε για να παράγουμε ηλεκτρικό ρεύμα από τον ήλιο. Επίσης άλλες μορφές αξιοποίησης μπορεί να είναι ηλιακά κάτοπτρα, ηλιακά κύτταρα, συσκευές αφαλάτωσης, ηλιακοί βραστήρες. Όπως είναι γνωστό ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά της χώρας μας είναι ο ήλιος ο οποίος προσφέρει μεγάλη ηλιοφάνεια όλο το χρόνο. Η χώρα μας είναι 11η μεταξύ 40 χωρών ανά τον κόσμο στον δείκτη ηλιακού δυναμικού. Χάρη στις τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πλέον εκτός από την τουριστική εκμετάλλευση του μπορεί να αποτελέσει πηγή ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της χώρας αλλά και για εξαγωγή ενέργειας στην Ευρώπη με το σχέδιο ήλιος που θα αναλυθεί παρουσιαστεί αργότερα. Το μεγαλύτερο τμήμα της χώρας έχει ηλιοφάνεια για παραπάνω από 2700 ώρες το χρόνο ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο για το ηλιακό δυναμικό της χώρας είναι πως η ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο κυμαίνεται από 5.000 έως 6.100 MJ ανά τετραγωνικό μέτρο.

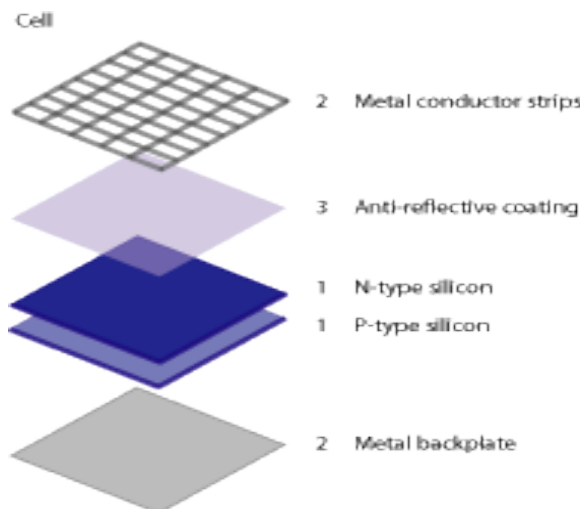
3.3 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Τα φωτοβολταϊκά είναι η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Ακριβέστερα τα φωτοβολταϊκά συστήματα εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια μετατρέποντας την σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 και χρησιμοποιήθηκε για πρακτικούς σκοπούς στα τέλη της δεκαετίας του '50 σε διαστημικές εφαρμογές.



Εικόνα 3.7 Αρχή λειτουργίας Φωτοβολταϊκού φαινομένου

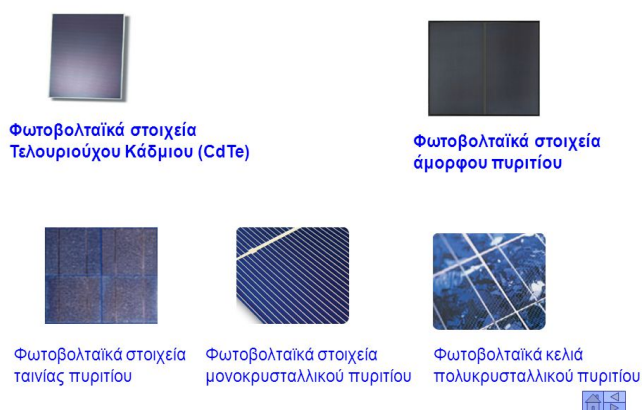
Αρχικά τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο πλάκες ημιαγωγών (δίοδοι p-n) συνήθως πυριτίου Si που βρίσκονται σε επαφή.



Εικόνα 3.8 Διαστρωμάτωση κυψέλης

Η χρήση του Si, ως βασικού υλικού παραγωγής αποτελεί βασικό πλεονέκτημα της

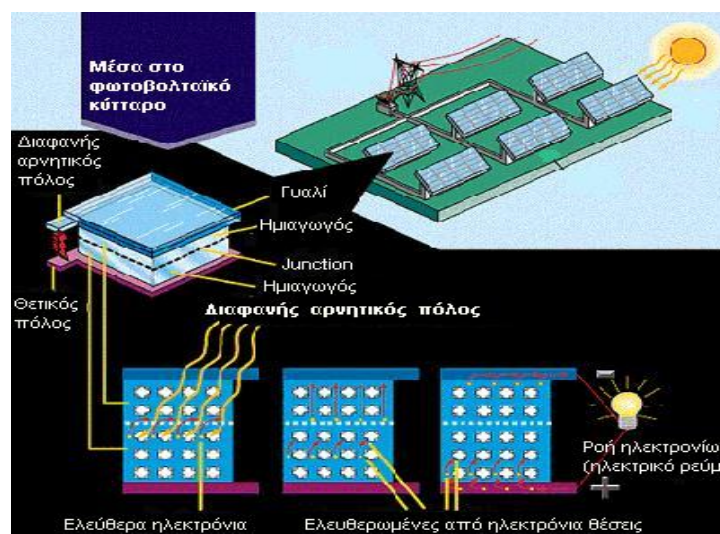
ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



Εικόνα 3.9

φωτοβολταϊκής μετατροπής διότι το πυρίτιο αφθονεί (-25%) στο φλοιό του πλανήτη μας. Επίσης είναι το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο, ίσως είναι το μοναδικό που παράγεται με μαζικό τρόπο. Ως πλεονεκτήματα θα μπορούσαμε να του αναλογίσουμε οι λιώνει εύκολα και μπορεί να μορφοποιηθεί, επίσης μπορεί πολύ εύκολα να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή, διατηρείται στους 125 βαθμούς και επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί σε αντίξοες συνθήκες. Η μονοκρυσταλλική του μορφή είναι πιο ακριβή από την πολυκρυσταλλική του μορφή. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Η άνω πλάκα (τύπου n) εμπλουτίζεται με πολύ μικρή ποσότητα (π.χ.1:106) στοιχείου, το οποίο διαθέτει ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο (5 ηλεκτρόνια) στην εξωτερική του στιβάδα, σε σχέση με το χρησιμοποιούμενο ημιαγωγό. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις πλάκες τύπου n είναι μόρια αρσενικού (A_s) ή φωσφόρου (P). Αντίστοιχα η κάτω πλάκα (τύπου p) ενισχύεται με προσμείξεις κατάλληλου στοιχείου, συνήθως Βόριο (B), που διαθέτει ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο στην εξωτερική του στιβάδα σε σχέση με το υλικό του ημιαγωγού. Η άνω πλάκα με τα επιπλέον ηλεκτρόνια ονομάζεται ημιαγωγός τύπου n (negative - αρνητικό φορτίο), ενώ η κάτω πλάκα με τα λιγότερα ηλεκτρόνια είναι ημιαγωγός τύπου p (positive - θετικό φορτίο). Κατά την κατασκευή του φωτοβολταϊκού στοιχείου, στην επιφάνεια επαφής των δύο πλακών συγκεντρώνονται τα περίσσια ηλεκτρόνια της πλάκας (τύπου n), τα οποία έλκονται από τις κενές θέσεις (οπές) ηλεκτρονίων της πλάκας (τύπου p). Εάν η πλάκα (τύπου n) δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία, τότε τα φωτόνια που διαπερνούν τον ημιαγωγό ενεργοποιούν ορισμένο αριθμό ηλεκτρονίων, τα οποία συσσωρεύονται κοντά στην επιφάνεια επαφής των δύο πλακών. Λόγω των δυνάμεων που απωθούνται μεταξύ ομώνυμων φορτίων εκκενώνονται επιπλέον θέσεις ηλεκτρονίων της πλάκας (τύπου p) οπότε και δημιουργούνται επιπλέον κενές θέσεις (οπές).



Εικόνα 3.10

Στην περίπτωση αυτή δημιουργείται διαφορά τάσεως μεταξύ των δύο πλευρών, που ονομάζεται τάση ανοικτού κυκλώματος « U_{oc} ». Η τιμή της τάσης « U_{oc} » είναι χαμηλή για μικρής έντασης ηλιακή ακτινοβολία, αλλά παραμένει σχεδόν σταθερή για τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας που υπερβαίνουν ένα προκαθορισμένο όριο. Το εν λόγω όριο εξαρτάται από το υλικό κατασκευής των φωτοβολταϊκών κυψελών. Κατά τη διάρκεια έκθεσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου στην ηλιακή ακτινοβολία, ενώνοντας με κατάλληλο αγωγό τις δύο πλάκες του στοιχείου (p-n) δημιουργείται κλειστό κύκλωμα, που οδηγεί στην ανάπτυξη κυκλοφορίας των ηλεκτρονίων διαμέσου της επιφάνειας επαφής τους. Στο κλειστό αυτό κύκλωμα (πρακτικά χωρίς φορτίο) η ένταση του ρεύματος είναι σταθερή και ονομάζεται ένταση βραχυκυκλώσεως. Η ένταση βραχυκυκλώσεως μεταβάλλεται σχεδόν γραμμικά με την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους δύο ακροδέκτες, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της δίοδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Στην πρακτική εκμετάλλευση αυτού του φαινομένου στηρίζεται η λειτουργία του συνόλου των φωτοβολταϊκών διατάξεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο μπορεί να καλύψει δύο τουλάχιστον ανάγκες. Την ανάγκη σε ενέργεια και την ανάγκη να προστατευτεί το περιβάλλον. Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που προμηθευόμαστε από το δίκτυο και παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστον κιλό διοξειδίου του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι, ως γνωστόν, το σημαντικότερο “αέριο του θερμοκηπίου” που συμβάλλει στις επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές. Η στροφή στις καθαρές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, αποτελεί τη μόνη διέξοδο για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν σήμερα τον πλανήτη.

3.3.1 Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα Φ/Β Στοιχείου

Για να κατανοηθεί η ηλεκτρική συμπεριφορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων, είναι χρήσιμο να δημιουργηθεί ένα πρότυπο το οποίο είναι ηλεκτρικά ισοδύναμο, και βασίζεται σε διακριτά ηλεκτρικά στοιχεία των οποίων η συμπεριφορά είναι γνωστή. Σκοπός τους είναι να περιγράψουν με επαρκή ακρίβεια την καμπύλη I-V, να καθορίσουν το σημείο μέγιστης ισχύος ανάλογα με τις συνθήκες θερμοκρασίας και έντασης ακτινοβολίας που υπάρχουν και να χρησιμοποιηθούν σε λειτουργία συσκευών ελέγχου και μέτρησης. Το απλούστερο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα είναι το ιδανικό ηλεκτρικό κύκλωμα το οποίο αποτελείται από μια πηγή ρεύματος παράλληλα με μια δίοδο. Στο Σχήμα απεικονίζεται το I_0 ισοδύναμο κύκλωμα όπου το κύκλωμα είναι ιδανικό. Σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος, θα αποκατασταθεί μια ισορροπία όταν η τάση, που θα αναπτυχθεί ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου, θα προκαλεί ένα αντίθετο ρεύμα που θα αντισταθμίζει το φωτόρευμα. Δηλαδή πρέπει να ισχύει η σχέση :

$$I_{ph} = I_o \left[\exp\left(\frac{qV}{AkT}\right) - 1 \right]$$

όπου I_{ph} το φωτορεύμα,

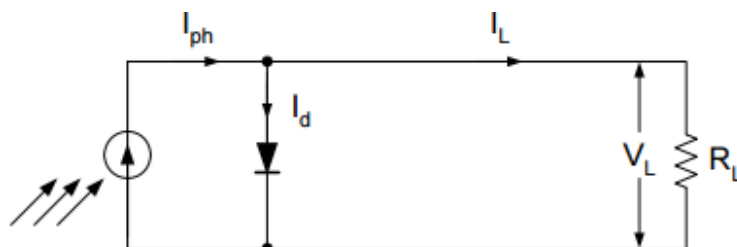
I_o το ανάστροφο ρεύμα κόρου,

q το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο ($1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$),

k η σταθερά Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$),

T η απόλυτη θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin και A ένας συντελεστής που ανάλογα με την κατασκευή και την ποιότητα της διόδου παίρνει συνήθως τιμές μεταξύ 1 και 2. Από την παραπάνω σχέση βρίσκουμε ότι η τιμή της τάσης ανοιχτοκύκλωσης V_{oc} του στοιχείου είναι

$$V_{oc} = \frac{AkT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_o} + 1\right)$$



Εικόνα 3.11 Ισοδύναμο κύκλωμα Φ/Β

Κατά τη λειτουργία των

φωτοβολταϊκών στοιχείων χωρίς φορτίο, η τιμή του I_{ph} είναι πολύ μεγαλύτερη του I_o οπότε η παραπάνω σχέση απλοποιείται στη

$$V_L = V_{oc} = \frac{AkT}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_o}\right)$$

που δείχνει τη λογαριθμική

μεταβολή της τάσης ανοικτού κυκλώματος σε συνάρτηση με το φωτορεύμα. Σε συνθήκες βραχυκύκλωσης ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου, το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} είναι ίσο με το φωτόρευμα I_{ph}

$$I_{sc} = I_{ph} \text{ και } V = 0$$

Κατά τη λειτουργία των

φωτοβολταϊκών στοιχείων υπό φορτίο, το ρεύμα φορτίου I_L υπολογίζεται από τη λύση της εξίσωσης

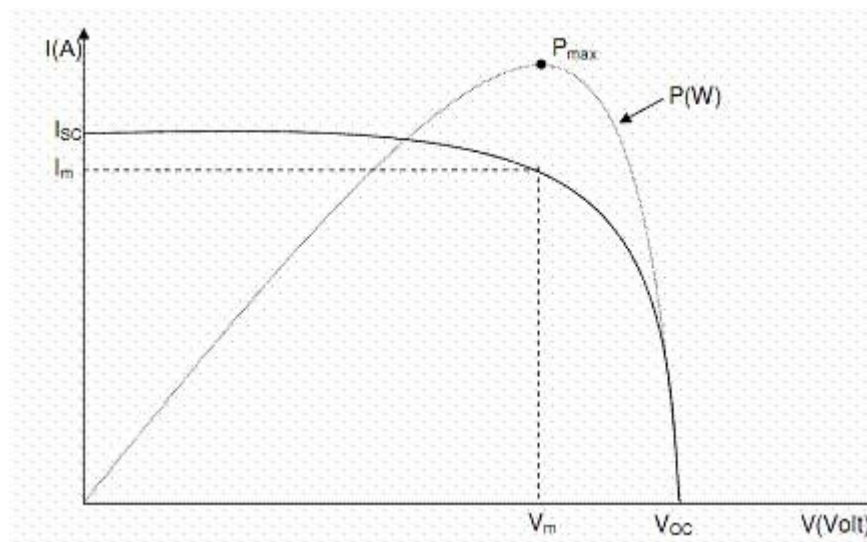
$$I_L = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(q \frac{I_L R_L}{AkT} \right) - 1 \right]$$

Κατά τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων στο σημείο μέγιστης ισχύος της καμπύλης I-V η βέλτιστη τάση είναι $V_L = V_{mp}$ και δίνεται από τη λύση της εξίσωσης

$$\frac{I_{ph}}{I_o} + 1 = \left(1 + q \frac{V_{mp}}{AkT} \right) \exp\left(q \frac{V_{mp}}{AkT} \right)$$

Το ιδανικό μοντέλο είναι το πιο απλοποιημένο ισοδύναμο με αποτέλεσμα βέβαια να υστερεί πάρα πολύ σε ακρίβεια.

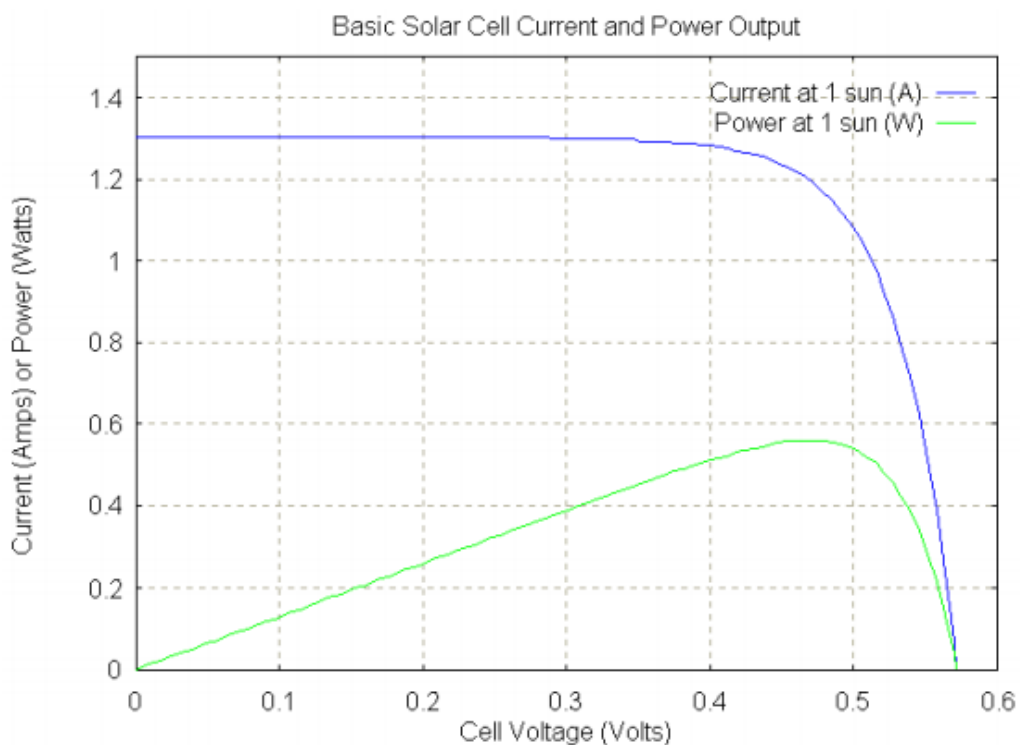
3.3.2 Καμπύλη V-I του Φωτοβολταϊκού



Εικόνα 3.12 Χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Παρατηρούμε ότι υπάρχει ένα σημείο (V_m, I_m) στο οποίο η ισχύς (P) του φωτοβολταϊκού στοιχείου μεγιστοποιείται. Το σημείο αυτό ονομάζεται σημείο μέγιστης ισχύος (maximum power point, MPP). Ύστερα από την φωτοβολταϊκή μετατροπή το ρεύμα βρίσκεται σε μορφή συνεχούς ρεύματος. Η μετατροπή του ρεύματος σε εναλλασσόμενο, έτσι ώστε να παραληφθεί από τη ΔΕΗ, γίνεται μέσω του μετατροπέα DC-AC (inverter). Οι μετατροπείς διαθέτουν, ανάλογα με την ποιότητα και την προέλευσή τους, από έναν έως τρεις επεξεργαστές-ανιχνευτές μέγιστης ισχύος MPP tracker. Σε κάθε έναν από τους ανιχνευτές μπορούν να συνδεθούν από μία έως πέντε σειρές φωτοβολταϊκών πλαισίων. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η ανάγκη για σωστή επιλογή μετατροπέα, ανάλογα με τα δεδομένα της κάθε εγκατάστασης και ύστερα από αυτό η ορθή τοποθέτηση σειρών φωτοβολταϊκών πλαισίων στους ανιχνευτές έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μέγιστη απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχει αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά. Ενώ οι περισσότερες ηλεκτρικές πηγές διατηρούν τη τάση τους σταθερή στην περιοχή κανονικής λειτουργίας τους, στα φωτοβολταϊκά στοιχεία η τάση μεταβάλλεται ριζικά και μη γραμμικά σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που παρέχουν στο κύκλωμα ακόμα και αν η ακτινοβολία παραμένει σταθερή. Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας και για μεταβαλλόμενες τιμές της αντίστασης του κυκλώματος που τροφοδοτεί το φωτοβολταϊκό στοιχείο, η τάση και η ένταση του ρεύματος του φωτοβολταϊκού στοιχείου παίρνουν ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στις ακραίες που αντιστοιχούν σε μηδενική αντίσταση (Το κύκλωμα είναι βραχυκυκλωμένο και έχει μέγιστη τιμή ρεύματος I_{sc} και μηδενική τάση) και σε άπειρη αντίσταση (Το κύκλωμα είναι ανοιχτοκυκλωμένο και έχει μηδενική τιμή ρεύματος και μέγιστη τιμή τάσης V_{oc}), όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω χαρακτηριστική.



Χαρακτηριστική P-V 1 : Φωτοβολταϊκού στοιχείου για σταθερή ένταση ακτινοβολίας και θερμοκρασίας [21]

Χαρακτηριστική I-V 2 : Φωτοβολταϊκού στοιχείου για σταθερή ένταση ακτινοβολίας και θερμοκρασίας [21]

Εικόνα 3.13

3.3.3 Βαθμός Απόδοσης Φωτοβολταϊκών

Ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος P_{max} προς το γινόμενο της επιφάνειας A του φωτοβολταϊκού στοιχείου και της έντασης ακτινοβολίας G μας δίνει το βαθμό απόδοσης.

$$\eta = \frac{P_{max}}{AG} = \frac{I_{mp} V_{mp}}{AG} = \frac{FFI_{sc} V_{oc}}{AG}$$

Η απόδοση αυτή είναι πάντοτε μικρότερη από τη μέγιστη θεωρητική απόδοση $\eta_{max,th}$, που δίνεται από τη σχέση

$$\eta_{max,th} = \frac{\phi(E_g) V}{\phi E_\mu}$$

όπου $\phi(E_g)$ είναι η ροή των φωτονίων με ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού,

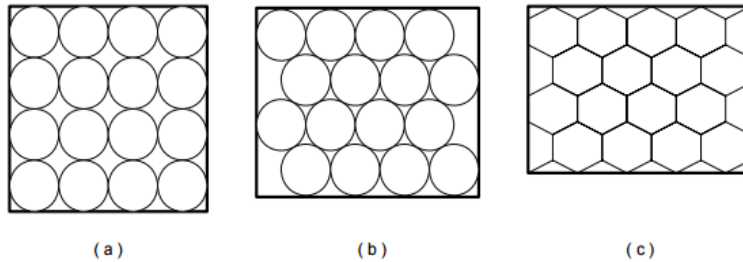
ϕ είναι η συνολική φωτονική ροή στην ακτινοβολία που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο

E_μ είναι η μέση ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας. Στην ηλιακή ακτινοβολία, περίπου τα 2/3 των φωτονίων έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του πυριτίου (1,1eV). Επίσης, η V_m των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου είναι περίπου ίση με το 1/3 της E_μ της ηλιακής ακτινοβολίας. Επομένως βρίσκουμε πρόχειρα ότι η μέγιστη θεωρητική απόδοση των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου είναι περίπου

$$\eta = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} = 22\%$$

Ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου δεν είναι σταθερός αλλά επηρεάζεται σημαντικά από τη σύσταση της ακτινοβολίας. Δηλαδή, μια δέσμη ακτινοβολίας θα προκαλέσει σε ένα στοιχείο την παραγωγή λιγότερης ηλεκτρικής ενέργειας, σε σύγκριση με μια άλλη ίσης ισχύος αλλά πλουσιότερη σε φωτόνια με ευνοϊκότερη ενέργεια για τον ημιαγωγό, από τον οποίο είναι κατασκευασμένο το στοιχείο. Μερικοί παράγοντες που επηρεάζουν το βαθμό απόδοσης των φωτοβολταϊκών είναι όπως :

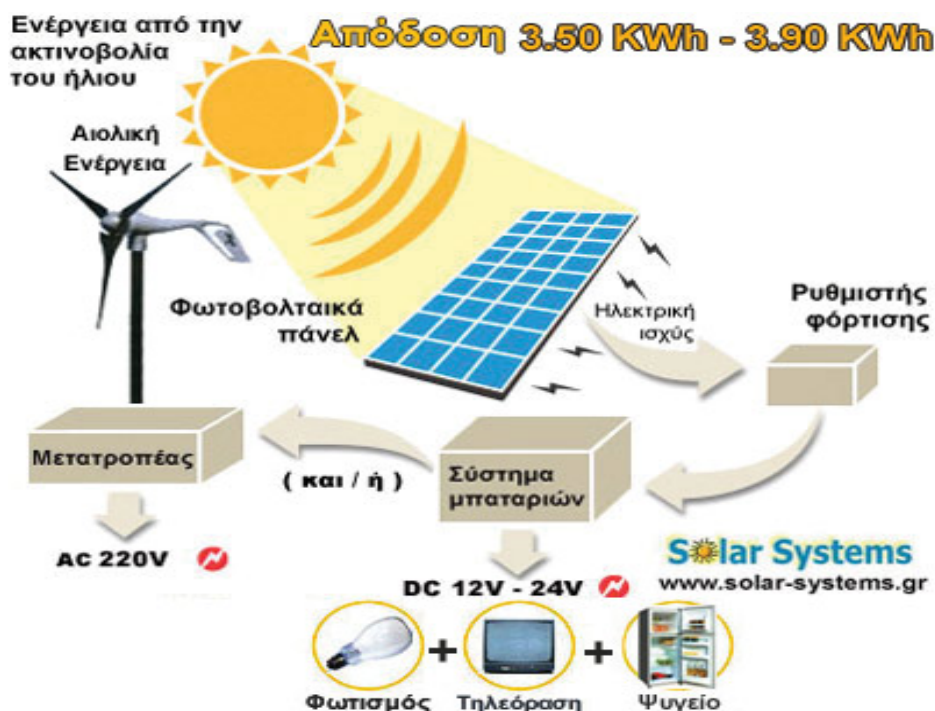
- Η αντίσταση R_s : Η αντίσταση R_s είναι ένας σημαντικός παράγοντας που παίζει ρόλο στο βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ της όψης του στοιχείου και της ένωσης p-n τόσο μεγαλύτερη είναι και η αντίσταση, άρα και οι απώλειες ισχύος. Οπότε για να έχουμε καλύτερο βαθμό απόδοσης πρέπει να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερη R_s).
- Η γήρανση: λόγω της φθοράς των φωτοβολταϊκών πλαισίων καθώς και των υπόλοιπων μερών που απαρτίζουν το φωτοβολταϊκό σύστημα αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μία μικρή βαθμιαία πτώση στην ποσότητα παραγωγής της ηλεκτρικής ισχύος, που συνήθως υπολογίζεται από 1% ως 2% για κάθε έτος οι οπτικές απώλειες,
- Χωροταξική τοποθέτηση. (Η χωροταξική τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταξύ τους έχει σημασία αφού όσο πιο πυκνά είναι τοποθετημένα μεταξύ τους τόσο μεγαλύτερος είναι και ο συντελεστής κάλυψης σ_c του πλαισίου, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων, δηλαδή της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, προς τη συνολική επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Η τιμή του κυμαίνεται από 0,78 για κυκλικά στοιχεία σε παράλληλα στοιχισμένες σειρές, 0,88 για κυκλικά στοιχεία συγχωνευμένα μεταξύ τους και φτάνει μέχρι 0,98 για τα μεγαλύτερου κόστους τετραγωνικά ή εξαγωνικά ηλιακά στοιχεία Εικόνα 3.14.



Εικόνα 3.14 Τρεις συνηθισμένοι τρόποι παράθεση των φωτοβολταϊκών στοιχείων στα πλαίσια

- Η δίοδος αντεπιστροφής :Λόγω της φθοράς των φωτοβολταϊκών πλαισίων καθώς και των υπόλοιπων μερών που απαρτίζουν το φωτοβολταϊκό σύστημα αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μία μικρή βαθμιαία πτώση στην ποσότητα παραγωγής της ηλεκτρικής ισχύος, που συνήθως υπολογίζεται από 1% ως 2% για κάθε έτος.
- Επίσης η ακτινοβολία,
- Η σκίαση ,
- Η θερμοκρασία,
- Ο άνεμος :η ταχύτητα του ανέμου, μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της θερμοκρασίας του στοιχείου καθότι μεγάλες ταχύτητες, έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Όταν οι άνεμοι είναι βόρειοι είναι συνήθως κρύοι, με αποτέλεσμα τα φωτοβολταϊκά να λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με αυτές που θα λειτουργούσαν εάν υπήρχε άπνοια, υπό τα ίδια ποσοστά της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Αντίθετα συμβαίνει για θερμούς ανέμους
- Η ρύπανση,
- Οι ηλεκτρικές απώλειες :Πέρα από τους παραπάνω παράγοντες , πρέπει κατά το σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, να προνοήσουμε για τις ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς που συνδέουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στις συστοιχίες, καθώς και τις συνδέσεις τους με άλλα μέρη του συστήματος, όπως διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, συσσωρευτές, μετατροπείς κλπ. Επομένως, κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των φωτοβολταϊκών ενός συστήματος, πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, ανάλογα με την περίπτωση και για την κάλυψη όλων αυτών των απωλειών, που μπορεί να είναι της τάξης περίπου του 30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή και περισσότερο.

3.3.4 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Συστημάτων



Εικόνα 3.15

Τα φωτοβολταϊκά χωρίζονται σε κατηγορίες μικρής και μεγάλης κλίμακας, στα μεγάλα δίκτυα. Η κατηγορία μικρής ισχύος περιλαμβάνει γενικά της μικρής ισχύος φωτοβολταϊκά όπως τροχόσπιτα, εξωτερικός φωτισμός κήπων. Τα μεγάλης κλίμακας συνδέονται τα φωτοβολταϊκά που είναι συνδεδεμένα στο δημόσιο δίκτυο, για την ηλεκτροδότηση ιερών μονών, τηλεπικοινωνιών, τηλεμετρήσεων και συναγερμού, αγροτικές εφαρμογές όπως άντληση νερού, ιχθυοκαλλιέργειες. Επίσης στα μεγάλα δίκτυα συνδέονται οι φ/β σταθμοί παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας μεγέθους 50kWp έως Mwp στους οποίους η ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο απευθείας. Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα μπορούν να υποδιαιρεθούν σ' εκείνα στα οποία το δίκτυο ενεργεί απλώς ως μια βοηθητική τροφοδοσία (εφεδρικό δίκτυο) και εκείνα τα οποία ίσως λάβουν επίσης πρόσθετη ισχύ από τη Φ/Β. γεννήτρια (αλληλοεπιδρόμενο δίκτυο). Πέρα από τα φωτοβολταϊκά πάνελ τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούνται από

- Τα συστήματα στηριξης: Τα συστήματα στηριξης χρησιμοποιούνται για την βοήθεια εγκατάστασης ηλιακών συλλεκτών για την καλύτερη απορροφή της ηλιακής ενέργειας
- Τους συσσωρευτές: Οι συσσωρευτές είναι μπαταρίες που αξιοποιούνται στα αυτονομα δίκτυα. Η λειτουργία ενός φ/β στοιχείου μοιάζει με την εκείνη ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή. Η ομοιότητα περιορίζεται στο ότι και οι δύο δίνουν ηλεκτρική ενέργεια. Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχουν διαφορετικές αιτίες. Στον ηλεκτρικό συσσωρευτή έχουμε χημικές δρασίες μεταξύ ηλεκτροδίων και του διαλύματος ως αποτέλεσμα την αποταμίευση ενέργειας στα αλλοιωμένα ηλεκτρόδια, ενώ στα φ/β το ηλεκτρικό πεδίο της επαφής προκαλεί διαχωρισμό των προσθετων ηλεκτρικών φορτίων που δημιουργεί το απορροφούμενο φως, χωρίς αποταμίευση ενέργειας.
- Τους αντιστροφείς τάσης: Ο αντιστροφείς τάσης είναι μια διάταξη ισχύος που χρησιμοποιούμε στα φωτοβολταϊκά συστήματα και χάρη σε αυτήν μετατρέπεται το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να τροφοδοτήσουμε από το συσσωρευτή του φωτοβολταϊκού συστήματος, τις ηλεκτρικές συσκευές του σπιτιού. Ο αντιστροφείς συνδέεται με ένα διπλό καλώδιο το οποίο είναι θετικό-αρνητικό, πάνω στους

πόλους της μπαταρίας. Συνήθως, έχει κάποιες υποδοχές όπως οι μπρίζες που έχουμε στα σπίτια μας, και πάνω σε αυτές μπορούμε να συνδέσουμε τις συσκευές που θέλουμε ή ακόμα και με τη χρήση κάποιου πολύμπριζου ή μπαλαντέζας. Ο αντιστροφέας τάσης είναι μια διαταξη ισχύος που χαρη σε αυτην το συνεχες γινεται εναλλασομενο Και με την σειρα του ο μετρητης ενεργειας χρησιμοποιειται σε περίπτωση που το οικιακο δικτυο ειναι συνδεδεμενο με το δημοσιο δικτυο. Κάποιες από τις κύριες κατασκευαστικές προδιαγραφές ενός αντιστροφέα είναι να αποτελείται από εύκολα συναρμολογούμενα μέρη για να γίνονται εύκολα οι μετατροπές και οι αναβαθμίσεις, και να είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να μη σταματάει η λειτουργία του σε υψηλές διακοπτικές συχνότητες. Επίσης, πρέπει να υπάρχει πλήρης γαλβανική απομόνωση του κυκλώματος από τα κυκλώματα ελέγχου και προστασίας και να μπορεί ο αντιστροφέας να συνδέεται με άλλα ψηφιακά συστήματα.

Οι βασικές λειτουργικές προδιαγραφές ενός αντιστροφέα τάσης είναι να μπορεί να μετατρέπεται εύκολα η λειτουργία του από μονοφασική σε τριφασική, να είναι εύκολο στον επαναπρογραμματισμό χωρίς να είναι απαραίτητη η αποσυναρμολόγισή του, ώστε να είναι εξασφαλισμένη η ανάπτυξη και ο έλεγχος λειτουργίας. Να έχει τη δυνατότητα, σε περίπτωση προβλήματος όπως κάποιο βραχυκύκλωμα, ή υπέρταση, να διακόπτεται η λειτουργία του κυκλώματος και να υπάρχει μια ένδειξη για το ανάλογο πρόβλημα. Αν συμβεί αυτό ο επεξεργαστής ελέγχου ενημερώνεται για το είδος αυτού του προβλήματος και το απεικονίζει στην οθόνη ενδείξεων. Όταν ξεκαθαριστεί το τι συμβαίνει, τότε το κύκλωμα αρχικοποιείται από τον επεξεργαστή παλμοδότησης. Ακόμα, το κύκλωμα ισχύος πρέπει στη φυσιολογική του λειτουργία να μπορεί να υπερφορτίζεται, χωρίς να παθαίνει ζημιά.



Εικόνα 3.16

- τους μετρητες ενεργειας
- και τους ρυθμιστές τάσης. Ο ρυθμιστής τάσης χρησιμεύει στην αποθήκευση ενέργειας που παράγεται από κάποιες μπαταρίες για τις περιπτώσεις μη ηλιοφάνειας και κακοκαιρίας να σημειωθεί όμως,ότι αυτό συμβαίνει μόνο στα αυτόνομα δίκτυα. Για αυτόνομα δίκτυα πρέπει να προσέχουμε την ποιότητα της μπαταρίας,συγκεκριμένα στις μπαταρίες μολύβδου πρέπει να φορτίζονται καθημερινά τελείως γιατί διαφορετικά μειώνεται η δύναμη και η αποδοτικότητά τους.

3.3.5 Πλεονεκτηματα – μειονεκτηματα Φωτοβολταικων

Με την χρήση των φωτοβολταϊκών έχουμε εξοικονόμηση χρημάτων, μείωση απωλειών μεταφοράς, εξομάλυνση των αιχμών του φορτίου, αξιοπιστία και μείωση κόστους κατασκευής κτιρίων, αειφόρος ανάπτυξη. Τα φωτοβολταϊκά θεωρούνται ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής καθώς χρησιμοποιούνται από την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας τον πλανήτη, αποτελεί την πιο χρήσιμη μορφή ενέργειας. Όταν τα φωτοβολταϊκά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ένα 5-17% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το πόσο ακριβώς είναι αυτό το ποσοστό εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε. Υπάρχουν π.χ. τα λεγόμενα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, και τα άμορφα. Τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα αναπτύχθηκαν αρχικά για την αεροδιαστημική και δορυφορική τηλεόραση, αργότερα χρησιμοποιήθηκαν σε φωτοβολταϊκά πλαίσια για την παραγωγή ηλιακής ενέργειας και σήμερα διακρίνονται για την υψηλή απόδοσή τους.



Για τα *Εικόνα 3.17*

μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα χρησιμοποιείται αυξημένης υψηλής καθαρότητας πυρίτιο και παράγονται σε μια πολύπλοκη διαδικασία από το ημιαγώγιμο υλικό πυρίτιο, με την εξαγωγή ράβδων μονοκρυσταλλικών από το τήγμα πυρίτιο. Στη συνέχεια, αυτές οι ράβδοι κόβονται σε λεπτές φέτες, οι οποίες ονομάζονται «γκοφρέτες». Τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα, τα οποία είναι τετράγωνα κομμάτια με στρογγυλεμένες γωνίες, διασυνδέονται μεταξύ τους, για να σχηματίσουν τους ηλιακούς συλλέκτες. Φωτοβολταϊκά από μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα έχουν ένα σκούρο μπλε χρώμα και διάρκεια ζωής περίπου 30 χρόνια. Τα πολυκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα, καθώς και τα μονοκρυσταλλικά είναι κατασκευασμένα από πυρίτιο. Ωστόσο, το πυρίτιο δεν είναι τόσο καθαρό όπως στην παραγωγή των μονοκρυσταλλικών κυττάρων. Κατά την διαδικασία παρασκευής, ένα μπλοκ πυρίτιο χυτεύεται και στη συνέχεια ψύχεται βραδέως. Όταν το τετηγμένο πυρίτιο ψύχεται και γίνεται στερεό, οι κρυσταλλικές δομές του εμφανίζονται σε διάφορα μεγέθη. Από αυτό το μπλοκ τότε μπορούν να διαχωριστούν φέτες, και κάθε φέτα αποτελεί ένα πολυκρυσταλλικό ηλιακό κύτταρο. Πολλά πολυκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα μαζί στη συνέχεια συνδυάζονται για να σχηματίσουν ένα ηλιακό στοιχείο. Τα πολυκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα στη συνέχεια ενσωματώνεται σε μια διαφανή στρώση αιθυλενίου-οξικού βινυλίου, και καλύπτονται με ένα φύλλο γυαλιού έτσι ώστε να σχηματίσουν ένα ηλιακό πλαίσιο.

Τα πολυκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα είναι τετράγωνα, αλλά δεν έχουν στρογγυλεμένες γωνίες, όπως τα μονοκρυσταλλικά και έτσι η παρασκευή των ενοτήτων είναι λιγότερο δαπανηρή. Οι ενότητες είναι μπλέ και δεν είναι τόσο σκούρες όσο τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα και η απόδοσή τους βρίσκεται περίπου στο 15%. Η επιλογή του είδους των φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση των αναγκών σας, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής σας ευχέρειας.

Όλα τα φωτοβολταϊκά πάντως μοιράζονται τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- μηδενική ρύπανση
- αθόρυβη λειτουργία
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια)
- απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες ελάχιστη συντήρηση

Τα φωτοβολταϊκά συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Τα φωτοβολταϊκά είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Μιας νέας εποχής που θα χαρακτηρίζεται ολοένα και περισσότερο από τις μικρές αποκεντρωμένες εφαρμογές σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής (όπως π.χ. τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής, οι μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμου) αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα χρόνια που έρχονται. Ένα επιπλέον κοινό αυτών των νέων τεχνολογιών είναι η φιλικότητά τους προς το περιβάλλον. Τα φωτοβολταϊκά είναι λειτουργικά καθώς προσφέρουν επεκτασιμότητα της ισχύος τους και δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) αναιρώντας έτσι το μειονέκτημα της ασυνεχούς παραγωγής ενέργειας. Δίνοντας τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή, και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια, τον καθιστούν πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν έτσι στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας. Η εμπειρία της Δανίας π.χ. έδειξε μείωση της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού από χρήστες φωτοβολταϊκών, της τάξης του 5-10%. Για τις επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού, υπάρχουν ευδιάκριτα τεχνικά και εμπορικά πλεονεκτήματα από την εγκατάσταση μικρών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όσο περισσότερα συστήματα παραγωγής ενέργειας εγκατασταθούν και συνδεθούν με το δίκτυο ηλεκτροδότησης, τόσο περισσότερα είναι τα οφέλη για τις επιχειρήσεις, όπως π.χ. η βελτίωση της ποιότητας της ηλεκτρικής ισχύος, η σταθερότητα της ηλεκτρικής τάσης και η μείωση των επενδύσεων για νέες γραμμές μεταφοράς.

Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης. Οι διάφοροι μικροί παραγωγοί πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για τη μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο (απώλειες, οι οποίες στην Ελλάδα ανέρχονται σε 12% κατά μέσο όρο). Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή. Τα φωτοβολταϊκά, εκτός από καθαρή ενέργεια, παρέχουν ακόμη προσέλευση πελατών και αξιοπιστία σε ένα απελευθερωμένο περιβάλλον. Σε ένα υψηλά ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού χρειάζονται κίνητρα για να προσελκύσουν και να διατηρήσουν τους πελάτες τους. Τα προγράμματα καθαρής ενέργειας μπορούν να είναι ελκυστικά σε αρκετά μεγάλο αριθμό καταναλωτών που ενδιαφέρονται γενικά για το περιβάλλον και ειδικότερα για τις κλιματικές αλλαγές. Σήμερα οι καταναλωτές στις απελευθερωμένες ενεργειακές αγορές δεν αγοράζουν απλά τη φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια, καθώς υπάρχει πλέον θέμα τόσο ποιότητας όσο και υπηρεσιών. Όσον αφορά στην ποιότητα του

ηλεκτρισμού, τα θέματα είναι ξεκάθαρα: η ενέργεια που χρησιμοποιώ προέρχεται από θερμοηλεκτρικό σταθμό που χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα και καταστρέφει το περιβάλλον, ενώ μπορεί να προέλθει από μια μονάδα που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον. Ποιά ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να αγοράσω; Μπορώ, τουλάχιστον, να αγοράσω μικρές ποσότητες καθαρής ενέργειας για να ενθαρρύνω τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας; Αυτά αποτελούν θέματα που απασχολούν οπωσδήποτε τις έξυπνες επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας. Η επιχείρηση που αποδέχεται τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα προσελκύσει πελάτες-παραγωγούς που θα χρησιμοποιούν φωτοβολταϊκά και θα πωλούν στη συνέχεια σε αυτή καθαρή ενέργεια. Σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς, τέτοιοι πελάτες-παραγωγοί μπορεί να βρίσκονται οπουδήποτε. Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά παρέχοντας τη δυνατότητα για καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών, σχημάτων και μπορούν να παρέχουν ευελιξία και πλαστικότητα στη φόρμα, ενώ δίνουν και δυνατότητα διαφορικής διαπερατότητας του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού. Αντικαθιστώντας άλλα δομικά υλικά συμβάλλουν στη μείωση του συνολικού κόστους μιας κατασκευής (ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση των ηλιακών προσόψεων σε εμπορικά κτίρια). Τέλος, τα φωτοβολταϊκά παρέχουν κύρος στο χρήστη τους και βελτιώνουν το εικόνα των επιχειρήσεων που τα επιλέγουν. Στις πιο αναπτυγμένες αγορές (όπως η ιαπωνική και η γερμανική) τα φωτοβολταϊκά είναι πλέον δημοφιλή και απαραίτητοι για κάθε νέα κτιριακή εφαρμογή.

Τα μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι το σχετικά υψηλό κόστος αγοράς και η έλλειψη επιδοτήσεων ήταν ως πρίν λίγο ο κυριότερος λόγος για την στασιμότητα της ελληνικής αγοράς φ/β. (π.χ. η έλλειψη επιχορήγησης για τον οικιακό καταναλωτή, έλλειψη επιχορήγησης της παραγόμενης φ/β kWh). Τα φωτοβολταϊκά, όπως άλλωστε και όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), έχουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης και ασήμαντο λειτουργικό κόστος, αντίθετα με τις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες που συνήθως έχουν σχετικά μικρότερο αρχικό επενδυτικό κόστος και υψηλά λειτουργικά κόστη. Το κλίμα αυτό όμως τώρα αλλάζει δραματικά. Πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια σημαντικά προγράμματα ενίσχυσης των φωτοβολταϊκών, με γενναίες επιδοτήσεις τόσο της αγοράς και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών, όσο και της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας.



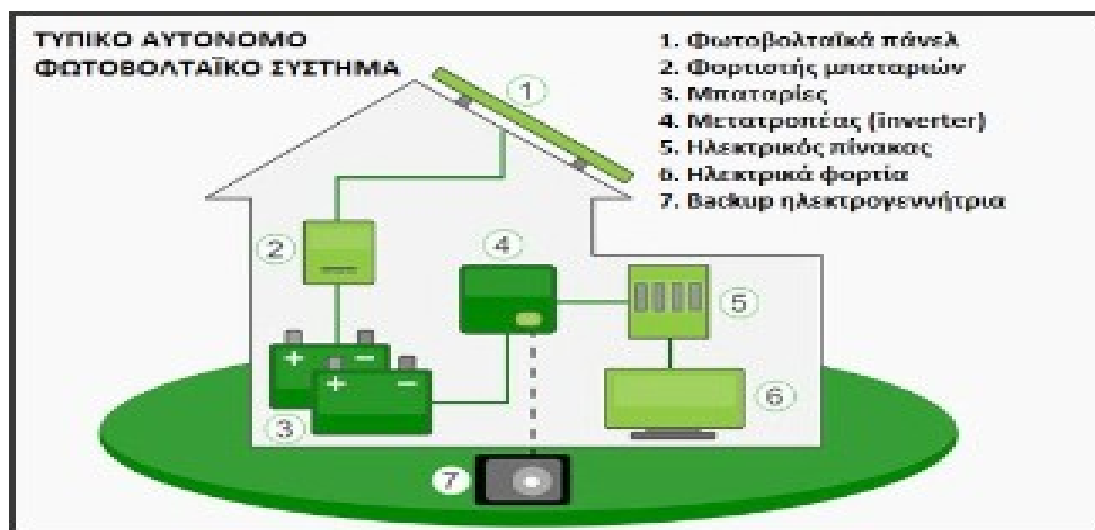
**ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΣΕ ΣΤΕΓΕΣ**

ΙΣΧΥΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ m ²		ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ		ΠΑΡΑΓΩΓΗ	
	Στέγη	Ταράτσα	Κόστος	Με Φ.Π.Α.	kWh/έτος	€/έτος
3.000 W	24	48	12.000,00 €	14.280,00 €	4.500,00 €	2.475,00 €
4.000 W	32	64	16.000,00 €	19.040,00 €	6.000,00 €	3.300,00 €
5.000 W	40	80	20.000,00 €	23.800,00 €	7.500,00 €	4.125,00 €
6.000 W	48	96	24.000,00 €	28.560,00 €	9.000,00 €	4.950,00 €
7.000 W	56	112	28.000,00 €	33.320,00 €	10.500,00 €	5.775,00 €
8.000 W	64	128	32.000,00 €	38.080,00 €	12.000,00 €	6.600,00 €
9.000 W	72	144	36.000,00 €	42.840,00 €	13.500,00 €	7.425,00 €
10.000 W	80	160	40.000,00 €	47.600,00 €	15.000,00 €	8.250,00 €

Το κόστος και οι αποδόσεις είναι ενδεικτικές. Στο κόστος έχει υπολογισθεί η καλύτερη ποιότητα υλικών και οι αποδόσεις αφορούν ιδανικό προσανατολισμό στην κεντρική Ελλάδα.

Εικόνα 3.18

3.3.6 Αυτόνομα συστήματα



Εικόνα 3.19 Τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα [2]

Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ρεύματος) ονομάζονται εκείνα τα συστήματα ηλεκτροδότησης που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από τον ήλιο (φβ) ή τον άνεμο (ανεμογεννήτρια) και την αποθηκεύουν σε συσσωρευτές (μπαταρίες), χωρίς απαραίτητα (μπορούν να παραμείνουν και συνδεδεμένα με το δημόσιο δίκτυο) να συνδέονται με το δημόσιο δίκτυο ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) παρέχοντας ενεργειακή αυτονομία με τη βοήθεια φωτοβολταϊκών. Οι συσσωρευτές (μπαταρίες) των φωτοβολταϊκών είναι το πιο φθαρτό σημείο ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η συστοιχία συσσωρευτών. Ανάλογα με τον τύπο, την ποιότητα και τον τρόπο χρήσης των μπαταριών καθορίζεται ο χρόνος ζωής τους. Ο χρόνος ζωής των μπαταριών καθορίζεται από τον αριθμό των κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης σε συγκεκριμένο ποσοστό εκφόρτισης (όσο βαθύτερα εκφορτίζεται μία μπαταρία τόσο λιγότερο χρόνο ζωής έχει) ανάλογα βέβαια με τη θερμοκρασία λειτουργίας τους. Συνήθως σε μικρά αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα έως 1kW χρησιμοποιούνται μπαταρίες AGM-VRLA κλειστού τύπου με 400-800 κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης στο 50% DoD (βάθος εκφόρτισης). Σε μεσαία συστήματα 1-2kW επιλέγονται ανοιχτού τύπου μπαταρίες με 1500 περίπου κύκλους στο 50% DoD ενώ σε μεγαλύτερα συστήματα επιλέγονται μπαταρίες OpzS-OpzV 2βολτες με πάνω από 2.500 κύκλους στο 50% DoD.

Οι μπαταρίες ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού θα πρέπει να έχουν το κατάλληλο μέγεθος ώστε να μην εκφορτίζονται πολλές φορές το χρόνο σε μεγάλο βάθος, θα πρέπει να έχουν εγκατασταθεί σε χώρο με θερμοκρασίες 20-25°C, θα πρέπει να φορτίζονται σωστά και να συντηρούνται κατάλληλα (προσθήκη υγρών όποτε απαιτείται). Μικρές λεπτομέρειες όπως η περιοδική εξισορρόπησή τους (βρασμός σε υψηλή τάση - equalisation) μπορεί να κάνουν τη διαφορά από ένα αξιόπιστο σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και ένα αποτυχημένο φωτοβολταϊκό αυτονομίας ρεύματος. Μην αμελήσετε να βάλετε τον αισθητήρα θερμοκρασίας του ρυθμιστή φόρτισης (θα πρέπει να προσαρμόζεται η φόρτιση στην εκάστοτε θερμοκρασία). Ο μηχανικός που σχεδιάζει ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό θα πρέπει να προβλέψει σωστά την χρήση των μπαταριών ώστε να επιλέξει το κατάλληλο μέγεθος και τον κατάλληλο τύπο. Ο κατασκευαστής του αυτόνομου φωτοβολταϊκού θα πρέπει να φροντίσει την ορθή επιλογή του χώρου εγκατάστασης (θερμοκρασία, αερισμός κλπ). Ο επιβλέπωντας μηχανικός του έργου θα πρέπει να ρυθμίσει σωστά την φόρτιση των μπαταριών και να εκπαιδεύσει τον ιδιοκτήτη του για τη σωστή λειτουργία και συντήρησή τους. Οι μπαταρίες των αυτόνομων συστημάτων είναι ένα υποσύστημα που διαρκώς εξελίσσεται και βελτιώνεται. Τα συστήματα αυτόνομης ηλεκτροδότησης μπορούν να είναι και υβριδικά στην περίπτωση που συνεργάζονται και με άλλες πηγές ενέργειας όπως ένα μικρό υδροηλεκτρικό, μια ανεμογεννήτρια ή ακόμη και ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να εξάγει συνεχή τάση (μικρά αυτόνομα σε σκάφη ή τροχόσπιτα που τροφοδοτούν DC

μικρές συσκευές όπως ψυγεία και LED) ή εναλλασσόμενη τάση (απαιτείται μετατροπέας από DC σε AC που ονομάζεται αντιστροφέας) Τα συστήματα αυτόνομης ηλεκτροδότησης διακρίνονται επίσης σε συστήματα με αποθήκευση (πραγματική αυτονομία - κατάργηση ΔΕΗ) ή χωρίς αποθήκευση (συνήθως διατηρείται η σύνδεση με ΔΕΗ). Η αυτονομία ενός συστήματος καθορίζεται από το μέγεθος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας αλλά και της μπαταρίας.

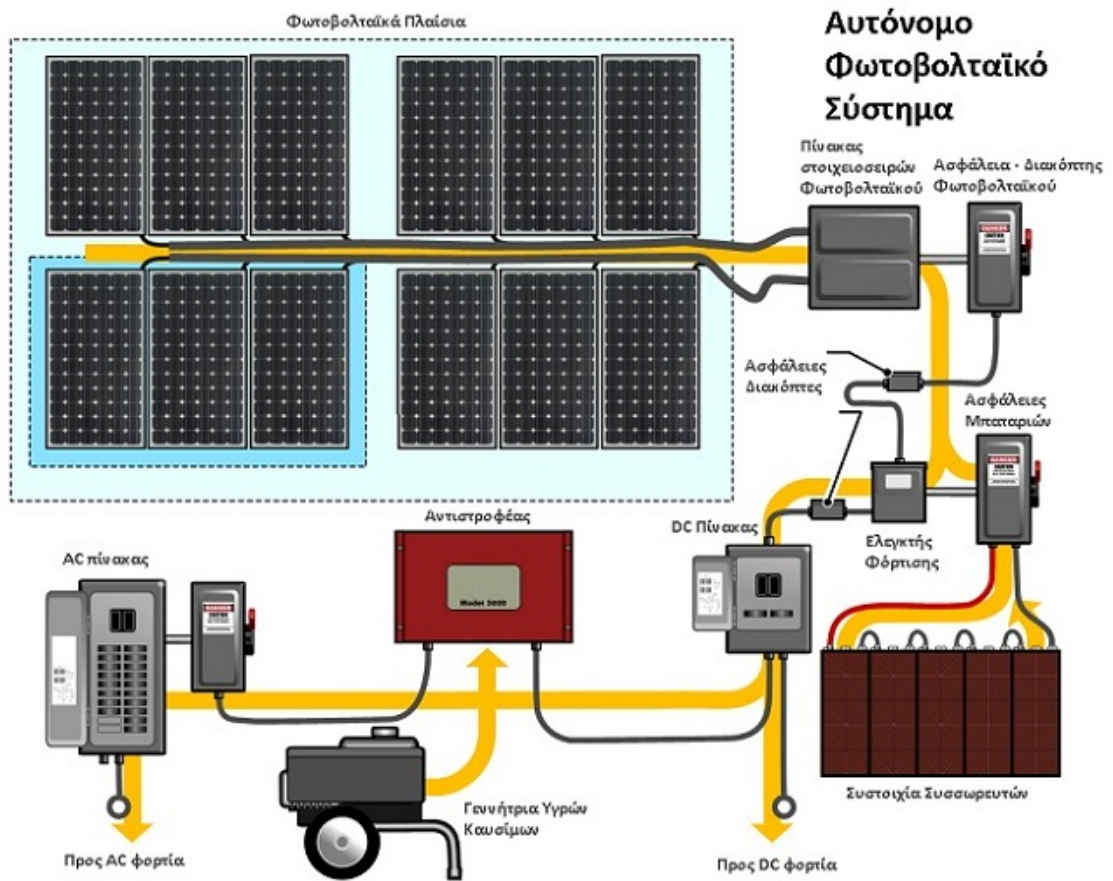
Σε ένα σύστημα αυτόνομης παραγωγής ενέργειας χωρίς αποθήκευση όσο φωτίζεται από τον ήλιο η φωτοβολταϊκή συστοιχία η παραγόμενη ενέργεια αποδίδεται στην κατανάλωση χωρίς να αποθηκεύεται σε συσσωρευτές (μπαταρίες). Το πλεόνασμα χάνεται και κατά τη διάρκεια μη ύπαρξης ηλιοφάνειας δεν υπάρχει τάση. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα άρδευσης.

Στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αποθήκευση η παραγόμενη ενέργεια χρησιμοποιείται για την απευθείας τροφοδοσία των καταναλώσεων και η περίσσεια αποθηκεύεται σε μπαταρίες ώστε να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας ή περιόδου συννεφιάς. Οι μέρες που μπορεί να στηρίξει ένα αυτόνομο την κατανάλωση συνήθως ονομάζεται αυτονομία ρεύματος και εξαρτάται από την χωρητικότητα των



Εικόνα 3.20

συσσωρευτών (εκφράζεται σε Ah και πολλαπλασιαζόμενη με την τάση μας δίνει το μέγεθος της αποθηκευμένης ενέργειας σε Wh). Τα συστήματα αυτόνομης ηλεκτροδότησης αποτελούν ιδανική επιλογή για εξοχικές κατοικίες – σπίτια (τροχόσπιτα, τροχοβίλες, απομακρυσμένες επιχειρήσεις, κ.α.), για σπίτια που δεν μπορούν να συνδεθούν με το δημόσιο δίκτυο της ΔΕΗ (είτε γιατί δεν υπάρχει άδεια, είτε γιατί είναι απομακρυσμένο το δίκτυο και έχει τεράστιο κόστος, κλπ.) και για απομακρυσμένες τουριστικές επιχειρήσεις (αυτόνομο για καντίνα, για ζαχαροπλαστείο, για ενοικιαζόμενα, μικρό ξενοδοχείο κλπ.). Η πλέον συνήθης χρήση αυτών των συστημάτων είναι η εγκατάσταση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού για εξοχικό. Επίσης τα συστήματα αυτονομίας ρεύματος αποτελούν βέλτιστη λύση back-up (παρέχοντας ενεργειακή αυτονομία) για ένα νοικοκυριό, σπίτι ή μία επιχείρηση που θέλει σε περίπτωση διακοπής της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος (απεργίες ΔΕΗ, διακοπή ρεύματος κλπ.) να έχει αυτονομία ρεύματος σε κάποια βασικά φορτία (ψυγείο, φωτισμό, τηλεόραση, internet, συναγερμός, κλπ.). Τέλος, δεν είναι λίγα τα σπίτια που ζητούν την εγκατάσταση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος με σκοπό την πλήρη κατάργηση ΔΕΗ. Ενδιαφέρον είναι να αναπτύξουμε πως λειτουργεί το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα. Συνοπτικά τα συστήματα αυτόνομης ρευματοδότησης λειτουργούν ως εξής: όσο υπάρχει ηλιοφάνεια τα φ/β πλαίσια μετατρέπουν τα φωτόνια της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρικό ρεύμα εκμεταλλευόμενα το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, ενώ ο ρυθμιστής φόρτισης φορτίζει τους συσσωρευτές με τη βοήθεια του φβ ρεύματος. Οι συσσωρευτές δίνουν την απαιτούμενη ενέργεια στο χρήστη μέσω του αντιστροφέα ο οποίος μετατρέπει την τάση των συσσωρευτών (συνεχής τάση-DC) σε χρήσιμη εναλλασσόμενη τάση (AC) για τον ιδιοκτήτη-χρήστη. Όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια ο χρήστης παίρνει ενέργεια μόνο από τους συσσωρευτές μέχρι ενός ορίου εκφόρτισης (πχ 30%) ώστε να διαφυλαχθεί και η μακροζωία των μπαταριών.



Εικόνα 3.21

4 Ανεμογεννήτριες

4.1 Εισαγωγή

Η αιολική ενέργεια αποτελεί το στυλοβάτη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τουλάχιστον στην Ευρώπη. Το 70% περίπου της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος που προέρχεται από ανεμογεννήτριες βρίσκεται στην Ευρώπη, ενώ περισσότερο από 80% των ανεμογεννητριών που εγκαθίστανται παγκοσμίως, κατασκευάζονται σε αυτή.

Στη χώρα μας οι επικρατούσες συνθήκες στο Αιγαίο, στο Κρητικό και στο Καρπάθιο πέλαγος, στις ανατολικές ακτές της κεντρικής και νότιας Χώρας, στη Βόρεια Κρήτη και στα Δωδεκάνησα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους ευνοούν την εμφάνιση ανέμων σημαντικής εντάσεως, ικανής να διατηρεί σε λειτουργία ανεμογεννήτριες για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Έτσι, ευνοείται η εγκατάσταση αιολικών πάρκων που συνήθως συνδέονται σε δίκτυα μέσης και υψηλής τάσης ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ τους. Παρόμοιες συνθήκες ισχύουν και στο εσωτερικό της χώρας και ιδιαίτερα στις ορεινές περιοχές. Οι συνθήκες στις περιοχές αυτές είναι αρκετά ευνοϊκές διότι υπάρχει συνεχής πνοή καλής ποιότητας ανέμου, ελάχιστες μέρες άπνοιας και ανυπαρξία τυφώνων.

Ο τύπος και τα μεγέθη των ανεμογεννητριών που εγκαθίστανται στην Ελλάδα, ακολουθούν μέχρι στιγμής τις διεθνείς εξελίξεις και είναι κυρίως εισαγωγής από άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Ωστόσο, υπάρχει μία σημαντική προστιθέμενη αξία από ελληνικές κατασκευαστικές επιχειρήσεις τόσο για την κατασκευή επιμέρους τμημάτων των ανεμογεννητριών όσο και για την εγκατάσταση και τη δημιουργία της κατάλληλης υποδομής για τη λειτουργία τους. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι η ελληνική βιομηχανία είναι αναγκαίο να συνεισφέρει και να δημιουργήσει νέες τεχνολογίες ώστε η ελληνική προστιθέμενη αξία να γίνει ακόμα μεγαλύτερη.

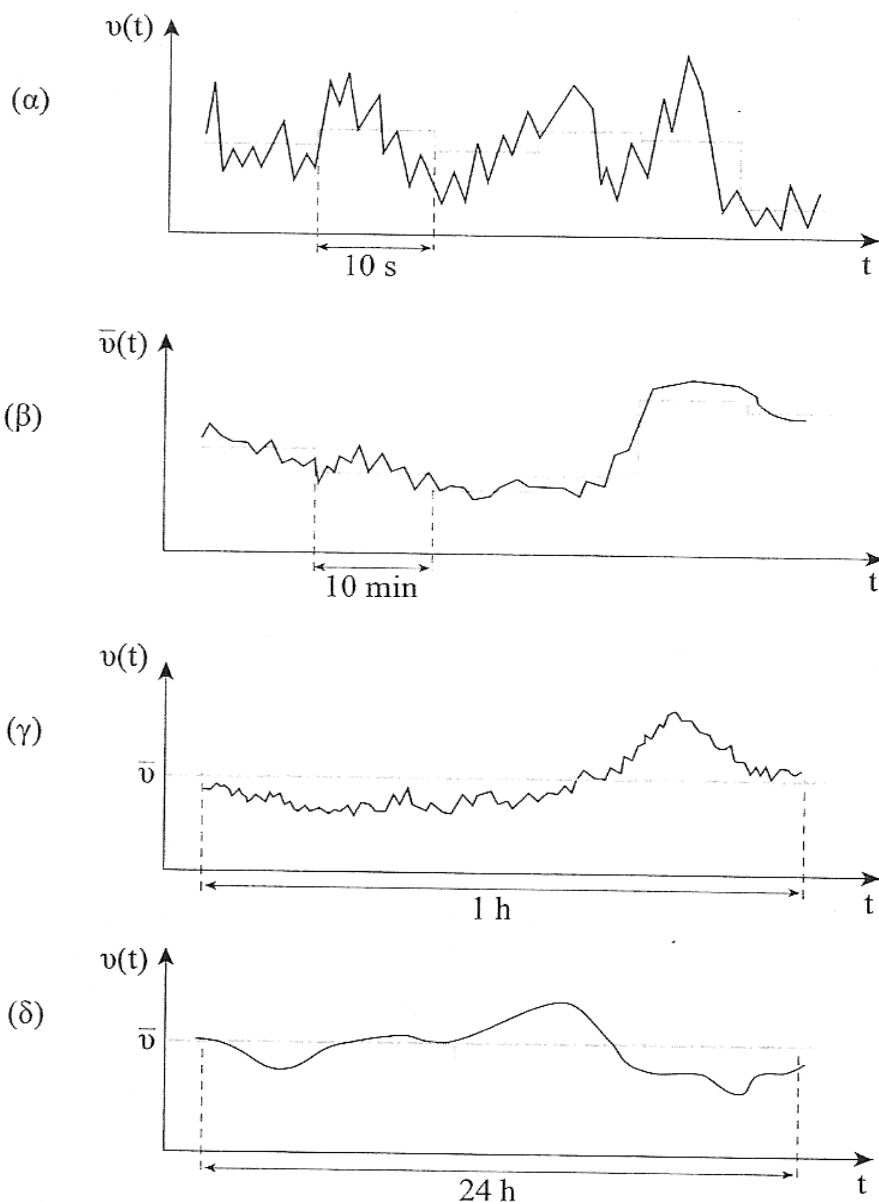
Τα πλεονεκτήματα της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού συνοπτικά είναι:

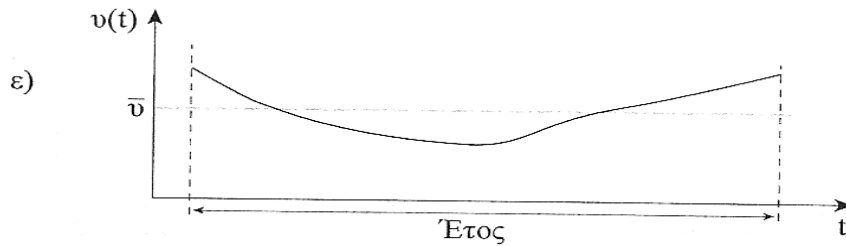
- Η αιολική ενέργεια είναι μια καθαρή πηγή ενέργειας.
- Οι ανεμογεννήτριες δεν εκλύουν χημικές ουσίες στο περιβάλλον οι οποίες προκαλούν όξινη βροχή ή αέρια του θερμοκηπίου.
- Η τεχνολογία που αναπτύσσεται είναι μια από τις πιο οικονομικές στον χώρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (χαμηλό κόστος ανά kWh).
- Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να στηθούν σε αγροκτήματα ή ράντσα, όπου βρίσκονται οι περισσότερες από τις καλύτερες τοποθεσίες από την άποψη του ανέμου.
- Τα μειονεκτήματα αντίστοιχα είναι:
- Η αιολική ενέργεια πρέπει να ανταγωνιστεί τις συμβατικές πηγές ενέργειας σε επίπεδο κόστους.
- Δεν μπορούν όλοι οι άνεμοι να τιθασευτούν.
- Τα κατάλληλα σημεία για αιολικά πάρκα είναι σε απομακρυσμένες περιοχές.
- Υπάρχει προβληματισμός για τον θόρυβο που παράγεται από τα πτερύγια του ηλεκτρικού κινητήρα (ρότορα), και τις δυσμενείς επιδράσεις στο οικοσύστημα της περιοχής (πολλές φορές έχουν σκοτωθεί πουλιά που πετούσαν κοντά στις ανεμογεννήτριες).

4.2 Χαρακτηριστικά του ανέμου

4.2.1 Ταχύτητα ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου σε ένα τόπο καθορίζεται από τις διαφορές πίεσης στην ατμόσφαιρα σε μεγάλη κλίμακα και διαμορφώνεται από το ανάγλυφο της περιοχής και την τραχύτητα της επιφάνειας του εδάφους. Το μέτρο και η κατεύθυνσή της εμφανίζουν συχνές μεταβολές. Εμφανίζονται διακυμάνσεις της μέσης ημερήσιας ταχύτητας από μέρα σε μέρα μέσα στο έτος και της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου, από έτος σε έτος, όπως φαίνονται στα διαγράμματα α-ε. Παρόλα αυτά, η άμεση σχέση του ανέμου και της περιοδικής εμφάνισης του ήλιου σε ένα τόπο, έχει ως αποτέλεσμα την εποχική και ετήσια περιοδικότητα της εμφάνισης της μέσης ταχύτητάς του. Συνεπώς για την μελέτη και τον υπολογισμό των κατάλληλων σε κάθε περίπτωση αιολικών συστημάτων, ενδιαφέρον παρουσιάζει η γνώση της περιοδικής εμφάνισης της μέσης ταχύτητας του ανέμου, σε χαρακτηριστικές χρονικές περιόδους π.χ. μέσα στο μήνα ή το έτος.





Η στιγμιαία ταχύτητα, u , μετρείται με τα ανεμόμετρα και η κατεύθυνση με ειδικό αισθητήρα (ανεμοδείκτη).

Δίνεται από τον τύπο: $u(t) = \bar{u} + v(t)$, όπου \bar{u} η μέση ταχύτητα για το χρονικό διάστημα που εξετάζουμε και $v(t)$ η τυρβώδης συνιστώσα.

- Η μέση τιμή \bar{u} του μέτρου της ταχύτητας μέσα σε ένα χρονικό διάστημα T , δίνεται εξορισμού από την σχέση:
$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T u dt$$

Η μέση ταχύτητα καθορίζει την ενεργειακή απόδοση της ανεμογεννήτριας και ακολουθεί την κατανομή Weibull:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c} \right)^k}$$

,όπου k η παράμετρος μορφής, που παίρνει συνήθως τιμές από 1,5 έως 2,5, και c η παράμετρος κλίμακας. Όταν $k=1$ η κατανομή γίνεται εκθετική και όταν $k>3$ η κατανομή γίνεται κανονική. Για την τυπική τιμή $k=2$ η κατανομή γίνεται Rayleigh.

Η μέγιστη ημερήσια ταχύτητα ανέμου και η συχνότητα εμφάνισης ριπών του ανέμου, που είναι έντονες αυξήσεις της ταχύτητάς του βραχείας διάρκειας, συνήθως μικρότερης των 20sec, αποτελούν στοιχεία του αιολικού δυναμικού ενός τόπου. Μέσες τιμές ταχυτήτων μεγαλύτερων διαστημάτων π.χ. λεπτού ή πεντάλεπτου, χρησιμεύουν για τη συσχέτιση της αποδιδόμενης στο διάστημα αυτό μέσης ηλεκτρικής ισχύος με τη μέση ταχύτητα του διαστήματος αυτού.

- Η τυρβώδης συνιστώσα $v(t)$ αντιπροσωπεύει τις ταχείες διακυμάνσεις του ανέμου και επηρεάζει την ποιότητα ισχύος και τα κοπωτικά φορτία. Περιγράφεται από φάσμα τύπου

Von Karman:
$$S_v = \frac{\sigma_v}{f} \frac{4\tilde{n}}{(1 + 70,8 \cdot \tilde{n}^2)^{5/6}}$$
, όπου $\sigma_v = \frac{\bar{u}}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$ η διασπορά τύρβης και

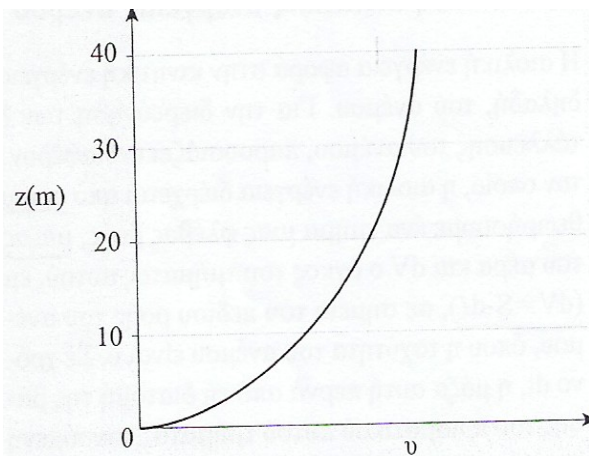
$$\tilde{n} = f \cdot {}^x L_v / \bar{u}$$
 με ${}^x L_v = 25 \frac{z^{0,35}}{z_0^{0,063}}$ τη διαμήκη κλίμακα τύρβης.

4.2.2 Μεταβολή ταχύτητας ανέμου με το ύψος

Η ταχύτητα u , του ανέμου, σε ύψος z πάνω από το έδαφος, το οποίο θεωρούμε επίπεδο, απείρου εκτάσεως, με ομοιογενώς διασπαρμένες διαταραχές, προσεγγίζεται από τη σχέση:

$$u = u_{ref} \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)}$$

όπου z_{ref} , το ύψος αναφοράς, που είναι το ύψος όπου γνωρίζουμε πειραματικά την ταχύτητα του ανέμου u_{ref} . Το ύψος z_0 , αφορά στο μέσο ύψος του διαταραγμένου στρώματος του αέρα, εξ' αιτίας των ανωμαλιών του εδάφους, και ονομάζεται μήκος τραχύτητας. Στο Σχήμα 3.27 δίνεται η τυπική μορφή της μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου συναρτήσει του ύψους από το έδαφος.



Εικόνα 4.1: Τυπική μορφή μεταβολής της ταχύτητας ανέμου συναρτήσει του ύψους

4.2.3 Ενεργειακό περιεχόμενο και ισχύς ανέμου

Η αιολική ενέργεια αφορά στην κινητική ενέργεια των κινούμενων αερίων μαζών, δηλαδή του ανέμου. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο ρυθμός με τον οποίο η αιολική ενέργεια διέρχεται από ορισμένη διατομή.

Έστω λοιπόν μια ποσότητα ανέμου μάζας $dm = \rho \cdot dV$, όπου ρ η πυκνότητα του αέρα και dV ο όγκος του τμήματος αυτού, εμβαδού διατομής S και μήκους dl ($dV = S \cdot dl$), σε σημείο του πεδίου ροής του ανέμου όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι u .

Σε χρόνο dt , η μάζα αυτή περνά από τη διατομή της βάσης του πρισματικού αυτού τμήματος κινούμενη σε μήκος $dl = u \cdot dt$. Άρα, η κινητική ενέργεια του τμήματος αυτού είναι:

$$dE_k = \frac{1}{2} dm \cdot u^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot dl \cdot u^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot u \cdot dt \cdot u^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot u^3 \cdot dt$$

Συνεπώς, η ισχύς κινητικής ενέργειας της ποσότητας αυτής του ανέμου, εμβαδού S , $P_a = dE_k / dt$, προκύπτει ίση με

$$P_a = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot u^3$$

Η πυκνότητα του αέρα, ρ , εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση, σύμφωνα με τη σχέση

$$\rho = 348,8 \cdot 10^3 \frac{P_a}{\Theta} \cong 1,2 \div 1,3 \text{ Kg}/m^3$$

,όπου P_a η ατμοσφαιρική πίεση σε mbar και Θ η θερμοκρασία σε °C.

Τελικά, η ισχύς κινητικής ενέργειας του ανέμου εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα καθώς και από την ατμοσφαιρική πίεση στο συγκεκριμένο τόπο.

4.3 Κατασκευαστική διαμόρφωση ανεμογεννητριών

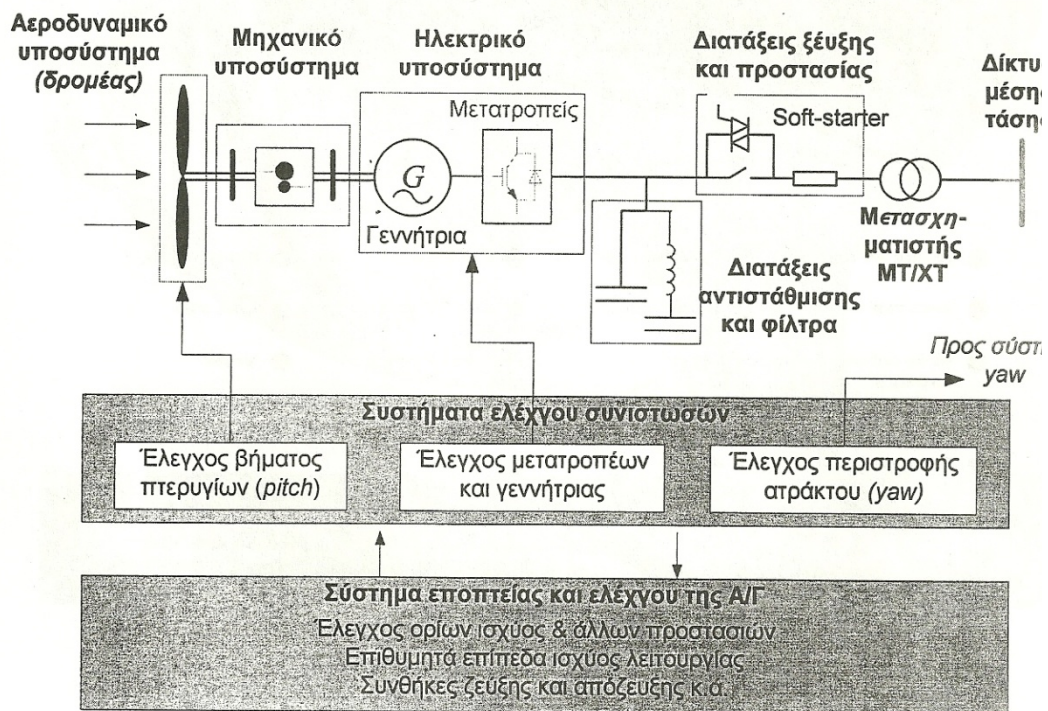
4.3.1 Βασικά υποσυστήματα και άλλα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

Τα τρία βασικά υποσυστήματα μιας ανεμογεννήτριας είναι το μηχανικό, το ηλεκτρικό και το σύστημα ελέγχου.

- Το μηχανικό σύστημα περιλαμβάνει κυρίως τον ανεμοκινητήρα, αποτελεί δηλαδή το σύστημα μετατροπής της ενέργειας του ανέμου σε μηχανική. Συνήθως μεταξύ του ανεμοκινητήρα και της γεννήτριας μεσολαβεί μία διάταξη μεταφοράς της κίνησης, η οποία περιλαμβάνει έναν πολλαπλασιαστή στροφών καθώς και συνδέσμους προς τον ανεμοκινητήρα ή και τη γεννήτρια.
- Το ηλεκτρικό σύστημα περιλαμβάνει τη γεννήτρια και ενδεχομένως ένα μετατροπέα ισχύος, που παρεμβάλλεται μεταξύ της γεννήτριας και του δικτύου ή του φορτίου, όπως π.χ. ένα μετατροπέα AC-DC-AC για τον έλεγχο της ροής ισχύος. Η γεννήτρια μπορεί να είναι σύγχρονη, οπότε η συχνότητα της παραγόμενης τάσης είναι ακριβώς ανάλογη των στροφών, ή ασύγχρονη, οπότε η συχνότητα της παραγόμενης τάσης δεν είναι μεν ακριβώς ανάλογη των στροφών αλλά αυξάνεται πολύ λίγο με το φορτίο (μέχρι 3%) ώστε και πάλι να μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά σταθερή. Μία εναλλακτική επιλογή είναι η χρησιμοποίηση γεννήτριας Συνεχούς Ρεύματος με παρεμβολή αντιστροφέα.
- Το σύστημα ελέγχου της Α/Γ είναι το συνολικό σύστημα εποπτείας (supervision and management) και περιλαμβάνει και επιμέρους συστήματα ελέγχου, όπως της κλίσης των πτερυγίων (pitch control), των μετατροπέων ισχύος, της γεννήτριας και της περιστροφής της ατράκτου (yaw control). Αυτό το σύστημα προσαρμόζει τη λειτουργία της Α/Γ στις εκάστοτε συνθήκες ανέμου, επιτηρεί την ασφάλεια και μεγιστοποιεί την απόδοσή της. Η πολυπλοκότητα των συστημάτων ελέγχου παρουσιάζει συνεχή αύξηση κατά τα τελευταία χρόνια και αποτελεί βασικό κριτήριο εξέλιξης των Α/Γ.

Για τη σύνδεση της Α/Γ στο δίκτυο μέσης τάσης υπάρχουν ακόμα διατάξεις αντιστάθμισης και φίλτρα, διατάξεις ζεύξης και προστασίας (πχ διακόπτης ισχύος, ηλεκτρονόμος προστασίας, σύστημα ομαλής εκκίνησης soft-starter, κ.ά.) καθώς και μετασχηματιστής ΧΤ/ΜΤ.

Η Εικόνα 4.2 παρουσιάζει όλα αυτά τα συστήματα.



Εικόνα 4.2: Συστήματα ανεμογεννητριών

Πριν αναλύσουμε τα τρία βασικά υποσυστήματα μιας ανεμογεννήτριας, θα πρέπει να γίνει αναφορά και σε κάποια ακόμα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, όπως ο πύργος, η έλικα και τα πτερύγια.

- Πύργος:

Ο πύργος της ανεμογεννήτριας στηρίζει την έλικα και την άτρακτο, η οποία περιέχει το μηχανικό φρένο, το κιβώτιο ταχυτήτων, τη γεννήτρια και το μηχανισμό περιστροφής. Το ύψος του πύργου κατά το παρελθόν κυμαινόταν στο εύρος των 25-55m. Την τελευταία δεκαετία όμως το ύψος αυτό έχει φτάσει να ανέρχεται ακόμα και στα 115m. Για ανεμογεννήτριες μεσαίου και μεγάλου μεγέθους μάλιστα ο πύργος είναι συνήθως ελαφρά ψηλότερος από τη διάμετρο της έλικας. Για ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους όμως ο πύργος είναι λίγες φορές μεγαλύτερος από τη διάμετρο της έλικας, για να αποφεύγεται το φτωχό αιολικό περιεχόμενο σε μικρά ύψη πάνω από το έδαφος.

Οι πύργοι που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας μπορεί να είναι μεταλλικοί (δικτυωτοί ή συνηθέστερα σωληνωτοί), αλλά και από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Το κύριο μελέτημα στην κατασκευή του πύργου είναι η δυναμική του συμπεριφορά. Βασικής σημασίας για την επιλογή του πύργου είναι ο προβλεπόμενος τρόπος μεταφοράς και εγκατάστασής του σε συνδυασμό με την όλη συναρμολόγηση και της ανεμογεννήτριας και την επίδρασή της. Ο πύργος υπολογίζεται ως πακτωμένη δοκός, η οποία υφίσταται σύνθετη στατική και κυρίως δυναμική καταπόνηση. Ο σχεδιασμός του πύργου ώστε να αποφεύγονται συνθήκες συντονισμού έχει βασική σημασία.

- Έλικα και πτερύγια:

Ο δρομέας (ή έλικα) αποτελείται στους σύγχρονους ανεμοκινητήρες από 2 ή 3 πτερύγια, τα οποία έχουν την αεροδυναμική μορφή των ελίκων αεροπλάνων με αρκετή συστροφή και συνεχή μείωση της διατομής τους από την βάση προς τα άκρα.

Η τεχνολογία κατασκευής των πτερυγίων βρίσκεται σε συνεχή εξέλιξη και πολλά είδη υλικών έχουν χρησιμοποιηθεί: για τους μικρούς ανεμοκινητήρες χρησιμοποιούνται πολυουρεθάνη, υαλόνημα και ξύλο, για τους μεσαίου μεγέθους υαλονήματα σε πολλαπλές στρώσεις και εναλλαγή κατευθύνσεων και για τους μεγάλους ανεμοκινητήρες χρησιμοποιούνται τεχνολογίες ελίκων αεροπλάνων (ανθρακονήματα κλπ).

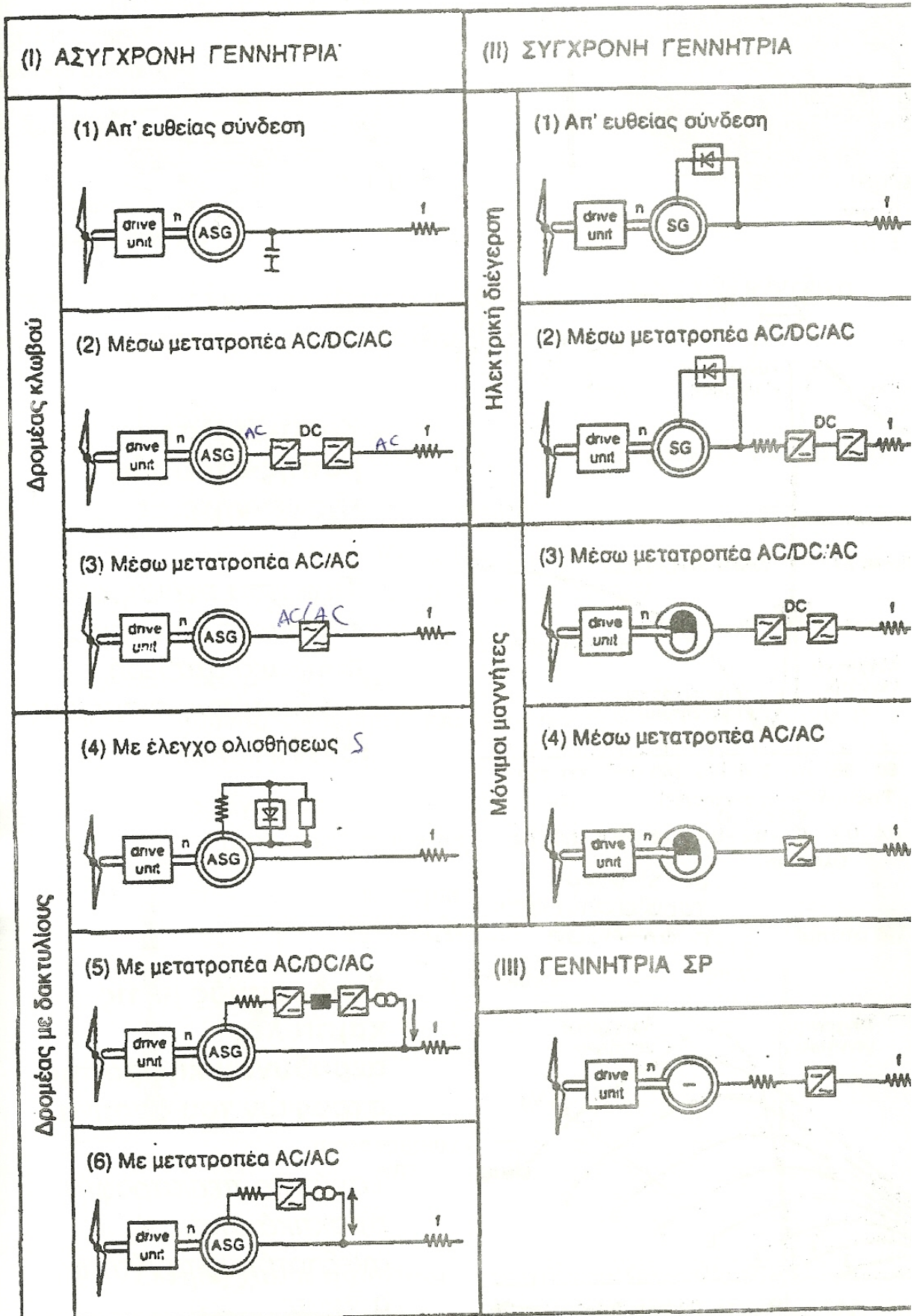
Η στήριξη των πτερυγίων της έλικας στον άξονα του δρομέα μπορεί να είναι σταθερή (πτερύγιο σταθερού βήματος) ή μεταβλητή, δηλαδή να είναι δυνατή η περιστροφή του στο σημείο έδρασης (πτερύγιο μεταβλητού βήματος). Επίσης, το πτερύγιο μπορεί να αποτελείται από δύο τμήματα, ένα τμήμα σταθερό στηριζόμενο στον άξονα και ένα επιπλέον ρυθμιζόμενο ακροπτερύγιο. Οι παραπάνω παραλλαγές είναι βασικής σημασίας για τον έλεγχο ισχύος- στροφών του ανεμοκινητήρα καθώς και για την ασφάλεια της λειτουργίας του.

4.3.1.1 Ηλεκτρικό σύστημα

Στην Εικόνα 4.3 παρουσιάζονται όλες οι δυνατές διαμορφώσεις του ηλεκτρικού συστήματος μιας Α/Γ:

Οι συνηθέστερες χρησιμοποιούμενες διαμορφώσεις είναι οι εξής:

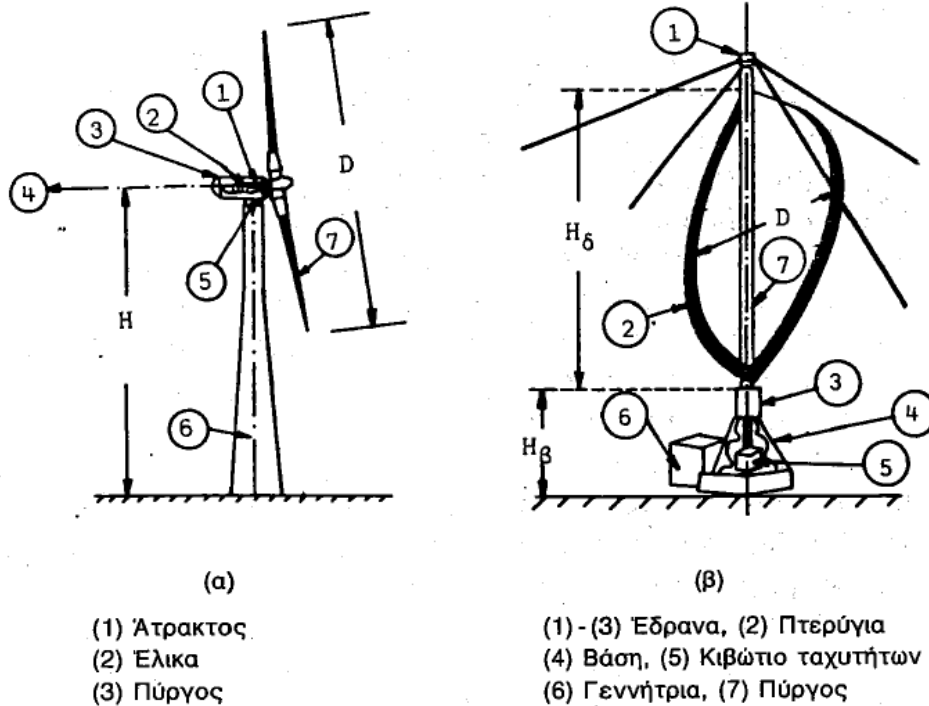
1. Η ασύγχρονη γεννήτρια τυλιγμένου δρομέα, μεταβλητής αντίστασης, απευθείας συνδεδεμένη στο δίκτυο
2. Η σύγχρονη γεννήτρια με τύλιγμα διεγέρσεως
3. Η σύγχρονη γεννήτρια μονίμων μαγνητών
4. Και πολύ σπάνια η ασύγχρονη γεννήτρια με δρομέα κλωβού, απευθείας συνδεδεμένη στο δίκτυο



Εικόνα 4.3: Όλες οι δυνατές διαμορφώσεις του ηλεκτρικού συστήματος μιας Α/Γ

4.3.1.2 Μηχανικό σύστημα

Το μηχανικό σύστημα, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αποτελείται κυρίως από τον ανεμοκινητήρα, το σύστημα μετάδοσης της κίνησης δηλαδή. Υπάρχουν δύο κυρίως τύποι ανεμοκινητήρα, άρα και ανεμογεννητριών: οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα και οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα.



Σχ. 2.2. (α) Α/Κ οριζόντιου άξονα
(β) Α/Κ κατακόρυφου άξονα

Εικόνα 4.4: Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα και οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα.

Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα:

Παραθέτουμε κάποια τυπικά μεγέθη εμπορικών ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα:

- Ισχύς: 500-5000 kW
- Διάμετρος δρομέα: 40-120m
- Δρομείς 3 πτερυγίων
- Ύψος: 50-120m
- Εύρος ταχυτήτων ανέμου: 3-30 m/s
- Ονομαστική ταχύτητα ανέμου: 12-16 m/s
- Ονομαστική ταχύτητα δρομέα: 12-40 rpm
- Εύρος ταχυτήτων δρομέα: 8-40 rpm
- Κόστος: ~1000 ευρώ/kW

- Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα:

Ο κυριότερος τύπος ανεμοκινητήρα κατακόρυφου άξονα είναι ο Darrieus. Ο άξονας περιστροφής του δρομέα αποτελεί και τον πύργο στήριξης, ο οποίος συχνά προσδένεται με επιτόνους. Έχουν 2 ή 3 πτερύγια, των οποίων η διατομή είναι παρόμοια με του οριζόντιου άξονα, αλλά παραμένει σταθερή καθ' όλο το μήκος τους.

Ένας άλλος τύπος ανεμοκινητήρα κατακόρυφου άξονα είναι ο μεταβαλλόμενης γεωμετρίας. Με την μεταβολή της γεωμετρίας του πτερυγίου επιτυγχάνεται ο έλεγχος στροφών.

Πρακτικά μειονεκτήματα της ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα είναι ότι το κάτω μέρος του δρομέα είναι πολύ κοντά στο έδαφος, έχει μέτρια συνολική απόδοση, καταλαμβάνει σχετικά μεγάλη επιφάνεια λόγω των καλωδίων στήριξης, παρουσιάζει δυσκολία στη μηχανική της συντήρηση (πχ αλλαγή των εδράνων στήριξης απαιτεί διάλυση όλης της μηχανής), δίνει αεροδυναμική ισχύ εξόδου με μεγάλες ταλαντώσεις (λόγω της συνεχούς αλλαγής του βήματος των πτερυγίων κατά την περιστροφή τους) και έχει πολύ χαμηλή ροπή εκκίνησης οπότε η εκκίνηση πρέπει να γίνεται με άλλα μέσα.

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτούν σύστημα αυτοματισμού δρομέα προς την διεύθυνση του ανέμου καθώς επίσης και ότι η εγκατάσταση του συστήματος μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια (πολλαπλασιαστής στροφών, γεννήτρια) βρίσκεται στο επίπεδο του εδάφους στην βάση του ανεμοκινητήρα. Γενικότερα οι ανεμοκινητήρες κατακόρυφου άξονα είναι κατασκευαστικά απλούστεροι του οριζόντιου άξονα πράγμα που αντισταθμίζει μερικά το μικρότερο αεροδυναμικό συντελεστή ισχύος.

4.3.1.3 Σύστημα ελέγχου

Να σημειωθεί αρχικά ότι η ταχύτητα του δρομέα πρέπει να ελέγχεται για τρεις λόγους:

- Για μέγιστη απόληψη ισχύος από τον άνεμο
- Για προστασία του δρομέα, της γεννήτριας και των ηλεκτρονικών ισχύος από υπερφόρτιση σε συνθήκες υψηλού ανέμου
- Για προστασία του δρομέα από υπερταχύτητα κατά τη διάρκεια αποσύνδεσης ή άλλου φαινομένου

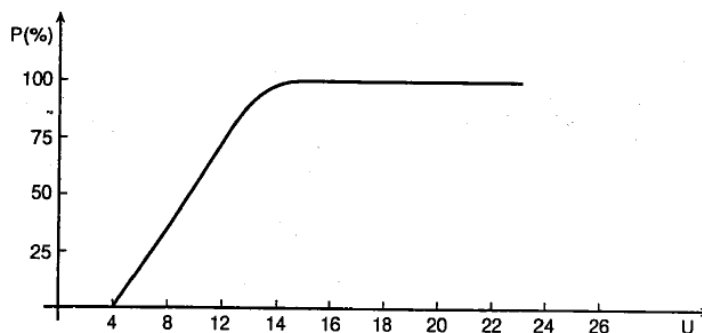
Μπορούν να διακριθούν οι εξής περιοχές για τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου :

- Την ταχύτητα σύνδεσης της ανεμογεννήτριας (cut-in speed), στην οποία αρχίζει η ανεμογεννήτρια να παράγει ισχύ
- Την περιοχή βέλτιστου αεροδυναμικού συντελεστή (constant maximum C_p region), όπου η ταχύτητα περιστροφής μεταβάλλεται (για ανεμογεννήτρια μεταβλητών στροφών πάντα) ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου έτσι ώστε η απόληψη ισχύος από τον άνεμο να βελτιστοποιείται
- Την περιοχή σταθερής ισχύος εξόδου (constant power output region)
- Την ταχύτητα αποσύνδεσης (cut-out speed)

Κατά τα πρώτα χρόνια ανάπτυξης των ανεμογεννητριών, ο έλεγχος περιοριζόταν στο μηχανικό σύστημα και κάλυπτε τις βασικές απαιτήσεις (εκκίνηση, οριακή ισχύς, διακοπή λειτουργίας για λόγους ασφαλείας) συνήθως με μηχανικές μόνο διατάξεις. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των μετατροπέων συχνότητας με ηλεκτρονικά ισχύος δίδεται σήμερα η δυνατότητα πραγματοποίησης μεγάλου μέρους του ελέγχου της ανεμογεννήτριας μέσω του ηλεκτρικού συστήματος, οπότε ο έλεγχος της ανεμογεννήτριας γίνεται τελικά πιο ευέλικτος και αξιόπιστος.

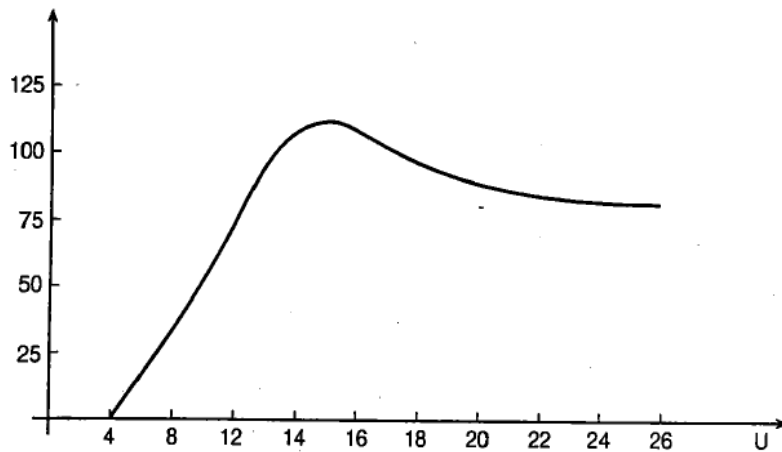
Σήμερα οι βασικές λειτουργίες ελέγχου είναι οι ακόλουθες:

1. Οι λειτουργίες που αφορούν στην εκκίνηση της ανεμογεννήτριας, όταν η ταχύτητα του ανέμου σταθεροποιηθεί πάνω από ένα όριο, και αντίστοιχα το σταμάτημά της, όταν η ταχύτητα του ανέμου μειωθεί κάτω από ένα όριο.
2. Οι λειτουργίες ελέγχου που αποσκοπούν στον προσανατολισμό της ανεμογεννήτριας ώστε το επίπεδο περιστροφής της έλικας να βρίσκεται συνεχώς κάθετα προς την διεύθυνση του ανέμου. Ο έλεγχος αυτός δεν αφορά τις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, οι οποίες δεν απαιτούν κανένα σύστημα προσανατολισμού, πράγμα που αποτελεί και ένα από τα πλεονεκτήματά τους σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.
3. Οι λειτουργίες και τα αντίστοιχα τμήματα ασφάλειας με τα οποία επιτυγχάνεται το σταμάτημα της περιστροφής (πέδηση) της ανεμογεννήτριας και η στροφή των πτερυγίων της έλικας, ώστε να παρουσιάζουν την ελάχιστη αντίσταση όταν η ταχύτητα του ανέμου φτάσει το όριο αντοχής της σε μηχανική καταπόνηση.
4. Οι λειτουργίες ελέγχου στροφών της ανεμογεννήτριας, όταν πρόκειται για ανεμογεννήτρια μεταβλητών στροφών.
5. Οι λειτουργίες ελέγχου για τη μη υπέρβαση της ονομαστικής ισχύος της ανεμογεννήτριας, όταν η ταχύτητα του ανέμου υπερβεί μία ορισμένη τιμή. Ο έλεγχος αυτός γίνεται συνήθως στον ανεμοκινητήρα. Έτσι προκύπτουν δύο κατηγορίες ανεμοκινητήρων:
 1. Οι ανεμοκινητήρες με έλεγχο του βήματος της έλικας (pitch control). Σε αυτούς επιτυγχάνεται πλήρης σταθερότητα της παραγόμενης ισχύος (ίση με την ονομαστική) για ταχύτητες ανέμου πάνω από ένα όριο.



Εικόνα 4.5: Οι ανεμοκινητήρες με έλεγχο του βήματος της έλικας (pitch control).

2. Οι ανεμοκινητήρες με έλεγχο της αεροδυναμικής ανυψώσεως ή αεροδυναμικό έλεγχο (stall control). Η σταθεροποίηση της παραγόμενης ισχύος πραγματοποιείται λόγω αεροδυναμικών φαινομένων και έτσι εμφανίζεται μείωση της παραγόμενης ισχύος για πολύ μεγάλες ταχύτητες του ανέμου. Έναντι του μειονεκτήματος αυτού, παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτούν μηχανισμό μεταβολής του βήματος της έλικας και συνεπώς είναι απλούστερες και στιβαρότερες. Όμως τα πτερύγια υφίστανται μεγαλύτερες δυναμικές καταπονήσεις.



Εικόνα 4.6: Οι ανεμοκινητήρες με έλεγχο της αεροδυναμικής ανυψώσεως ή αεροδυναμικό έλεγχο (stall control).

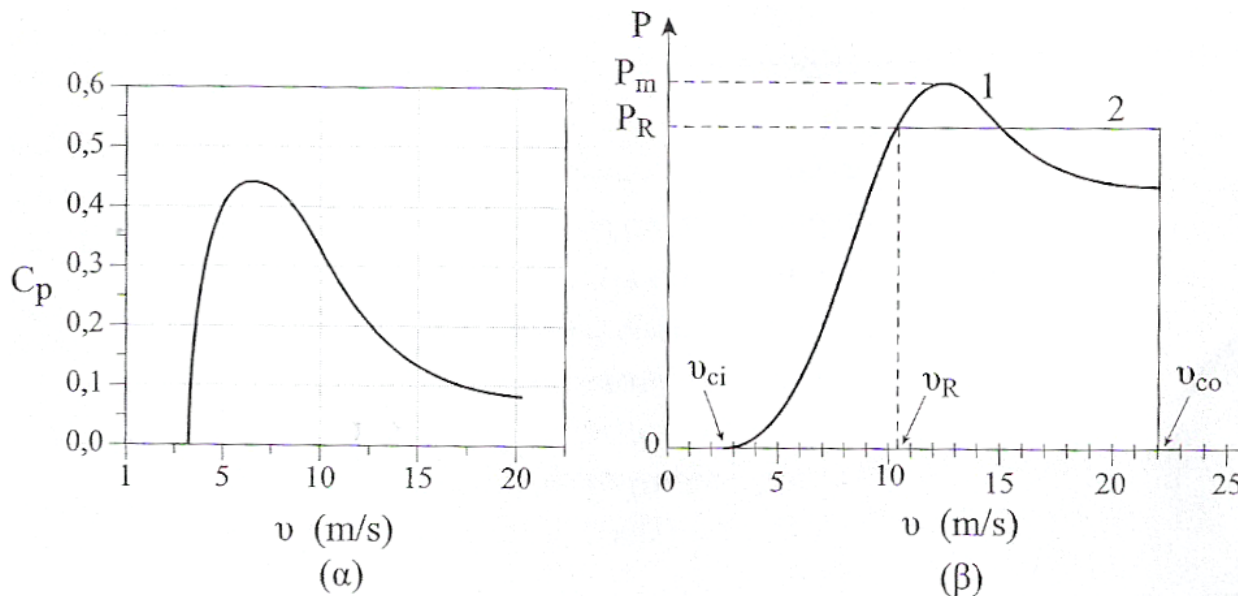
Εκτός από τις δύο αυτές μεθόδους ελέγχου μη υπερβάσεως της ονομαστικής ισχύος, οι οποίες πραγματοποιούνται δια του μηχανικού μέρους, το αντίστοιχο μπορεί να γίνει και μέσω του ηλεκτρικού μέρους όταν εγκαθίσταται μετατροπέας, αν και ο έλεγχος αφορά κυρίως την βελτίωση των χαρακτηριστικών της λειτουργίας (ανεμογεννήτρια μεταβλητών στροφών)

4.4 Μετατροπή αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική

4.4.1 Αεροδυναμική ισχύς

Για τη μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ενέργεια περιστρεφόμενης μηχανής χρησιμοποιείται ειδικά διαμορφωμένη κατασκευή, η οποία τίθεται σε περιστροφή από τον άνεμο και ονομάζεται πτερωτή. Στην πτερωτή η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται, με ορισμένο ρυθμό, σε περιστροφική ενέργεια. Η ισχύς P_M , με την οποία αποδίδεται έργο στην αιολική μηχανή, χαρακτηρίζει τη δυνατότητά της για παραγωγή περαιτέρω μηχανικού έργου. Επειδή, όμως, ένα τμήμα της μάζας του αέρα που προσπίπτει στη πτερωτή τη διαπερνά χωρίς να αποδίδει σε αυτήν κατ' ανάγκη όλη την ενέργειά του, η μέγιστη μηχανική ισχύς, $P_{M,max}$, που θα μπορούσε να αποδώσει θεωρητικά ο άνεμος στην πτερωτή της αιολικής μηχανής είναι μικρότερη της P_a και είναι ίση με:

$$P_{M,max} = C_{p,max} \cdot P_a$$
, όπου $C_{p,max}$ ο ιδανικός συντελεστής (μηχανικής) απόδοσης της πτερωτής. Η τιμή του, όπως αποδεικνύεται, ισούται με 0,593 και ονομάζεται όριο Betz. Δηλαδή, ιδανικά, μόνο το 59,3% της P_a θα μπορούσε να αξιοποιηθεί από μια πτερωτή. Στην πράξη, ο συντελεστής απόδοσης πτέρυγας ή αιολικής μηχανής, $C_p = P_M / P_a$, είναι μικρότερος του ορίου Betz και εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου (Εικόνα 4.7α) και τη διαμόρφωση των πτερυγίων της αιολικής μηχανής.



Εικόνα 4.7: Συντελεστής απόδοσης και ηλεκτρική ισχύς συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου

Στην ονομαστική ταχύτητα ανέμου u_R , αντιστοιχεί η ονομαστική ισχύς P_R της Α/Γ. Η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας της Α/Γ είναι u_{ci} , ενώ η ταχύτητα ανέμου στην οποία η Α/Γ τίθεται εκτός λειτουργίας συμβολίζεται u_{co} . Στην Εικόνα 4.7β η καμπύλη 2 αποδίδει τη θεωρητική συμπεριφορά της ανεμογεννήτριας, κατά την οποία η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς στις υψηλές ταχύτητες διατηρείται σταθερή μέχρι την ταχύτητα αποκοπής u_{co} .

Αν η πτερωτή συνδυάζεται με ηλεκτρογεννήτρια, τότε έχουμε μια ανεμογεννήτρια (Α/Γ). Συνεπώς, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς από μια Α/Γ δίνεται από τη σχέση:

$$P_{A/G} = \eta_{μηχ} \cdot \eta_{ηλ} \cdot P_M = C_p \cdot \eta_{μηχ} \cdot \eta_{ηλ} \cdot P_a \Rightarrow P_{A/G} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_p \cdot \eta_{μηχ} \cdot \eta_{ηλ} \cdot u^3$$

όπου:

C_p : ο συντελεστής απόδοσης της αιολικής μηχανής και αφορά στο ποσοστό μετατροπής της, ανά μονάδα χρόνου, κινητικής ενέργειας της ποσότητας του ανέμου, που προσπίπτει στα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, σε περιστροφική ενέργεια

$\eta_{μηχ}$: ο συντελεστής απόδοσης μηχανικών μερών της Α/Γ στην είσοδο της ηλεκτρογεννήτριας. Η μεταβιβαζόμενη ενέργεια προς την ηλεκτρογεννήτρια μειώνεται εξ αιτίας των τριβών στα σημεία έδρασης του άξονα περιστροφής των πτερυγίων και στα γρανάζια του κιβωτίου μετατροπής στροφών, με τιμή μέχρι 95%

$\eta_{ηλ}$: ο συντελεστής απόδοσης της ηλεκτρογεννήτριας, με τιμή μέχρι 80%

Στην Εικόνα 4.7β αποδίδεται η τυπική μορφή της εξάρτησης της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος από μία Α/Γ, σε διάφορες ταχύτητες ανέμου. Από το σχήμα αυτό γίνεται εμφανής η ισχυρή εξάρτηση της ισχύος από την ταχύτητα του ανέμου. Είναι λοιπόν σημαντικό να επιλέγονται θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών με κύριο κριτήριο το υψηλό αιολικό δυναμικό καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αυτό σημαίνει ότι οι θέσεις που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για εγκατάσταση ανεμογεννητριών είναι θέσεις με υψηλή μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου και μικρές διακυμάνσεις της ταχύτητάς του, για όλους τους μήνες του έτους.

Τυπικό χαρακτηριστικό κάθε ανεμογεννήτριας αποτελεί η ονομαστική ηλεκτρική ισχύς της, P_R , η οποία αφορά στην αποδιδόμενη ισχύ όταν λειτουργεί σε αιολικό πεδίο ονομαστικής ταχύτητας ανέμου u_R . Ένα σχετικά αυστηρό κριτήριο καθορισμού της είναι η επιλογή εκείνης της ταχύτητας ανέμου στην οποία ο λόγος $P_{A/G}/P_a$ παίρνει μέγιστη τιμή. Στο ίδιο σχήμα παρατηρείται επίσης ότι σε πολύ χαμηλές ταχύτητες ανέμου, μέχρι την ορισμένη χαρακτηριστική τιμή u_{ci} (ταχύτητα έναρξης λειτουργίας, cut-in wind speed), η αποδιδόμενη ισχύς είναι μηδενική, δηλαδή η Α/Γ δε λειτουργεί. Ομοίως, σε πολύ υψηλές ταχύτητες, μεγαλύτερες ενός ορίου u_{co} (ταχύτητα εξόδου, cut-out wind speed), η Α/Γ ακινητοποιείται για λόγους προστασίας της.

Σε ορισμένη ταχύτητα ανέμου u_F (Furling wind speed), λίγο πάνω από την u_R , τίθεται σε λειτουργία κατάλληλη μηχανική διάταξη μείωσης του ρυθμού περιστροφής της Α/Γ, παρά την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου. Μια συνήθης τεχνική περιορισμού των στροφών της Α/Γ, που αφορά στη χρήση μηχανισμού αυτόματης απόκλισης του ουραίου πτερυγίου της από τη διεύθυνση του άξονά της, είναι οι ανεμογεννήτριες με ουραίο πτερόγιο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, όσο αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου, τόσο το επίπεδο της πτερωτής τείνει να προσανατολιστεί παράλληλα προς την κατεύθυνση ροής του ανέμου, ώστε τελικά ο ρυθμός περιστροφής της Α/Γ να μειώνεται ισχυρά.. Υπάρχουν και άλλοι τρόποι που οδηγούν σε παρόμοιο αποτέλεσμα, π.χ. με κατακόρυφη κλίση ολόκληρης της Α/Γ προς τα πίσω ή με στροφή των πτερυγίων περί τον άξονά τους.

Μετά την ταχύτητα u_F και πολύ κοντά σε αυτήν, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς παίρνει τη μέγιστη τιμή της P_{max} ή P_p (Peak Power). Συχνά, όσο αφορά στη χαρακτηριστική καμπύλη της Α/Γ, το πέραν της u_R τμήμα της σχεδιάζεται ως ευθύγραμμο, παράλληλο στον άξονα των ταχυτήτων, σε ισχύ P_R , μέχρι την ταχύτητα αποκοπής u_{co} . (Εικόνα 4.7β, καμπύλη 2).

4.4.2 Λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου, λ

Το πλήθος των πτερυγίων και η συχνότητα περιστροφής τους αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την αποδιδόμενη μηχανική ισχύ από την πτερωτή. Πυκνή διάταξη των πτερυγίων σε συνδυασμό με μεγάλη συχνότητα περιστροφής ή αραιά διατεταγμένα πτερόγια σε συνδυασμό με χαμηλή συχνότητα περιστροφής, οδηγούν σε μείωση του συντελεστή μηχανικής απόδοσης της αιολικής μηχανής.

Για τη μελέτη της απόδοσης της C_p ορίζεται μια παράμετρος λ , ως το πηλίκο της γραμμικής ταχύτητας περιστροφής του άκρου του πτερυγίου $u_{ακρ} = \omega \cdot R$, προς την ταχύτητα του ανέμου u , στο

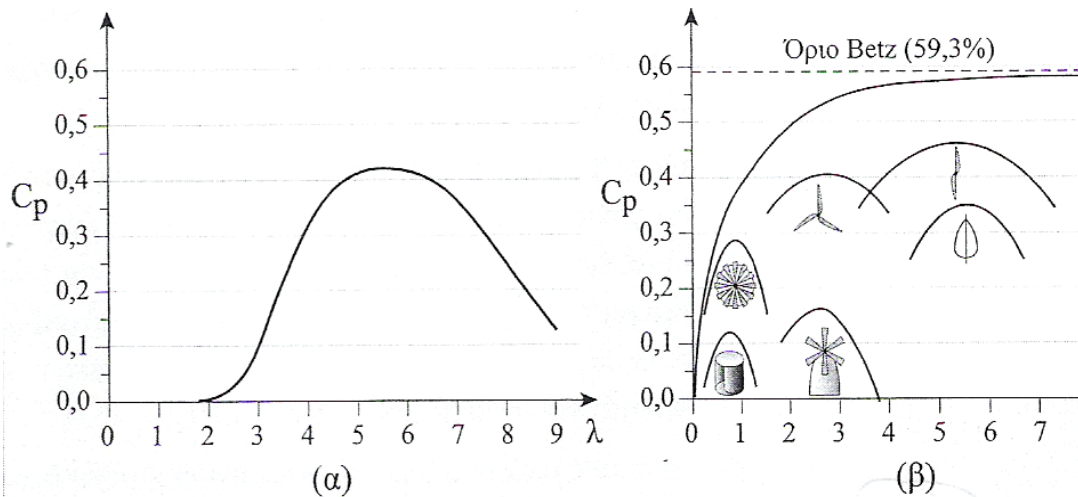
$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{u}$$

σημείο εκείνο, αν δεν υπήρχε η διατάραξη ροής που προκαλείται από την πτερωτή. Δηλαδή:

Η απόδοση της αιολικής μηχανής, C_p , δηλαδή, εξαρτάται από την παράμετρο λ και την γωνία προσβολής του πτερυγίου από τον άνεμο. Μάλιστα, ο συντελεστής C_p , ως συνάρτηση του λ , εμφανίζει μέγιστο εξαρτώμενο από το πλήθος των πτερυγίων της Α/Γ. Με απλούς συλλογισμούς αποδεικνύεται ότι:

$$\lambda \approx \frac{4 \cdot \pi}{n}$$

Η μέγιστη τιμή λ_0 , εξαρτάται, κατά κύριο λόγο, από το πλήθος n των πτερυγίων της πτερωτής. Ο λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίων λ αποτελεί σημαντικότερη παράμετρο για τη μελέτη και το σχεδιασμό της πτερωτής μιας ανεμογεννήτριας. Εξαρτάται από την ακτίνα του κύκλου των πτερυγίων, την ταχύτητα του ανέμου και τη συχνότητα περιστροφής του κινητήρα της ανεμογεννήτριας. Στην Εικόνα 4.8α δίνει την τυπική μορφή της εξάρτησης του C_p από τις τιμές του λ . Στην Εικόνα 4.8β, δίνονται οι γραφικές παραστάσεις της εξάρτησης της μηχανικής απόδοσης της αιολικής μηχανής, ανάλογα με τον τύπο, το πλήθος και τη διαμόρφωση των πτερυγίων της.



Εικόνα 4.8: Τυπική μορφή της εξάρτησης του C_p από τις τιμές του λ και ανάλογα με τον τύπο, το πλήθος και τη διαμόρφωση των πτερυγίων της

4.4.3 Καθορισμός της ονομαστικής ισχύος της ανεμογεννήτριας

Για να υπολογιστεί η ονομαστική ισχύς της καταλληλότερης Α/Γ, για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, απαιτούνται:

- Οι ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής, στη συγκεκριμένη χρονική περίοδο χρήσης. Λαμβάνεται υπόψη ένας συντελεστής περιθωρίου ενεργειακών καταναλώσεων, που καλύπτει και τη διαθεσιμότητα του συστήματος.
- Ανεμολογικά στοιχεία για τη συγκεκριμένη θέση εγκατάστασης, με βάση το τυπικό μετεωρολογικό έτος του τόπου.
- Χαρακτηριστικές καμπύλες ισχύος Α/Γ, που παρέχονται από τους κατασκευαστές. Απαιτούνται στοιχεία για τους τύπους και τα μεγέθη ανεμογεννητριών, που μπορούν να λειτουργήσουν αποδοτικότερα στην πιθανότερη περιοχή ταχυτήτων της θέσης εγκατάστασης.

Γενικά, ο προσδιορισμός της ονομαστικής ισχύος της καταλληλότερης ανεμογεννήτριας, για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, βασίζεται στην απαίτηση η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια να καλύπτει μερικώς ή ολικώς την ενέργεια ζήτησης στο ίδιο χρονικό διάστημα.

Στα συνδεδεμένα στο δίκτυο αιολικά συστήματα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο, που παίζει το ρόλο μιας τεράστιας ενεργειακής δεξαμενής, της οποίας η στάθμη παραμένει σε αντιστοιχία με την ισχύ ζήτησης, με ρύθμιση της ισχύος των εργοστασιακών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στα αυτόνομα αιολικά συστήματα, η μερική κάλυψη του φορτίου ζήτησης σχετίζεται οπωσδήποτε με την παρουσία Η/Ζ (ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους). Ο συνδυασμός Α/Γ με Φ/Β και Η/Ζ (Υβριδικά Συστήματα), οδηγεί σε οικονομικότερο σύστημα, με πιο αξιόπιστη ενεργειακή συμπεριφορά.

4.4.4 Συντελεστής ισχύος ανεμογεννήτριας

Η μέση ημερήσια (μηνιαία ή ετήσια) ηλεκτρική ισχύς που παρέχεται από μια ανεμογεννήτρια προκύπτει, με βάση τον ορισμό της, από τη σχέση:

$$\overline{P}_{A/\Gamma} = \frac{E_{A/\Gamma}}{T} = \frac{1}{T} \int_0^T P_{A/\Gamma} dt$$

, όπου $E_{A/\Gamma}$ η παραγόμενη στην αντίστοιχη χρονική περίοδο T ηλεκτρική ενέργεια και $P_{A/\Gamma}$ η στιγμιαία ηλεκτρική ισχύς από την A/Γ σε ταχύτητα ανέμου u . Διαιρώντας τη στιγμιαία ισχύ $P_{A/\Gamma}$ δια της ονομαστικής P_R προκύπτει η ποσότητα $n_{A/\Gamma}(u) = P_{A/\Gamma} / P_R$ που αποτελεί την ανηγμένη ισχύ της A/Γ . Οι τιμές της μπορεί να προσδιοριστούν άμεσα, είτε από πειραματικές τιμές της αποδιδόμενης από την A/Γ ηλεκτρικής ισχύος, για ορισμένη χρονική περίοδο, είτε από τη χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος της A/Γ (Εικόνα 4.7β).

Επιπλέον, η μέση ημερήσια ηλεκτρική ισχύς από μια A/Γ μπορεί να προσδιοριστεί έμμεσα, με βάση το στατιστικό προσδιορισμό της μέσης τιμής ενός χρονικά μεταβαλλόμενου μεγέθους. Από την παραπάνω σχέση, προκύπτει:

$$\overline{P}_{A/\Gamma} = \frac{E_{A/\Gamma}}{T} = \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{P_{A/\Gamma}(u)}{P_R} dt \right) \cdot P_R = \left(\int_0^\infty \frac{P_{A/\Gamma}(u)}{P_R} f(u) dt \right) \cdot P_R = n_{A/\Gamma} \cdot P_R$$

όπου $f(u)$ η πυκνότητα πιθανότητας εμφάνισης ανέμου ταχύτητας u στον τόπο εγκατάστασης της A/Γ και $n_{A/\Gamma}$ ο συντελεστής ισχύος της A/Γ . Ορίζεται ως ο λόγος της μέσης ηλεκτρικής ισχύος $P_{A/\Gamma}$ της A/Γ , στο χρονικό διάστημα T , προς την ονομαστική της ισχύ.

Από πλευράς φυσικής σημασίας, ο συντελεστής ισχύος παρέχει την αποδιδόμενη από την A/Γ μέση ηλεκτρική ισχύ ανά μονάδα ονομαστικής ισχύος της. Κατά μία άλλη έκφραση, παρέχει την αποδιδόμενη από την A/Γ μέση ηλεκτρική ισχύ ως κλάσμα ή ποσοστό της ονομαστικής ισχύος της. Ουσιαστικά, προσδιορίζει την ισχύ με την οποία θα απέδιδε ηλεκτρική ενέργεια η A/Γ , λειτουργώντας συνεχώς μέσα στη χρονική περίοδο αναφοράς.

4.5 Σύνδεση ανεμογεννήτριας στο ηλεκτρικό δίκτυο

Οι διαταραχές που προκαλούν οι Α/Γ είναι ανάλογες εκείνων που προκαλούνται από τα συνήθη φορτία και αναφέρονται στο σημείο σύνδεσής τους στο δίκτυο διανομής (ΧΤ ή ΜΤ).

Ανεξάρτητα, ωστόσο, από το σημείο σύνδεσής τους, οι διαταραχές αυτές διακρίνονται ως εξής:

- Στις διαταραχές που συμβαίνουν κατά την κανονική λειτουργία και έχουν επίπτωση στην σταθερότητα της τάσης του δικτύου. Οι διαταραχές αυτές μπορούν να διακριθούν ως εξής:
 - Αργές μεταβολές της τάσης, οι οποίες προκαλούνται λόγω της αλλαγής στην ροή των φορτίων κατά την λειτουργία των Α/Γ.
 - Ταχείες μεταβολές της τάσης, οι οποίες διατηρούνται για μικρό σχετικά χρονικό διάστημα.
 - Διακυμάνσεις της τάσης, λόγω των συνεχών ταχέων μεταβολών της παραγόμενης ισχύος, οι οποίες οφείλονται στις αντίστοιχες μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου ή και σε συνεχείς ταλαντώσεις.
- Στις επιπτώσεις που έχει η ύπαρξη των Α/Γ κατά τη διάρκεια μη ομαλής λειτουργίας του δικτύου, οπότε η ύπαρξη τους είναι ενδεχόμενο να προκαλέσει:
 - Ανωμαλίες στην ορθή λειτουργία των προστασιών του δικτύου.
 - Απαράδεκτες καταπονήσεις των στοιχείων του δικτύου.
 - Επικίνδυνες καταστάσεις λόγω «απομονωμένης λειτουργίας» τμήματος του δικτύου, το οποίο απομονώνεται από την κύρια τροφοδότηση του, αλλά παραμένει τροφοδοτούμενο από τις Α/Γ με τάση και συχνότητα που μπορεί να απέχουν σημαντικά από τις ονομαστικές τους τιμές.

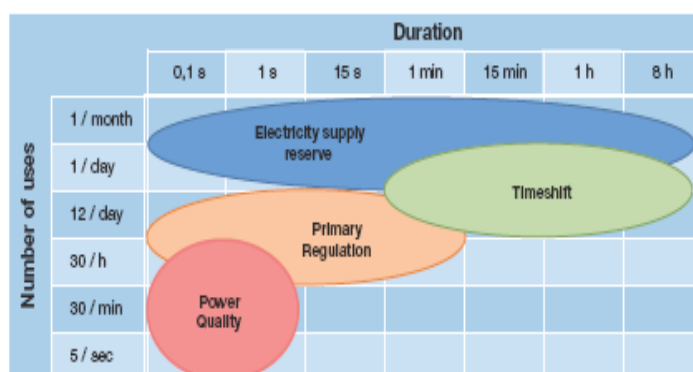
5 Μονάδες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

5.1 Εισαγωγή

Οι μονάδες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (Electric Storage -ES) αποτελούν ένα σύνολο τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την απευθείας αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας ή την αποθήκευση μέσω μετατροπής σε μια άλλης μορφής ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται όταν η παραγωγή υπερκαλύπτει τη κατανάλωση και η αποθηκευμένη ενέργεια ανακτάται όταν η κατανάλωση υπερβαίνει την παραγωγή. Μέχρις στιγμής, το υπάρχον σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας εμπεριέχει μικρή δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται να καταναλώνεται σχεδόν την ίδια στιγμή.

Γενικά, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγάλη μέσα στην ημέρα και νωρίς το απόγευμα και χαμηλή αργά το απόγευμα και το βράδυ όταν ο κόσμος κοιμάται, επίσης ανάλογα με την εποχή του χρόνου η ζήτηση διαφοροποιείται σημαντικά, έτσι το καλοκαίρι η ζήτηση ανεβαίνει πολύ, εξαιτίας του τουρισμού και την έντονης χρήσης των κλιματιστικών, σε αντίθεση με την άνοιξη. Παρόλα αυτά, το συμβατικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας χτίζεται προκειμένου να μπορεί να λειτουργήσει αξιόπιστα υπό τις συνθήκες της μέγιστης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, έστω και αν αυτή η μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί είναι πολύ μικρής διάρκειας καθ όλη την διάρκεια του χρόνου, δημιουργώντας το πρόβλημα της ανεπαρκούς αξιοποίησης του δυναμικού των εγκαταστάσεων.

Επομένως, οι μονάδες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να αυξήσουν την αξιοπιστία του ηλεκτρικού συστήματος και να αποτελέσουν έναν τρόπο αποδοτικότερης χρήσης των μονάδων παραγωγής, αποθηκεύοντας την φτηνότερη ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια της περιόδου χαμηλής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να την επιστρέφουν όταν η ζήτηση είναι μεγάλη και η τιμή της ενέργειας αυξημένη. Ακόμη μπορούν να καλύπτουν μικρές περιόδους απότομης αύξησης της ζήτησης, που σε άλλη περίπτωση θα έπρεπε να μπει σε λειτουργία κάποιος εφεδρικός σταθμός παραγωγής ενέργειας, και τέλος μπορούν να βελτιώνουν την ποιότητα ισχύος του δικτύου εξομαλύνοντας τις διάφορες διαταραχές που συμβαίνουν στο δίκτυο. Στην Εικόνα 5.1 βλέπουμε τις διαφορετικές χρήσεις των μονάδων αποθήκευσης στο δίκτυο, ανάλογα με την συχνότητα και την διάρκεια χρήσης.

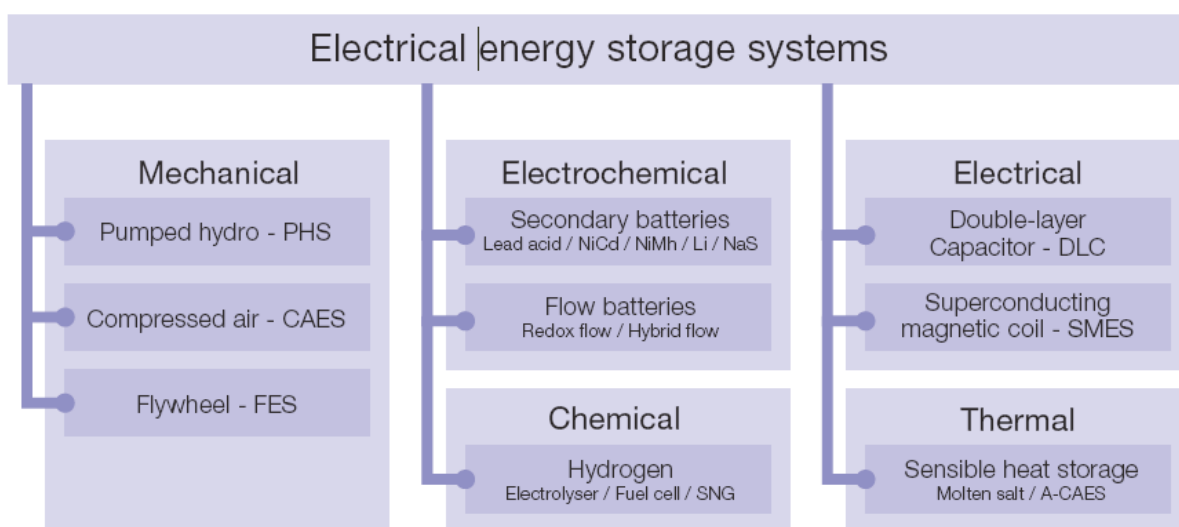


Εικόνα 5.1: Διαφορετικές χρήσεις των μονάδων αποθήκευσης στο δίκτυο, ανάλογα με την συχνότητα και την διάρκεια χρήσης. [9]

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή ενέργεια και η αιολική ενέργεια μπορούν να ωφεληθούν από την χρήση μονάδων αποθήκευσης ενέργειας, δημιουργώντας υβριδικούς σταθμούς. Αυτό οφείλεται στο ότι η ηλιακή και αιολική ενέργεια είναι μη εγγυημένη πηγή ενέργειας, επειδή παράγουν όποτε το επιτρέπουν οι καιρικές συνθήκες και όχι όποτε το απαιτεί η ζήτηση. Επομένως είναι πολύ πιθανό να παράγεται ηλεκτρική ενέργεια όταν δεν υπάρχει ζήτηση και όταν υπάρχει ζήτηση να μην παράγεται η απαιτούμενη ενέργεια, αυτό το πρόβλημα εξομαλύνεται με την αποθήκευση ενέργειας. Η χρήση ΑΠΕ με κάποια μονάδα αποθήκευσης αποτελεί έναν υβριδικό σταθμό παραγωγής. Ένας υβριδικός σταθμός αποσκοπεί να μεγιστοποιήσει τη συμμετοχή μονάδων μη εγγυημένης παραγωγής, πρακτικά δηλαδή των μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), στην κάλυψη μιας συγκεκριμένης ζήτησης ισχύος.

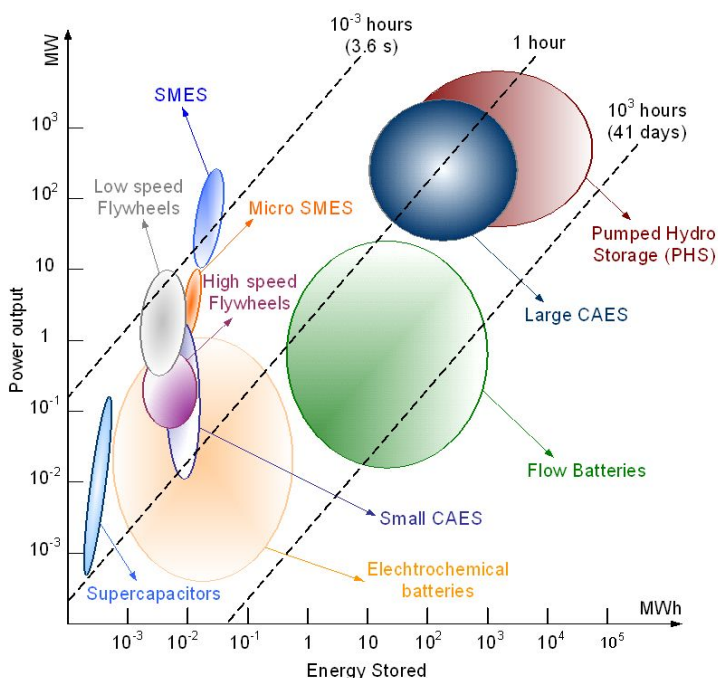
5.2 Τεχνολογίες μονάδων αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Οι μονάδες αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως μεγάλης, μεσαίας και μικρής κλίμακας. Κεντρικές ογκώδεις μονάδες αποθήκευσης συνδέονται απευθείας με μία μονάδα παραγωγής ή στο σύστημα διαμονής προκειμένου να αποθηκεύσουν τεράστιες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας. Κοινές μορφές κεντρικής μαζικής αποθήκευσης είναι υδροηλεκτρικά με αντλιοστάσια και δεξαμενές συμπιεσμένου αέρα. Σε αντίθεση οι μεσαίας και μικρής κλίμακας μονάδες αποθήκευσης ενέργειας μπορούν να σχεδιαστούν σαν διανεμημένες πηγές ενέργειας. Δηλαδή μπορούν να τοποθετηθούν δίπλα σε Διεσπαρμένες πηγές που είναι συνδεδεμένες στο σύστημα διανομής ή να ενσωματωθούν με τα συστήματα αυτοματισμού μέσα σε σπίτια και κτίρια[1]. Επιπλέον κατηγοριοποίηση των μονάδων αποθήκευσης έχει σχέση με την μορφή ενέργειας στην οποία μετατρέπεται η ηλεκτρική ενέργεια κατά την αποθήκευση. Έτσι έχουμε μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε δυναμική (υδροηλεκτρικό), σε ηλεκτροχημική (μπαταρίες) κ.α., οι κατηγορίες αναλύονται στην Εικόνα 5.2.



Εικόνα 5.2: Κατάταξη μονάδων αποθήκευσης ενέργειας, με βάση την μορφή ενέργειας.[9]

Οι τεχνολογίες των μονάδων αποθήκευσης έχουν μεγάλες διαφορές ως προς την μέγιστη ισχύ που μπορούν να παρέχουν και την ενέργεια που μπορούν να αποθηκεύσουν, όπως βλέπουμε και στην Εικόνα 5.3.



Εικόνα 5.3: Σύγκριση μονάδων αποθήκευσης.

5.2.1 Αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά (Pumped Storage Systems – PSS)

Τα αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά ή αντλησιοταμίευση (Pumped Storage Systems – PSS) για αποθήκευση ενέργειας, είναι η περισσότερο τεχνολογικά ώριμη και οικονομικά ανταγωνιστική τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας για ΣΗΕ μεγάλου μεγέθους, δεκάδες αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά, τα οποία έχουν ήδη κατασκευαστεί και λειτουργούν παγκοσμίως κάτω από εντελώς διαφορετικές συνθήκες, καλύπτουν ένα εύρος ισχύος από 5MW έως 2GW και παρέχουν τεράστια πρακτική εμπειρία σχετικά με τις τεχνικές προδιαγραφές και τις λεπτομέρειες που αφορούν την κατασκευή και τη λειτουργία τους[2].



Εικόνα 5.4: Βασική δομή και λειτουργία ενός αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού[2]

Ένα αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό αποτελείται από δύο δεξαμενές νερού, κατασκευασμένες με αρκετή υψομετρική διαφορά μεταξύ τους, συνήθως μερικών εκατοντάδων μέτρων. Οι χωρητικότητες των δεξαμενών νερού μπορεί να κυμαίνονται από μερικές εκατοντάδες χιλιάδες κυβικά μέτρα, έως μερικά εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Το νερό μπορεί να μεταφέρεται ανάμεσα στις δύο δεξαμενές είτε μέσω μονής σωλήνωσης, η οποία χρησιμοποιείται τόσο για άντληση όσο και για πτώση νερού, είτε μέσω δύο ανεξάρτητων σωληνώσεων, μία για άντληση και μία για πτώση. Συνεπώς, ο συνδυασμός των δύο δεξαμενών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση ενέργειας σε υψηλές ποσότητες και για μεγάλες χρονικές περιόδους. Η αντλησιοταμίευση είναι η μέθοδος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με τη μεγαλύτερη χωρητικότητα που υπάρχει σήμερα.

Η αντλησιοταμίευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξομάλυνση της ζήτησης όταν χρησιμοποιούνται υδροηλεκτρικές μονάδες ως μονάδες βάσης, αφού η συχνή ένταξη-απένταξη των μεγάλων σταθμών παραγωγής είναι ένας μη αποτελεσματικός τρόπος λειτουργίας τους. Βασικά πλεονεκτήματα της αντλησιοταμίευσης είναι η χαμηλή τιμή της ισχύος, η ρύθμιση συχνότητας στο δίκτυο, και η ικανότητα εφεδρείας. Τα πλεονεκτήματα αυτά εμφανίζονται όταν το νερό απελευθερώνεται μέσω μίας τουρμπίνας, όταν η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μέγιστη.

Η συνδυασμένη λειτουργία αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών και μονάδων ΑΠΕ, πρακτικά αιολικών πάρκων, παρόλο που αποτελεί εδώ και δύο δεκαετίες περίπου ένα ιδιαίτερα δημοφιλές θέμα στις επιστημονικές δημοσιεύσεις, έχει εφαρμοστεί στην πράξη σε δύο περιπτώσεις. Η πρώτη από αυτές απαντάται στο νησί El Hierro του συμπλέγματος των Καναρίων Νήσων, ενώ η δεύτερη από αυτές απαντάται στο νησί της Ικαρίας, στην Ελλάδα. Και στις δύο περιπτώσεις, ο υβριδικός σταθμός αιολικού πάρκου – αναστρέψιμου υδροηλεκτρικού αποσκοπεί στη μεγιστοποίηση της διείσδυσης της πρωτογενούς ΑΠΕ (αιολική ενέργεια) στην ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας[2].

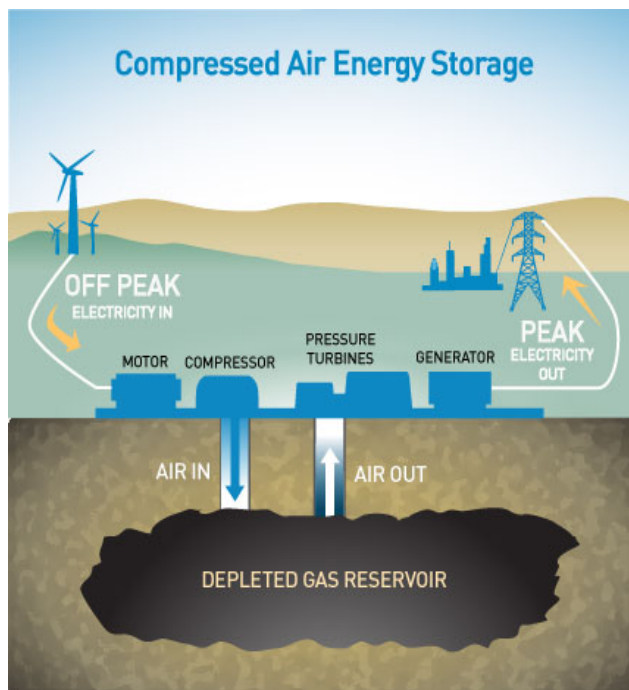


Εικόνα 5.5: Αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό Ικαρίας.[econews.gr]

5.2.2 Συστήματα αποθήκευσης συμπιεσμένου αέρα (Compressed Air Energy Storage)

Όπως το όνομα υποδεικνύει, η αποθήκευση συμπιεσμένου αέρα χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για να συμπιέσει αέρα, που αποθηκεύεται σε μια υπόγεια δεξαμενή, δηλαδή η ενέργεια αποθηκεύεται με τη μορφή ελαστικής ενέργειας. Όταν η ηλεκτρική ενέργεια ζητείται, ο συμπιεσμένος αέρας εκτονώνεται και θερμαίνεται με κάποιο αέριο καύσιμο ή πετρέλαιο και τροφοδοτείται σε μια τουρμπίνα η οποία οδηγεί την γεννήτρια.

Για την αποθήκευση του συμπιεσμένου αέρα σε συμβατικά CAES μεγάλου μεγέθους μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπόγειες κοιλότητες με υψηλή ποιότητα πετρωμάτων αναφορικά με την αντοχή και την αεροστεγανότητά τους, ο υδροφόρος ορίζοντας, εκκενωμένα υπόγεια πρώην σπήλαια φυσικού αερίου, ορυχεία αλατιού κ.α.



Εικόνα 5.6: Βασική δομή CAES.

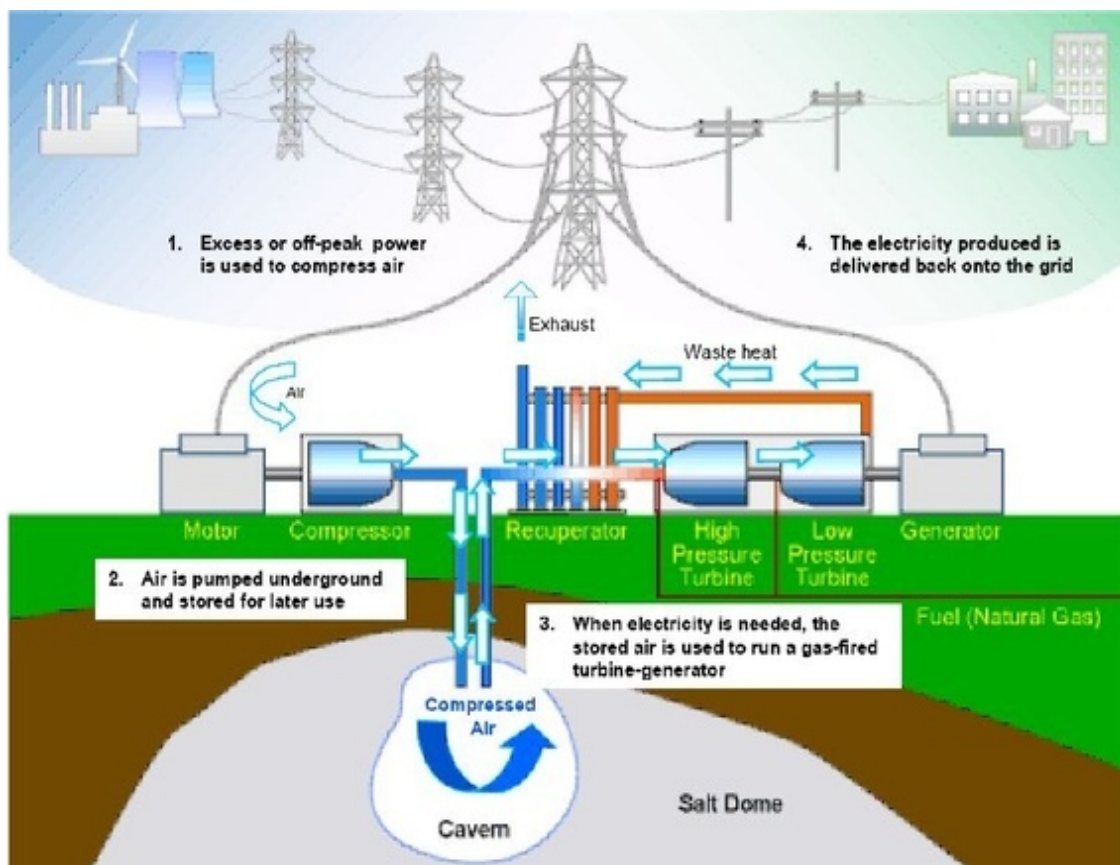
Τα CAES διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα συμβατικά και τα αδιαβατικά (AA-CAES). Μέχρι σήμερα έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν δύο συμβατικά CAES μεγάλου μεγέθους, ένα στο Neuen Huntorf της Γερμανίας και ένα στο McIntosh των Η.Π.Α.. Εντός του 2015 ενδεχομένως να προκύψουν οι πρώτες υλοποιήσεις αδιαβατικών CAES [2]. Η διαφοροποίηση μεταξύ των δύο κατηγοριών έγκειται στο ότι στα συμβατικά η θερμότητα από την συμπίεση απορρίπτεται στο περιβάλλον και συμπληρώνεται κατά την εκτόνωση με την καύση κάποιου καυσίμου, ενώ στα αδιαβατικά η θερμότητα κατά την συμπίεση συλλαμβάνεται, αποθηκεύεται και ύστερα ανατροφοδοτείται κατά την εκτόνωση.



Εικόνα 5.7: Δομή και λειτουργία ενός αδιαβατικού CAES [2].

Ο αλγόριθμος λειτουργίας ενός συμβατικού CAES έχει ως εξής:

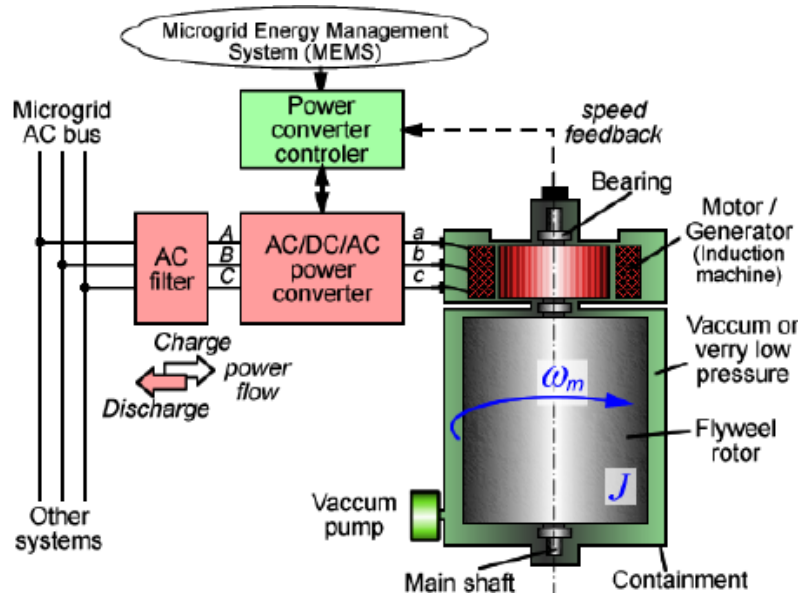
- Στην περίπτωση περίσσειας ενέργειας από τη μονάδα ΑΠΕ του υβριδικού σταθμού, τούτη διατίθεται σε ένα διβάθμιο συμπιεστή με ενδιάμεση ψύξη του συμπιεσμένου αέρα ανάμεσα στις δύο βαθμίδες. Το εργαζόμενο μέσο είναι αέρας περιβάλλοντος, ο οποίος, συμπιέζεται τελικά σε πίεση της τάξης των 40 – 70bar. Ο συμπιεσμένος αέρας, μετά την έξοδό του από το συμπιεστή, ψύχεται ξανά, με σκοπό τη διατήρηση της θερμοκρασίας του κοντά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η διατήρηση της θερμοκρασίας του αέρα σε χαμηλές τιμές αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση της πυκνότητάς του, συνεπώς και του όγκου του, και στην τελική αποθήκευση κατά το δυνατόν μεγαλύτερης μάζας αέρα στο διαθέσιμο όγκο του χώρου αποθήκευσης. Κατά το τελικό στάδιο αποθήκευσης, ο κρύος και συμπιεσμένος αέρας αποθηκεύεται σε μία υπόγεια δεξαμενή.
- Στην περίπτωση που απαιτείται η μονάδα αποθήκευσης να συμπληρώσει την παραγωγή ισχύος για την κάλυψη της ζήτησης, συμπιεσμένος αέρας συγκεκριμένης παροχής, η οποία, προφανώς, εξαρτάται από την απαιτούμενη παραγωγή ισχύος, ελευθερώνεται από τη δεξαμενή αποθήκευσης, θερμαίνεται σε ένα καυστήρα με σκοπό την αύξηση της ειδικής ενθαλπίας του και οδηγείται προς εκτόνωση σε ένα διβάθμιο στρόβιλο, με ενδιάμεση αναθέρμανση του εργαζόμενου μέσου ανάμεσα στις δύο βαθμίδες του.[2]



Εικόνα 5.8: Συμβατικό CAES[10]

5.2.3 Σφόνδυλοι (Flywheel)

Ο Σφόνδυλος (flywheel) αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια με την μορφή κινητικής ενέργειας, σε έναν στρεφόμενο τροχό, η μετατροπή γίνεται εύκολα με την σύζευξη μιας ηλεκτρικής μηχανής. Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης, ο περιστρεφόμενος δίσκος επιταχύνεται από τον κινητήρα σε υψηλότερη ταχύτητα, δηλαδή δρα ως φορτίο. Η ηλεκτρική ενέργεια επιστρέφεται όταν ο σφόνδυλος επιφορτιστεί με ηλεκτρικό φορτίο, επομένως η ηλεκτρική μηχανή δρώντας ως γεννήτρια τώρα ασκεί αντίρροπη δύναμη στον τροχό, μειώνοντας σταδιακά την ταχύτητα του, άρα και την κινητική του ενέργεια. Τα συστήματα έχουν, συνήθως, απόδοση της τάξης του 80%



Εικόνα 5.9: Απεικόνιση συστήματος σφονδύλου.

Ο σφόνδυλος χρησιμοποιεί την περιστροφική ενέργεια για να τροφοδοτήσει μία ηλεκτρική γεννήτρια μέχρις ότου η τριβή τη μηδενίσει. Η αποθηκευμένη ενέργεια ισούται με το άθροισμα της κινητικής ενέργειας των επιμέρους μαζών που συνθέτουν το σφόνδυλο. Η κινητική ενέργεια ενός σφονδύλου σε $N \cdot m$ (J) δίνεται από την εξίσωση:

όπου I είναι η ροπή αδράνειας ($Kg \cdot m^2$) και ω η γωνιακή ταχύτητα (rad/s). Η ροπή αδράνειας

$$E_f = \frac{1}{2} I \omega^2$$

ορίζεται ως

όπου M είναι η μάζα, R η ακτίνα και k η σταθερά αδράνειας που εξαρτάται από το σχήμα του

$$I = kMR^2$$

αντικειμένου.

Ο δρομέας περιέχει ένα κινητήρα/γεννήτρια που μετατρέπει ενέργεια από ηλεκτρική σε μηχανική και αντίστροφα. Στο σύστημα ο δρομέας λειτουργεί εν κενώ και περιστρέφεται σε έναν ειδικό τριβέα (bearing) ώστε να μειωθεί η τριβή και να αυξηθεί η απόδοση. Τα συστήματα ατσάλινου δρομέα βασίζονται κυρίως στη μάζα του δρομέα για να αποθηκεύσουν ενέργεια ενώ η σύνθετοι σφόνδυλοι βασίζονται κυρίως στην ταχύτητα. Κατά τη φόρτιση, ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσω του κινητήρα αυξάνοντας την ταχύτητα του σφονδύλου, αλλά η γεννήτρια παράγει ροή ρεύματος έξω από το σύστημα επιβραδύνοντας το σφόνδυλο κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης. Για τη βελτιστοποίηση του λόγου ενέργεια προς μάζα ο σφόνδυλος πρέπει να περιστρέφεται στη μέγιστη δυνατή ταχύτητα. Για αποτελεσματική αποθήκευση ενέργειας απαιτούνται μεγάλοι χρόνοι ακινητοποίησης. Χρησιμοποιώντας bearings χωρίς τριβή και ένα κενό για την ελαχιστοποίηση της αντίστασης του αέρα μπορεί να οδηγήσουν σε χρόνους ακινητοποίησης περίπου 6 μηνών. Τα μεγέθη των σφονδύλων, συνήθως, κυμαίνονται από 40 kW έως 1,6 MW για 5-120 s.

Οι σφόνδυλοι χρησιμοποιούνται ως συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος ώστε να παρέχουν προστασία για κρίσιμες λειτουργίες. Μία αναπτυσσόμενη χρήση της τεχνολογίας του σφονδύλου περιλαμβάνει έλεγχο συχνότητας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Όταν ενσωματωθούν σε ασθενώς διασυνδεδεμένα και αυτόνομα συστήματα που τροφοδοτούνται από Α/Γ και/ή άλλες ΑΠΕ οι σφόνδυλοι μπορούν να παρέχουν μία αποτελεσματική μικρής διάρκειας αποθήκευση για το φιλτράρισμα των διακυμάνσεων της αιολικής ισχύος λόγω της τύρβης του ανέμου και της μη προβλεπόμενης διακύμανσης του φορτίου. Επομένως, οι σφόνδυλοι θεωρούνται βραχυπρόθεσμη τεχνολογία αποθήκευσης. Και χρησιμοποιούνται για να διευθετήσουν διακυμάνσεις ισχύος και συχνότητας στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Η περιστρεφόμενη μάζα, η οποία μπορεί να περιστρέφεται με 100.000 στροφές ανά λεπτό, κατασκευάζεται από σύνθετα υλικά και όχι από ατσάλι προκειμένου η περιστρεφόμενη μάζα να αντέξει τις τεράστιες ροπές που ασκούνται σε αυτήν. Επίσης προκειμένου ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες τριβών από τον αέρα, ο σφόνδυλος τοποθετείται σε σφραγισμένο περίβλημα και μέσα σε αυτό δημιουργείται κενό αέρος.[3]

Ο περιοριστικός παράγοντας για την αποθήκευση της ενέργειας για μεγάλο χρονικό διάστημα ήταν οι απώλειες στα έδρανα στήριξης του σφονδύλου. Πρόσφατα όμως η ανάπτυξη της υπεραγωγίμης έδρασης, υπόσχεται να ελαττώσει την τριβή κατά δύο τάξεις μεγέθους, για αποθήκευση ενέργειας στην περιοχή των 10KWh. Αναλυτικότερα, στην απλούστερη μορφή της η υπεραγωγίμη έδραση αποτελείται από έναν μόνιμο μαγνήτη, αιωρούμενο σε μια σταθερή θέση πάνω από έναν υπεραγωγό.



Εικόνα 5.10: Μια κατασκευή σφονδύλου.

Πλεονεκτήματα

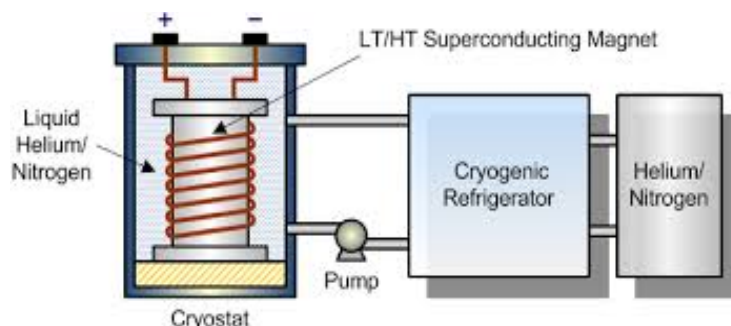
- Οι σφόνδυλοι μπορούν να αποθηκεύουν και να ελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες ισχύος πολύ γρήγορα και αποτελεσματικά σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μπαταρίες.
- Η διάρκεια ζωής και συντήρησης ενός σφονδύλου είναι γύρω στα 20-30 χρόνια και μερικοί μπορούν να λειτουργούν χωρίς συντήρηση στο χρόνο αυτό.
- Οι σφόνδυλοι δεν υποφέρουν από φαινόμενο μνήμης το οποίο εμφανίζεται σε μερικούς τύπους μπαταριών.
- Μπορούν να λειτουργούν κάτω από υψηλές θερμοκρασίες και κάτω από μεγαλύτερο εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών.
- Οι σφόνδυλοι δεν επηρεάζονται από μεταβολές στη θερμοκρασία όπως οι χημικές επαναφορτιζόμενες μπαταρίες.
- Είναι επίσης λιγότερο επιβλαβείς προς το περιβάλλον.
- Με μία απλή μέτρηση της ταχύτητας της περιστροφής μπορούμε να γνωρίζουμε την ακριβή ποσότητα ενέργειας που είναι αποθηκευμένη στο σφόνδυλο.

Προκλήσεις

- Η χρήση συσσωρευτών σφονδύλων προς το παρόν παρεμποδίζεται από τον κίνδυνο της εκρηκτικής θραύσης της μάζας λόγω υπερφόρτισης.
- Ένας από τους κύριους περιορισμούς της σχεδίασης των σφονδύλων είναι η δύναμη εφελκυσμού των υλικών που χρησιμοποιούνται για το δρομέα.

5.2.4 Υπεραγώγιμη μαγνητική αποθήκευση-YMA (Superconducting Magnetic Energy Storage-SMES)

Τα συστήματα SMES αποθηκεύουν ενέργεια στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται φορτίζοντας ένα πηνίο, από υπεραγώγιμο καλώδιο. Το πηνίο θα μπορούσε να έχει διάμετρο 1Km, εγκατεστημένο σε μία τάφρο και να διατηρεί την υπεραγώγιμη θερμοκρασία από ένα σύστημα ψύξης, τα συστήματα αυτά ψύχονται συνήθως από υγρό ήλιο ή άζωτο. Κατά την διάρκεια χαμηλής ζήτησης, το ρεύμα το δικτύου μετατρέπεται σε συνεχές ρεύμα και τροφοδοτείται στο πηνίο, ώστε να επανακτηθεί ανά πάσα στιγμή. Ο χρόνος φόρτισης- αποφόρτισης θα μπορούσε να είναι πολύ μικρός (20ms) με απόδοση συνολικής μετατροπής AC-AC γύρο στο 90%[3].

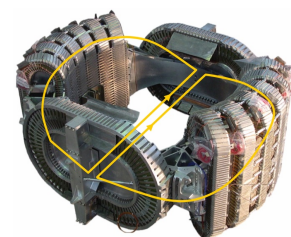


Εικόνα 5.11: Μπλοκ διάγραμμα υπεραγώγιμου πηνίου.

Αυτή η τεχνολογία έχει την δυνατότητα αποθήκευσης/φόρτισης και διάθεσης τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας(εμπορικά διαθέσιμα 30MJ), όμως για μικρό χρονικό διάστημα, της τάξης μερικών δευτερολέπτων. Έτσι αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται όταν χρειαζόμαστε άμεσα μεγάλη ισχύ (της τάξης των MW).

Παρόλα αυτά το υψηλό κόστος των υπεραγωγών περιορίζει την εμπορική διάθεση των συστημάτων αυτών. Η ανάπτυξη εμπορικής κλίμακας συστημάτων SMES αποτελεί τόσο οικονομική όσο και τεχνολογική πρόκληση. Εξαιτίας του υψηλού κόστους του υγρού ήλιου, μόνο εγκαταστάσεις με 1000MW, 5 h χωρητικότητα θα ήταν οικονομικά ελκυστικά. Όμως ακόμα και σε εγκαταστάσεις τέτοιου μεγέθους, το κόστος κεφαλαίου θα ξεπερνούσε τα μερικά χιλιάδες δολάρια ανά κιλοβάτ.[3]

Πολλοί λόγοι είναι υπεύθυνοι για την προτίμηση των SMES σε σχέση με άλλες μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των SMES είναι ότι η χρονική καθυστέρηση μεταξύ φόρτισης και αποφόρτισης είναι μικρή. Κατά συνέπεια, η ισχύς είναι διαθέσιμη σχεδόν άμεσα και πολύ υψηλή ισχύς μπορεί να αποδοθεί για μία μικρή χρονική περίοδο. Άλλες μέθοδοι αποθήκευσης ενέργειας όπως η αντλιοσταμείωση ή ο συμπιεσμένος αέρας έχουν σημαντική χρονική καθυστέρηση σχετικά με τη μετατροπή της ενέργειας από αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια πίσω σε ηλεκτρισμό. Οπότε τα SMES είναι η πιο βιώσιμη επιλογή αν η ζήτηση ενός πελάτη πρέπει να καλυφθεί άμεσα. Άλλο πλεονέκτημα είναι ότι οι απώλειες ισχύος είναι μικρότερες σε σχέση με άλλες μεθόδους αποθήκευσης μιας και τα ηλεκτρικά ρεύματα στο σύστημα συναντούν σχεδόν μηδενική αντίσταση. Τέλος, τα SMES μπορούν να εγγηθούν μεγάλη αξιοπιστία αφού στα κύρια εξαρτήματά τους απουσιάζουν κινούμενα μέρη.



Εικόνα 5.12: The AMS-02 Superconducting Magnet

Τέλος, καθώς οι κεραμικοί υπεραγωγοί, οι οποίοι γίνονται υπεραγώγιμοι σε υψηλότερες θερμοκρασίες (High-temperature superconductors-HTS), διατηρούμενοι από το οικονομικότερο υγρό άζωτο, γίνονται όλο και περισσότερο ευρέως διαθέσιμοι, μπορεί να είναι δυνατό να αναπτυχθούν μικρότερης κλίμακας εγκαταστάσεις SMES με χαμηλότερο κόστος.

5.2.5 Υπερπυκνωτές (Double-layer capacitors–DLC or supercapacitors)

Οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές διπλού στρώματος (double-layer capacitors – DLC), γνωστοί και ως υπερπυκνωτές, είναι μία τεχνολογία που είναι γνωστή εδώ και πολλές δεκαετίες. Η χρήση τους συμπληρώνει το κενό μεταξύ των κλασικών πυκνωτών, που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρονικά, και των μπαταριών, εξαιτίας της μεγαλύτερης πυκνότητας ισχύος, της πολύ μεγαλύτερης χωρητικότητας τους και τους πολύ περισσότερους κύκλους λειτουργίας, σε σχέση με τους παραδοσιακούς πυκνωτές. Αυτή η τεχνολογία ακόμη παρουσιάζει πολλές δυνατότητες περαιτέρω ανάπτυξης που μπορεί να οδηγήσει σε ακόμη παραπάνω χωρητικότητα και πυκνότητα ενέργειας.

Γενικότερα, στα αποθηκευτικά συστήματα με πυκνωτές ή υπερπυκνωτές η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται με τη συσσώρευση θετικών και αρνητικών φορτίων. Μπορούν να φορτιστούν και να εκφορτιστούν ταχύτερα σε σύγκριση με τις κοινές μπαταρίες και αντέχουν πολλές τάξεις μεγέθους περισσότερους κύκλους λειτουργίας. Όμως, επειδή είναι αποθηκευτικά μέσα με χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο, είναι κατάλληλα για εφαρμογές με γρήγορες εναλλαγές μεταξύ κατάστασης φόρτισης και εκφόρτισης. Ειδικότερα οι DLC υπερπυκνωτές δεν είναι κατάλληλοι για μακράς περιόδου αποθήκευση ενέργειας, καθώς έχουν μεγάλο ρυθμό αυτοεκφόρτισης και μεγάλο κόστος επένδυσης.

Οι συνηθισμένοι πυκνωτές συσσωρεύουν φορτία σε παράλληλες πλάκες που διαχωρίζονται με διηλεκτρικό υλικό. Έχουν διάρκεια ζωής περίπου 5 χρόνια και η απόδοσή τους κυμαίνεται μεταξύ 60% και 70%. Έχουν αναπτυχθεί για μικρής κλίμακας εφαρμογές (μερικών kW) και βρίσκουν εφαρμογή στα συστήματα ισχύος κυρίως για διόρθωση του συντελεστή ισχύος και για ενίσχυση της τάσης και της άεργου ισχύος. Χρησιμοποιούνται όμως και σε εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας, βοηθητικά σε άλλα αποθηκευτικά συστήματα, για να διευκολύνουν τη διείσδυση των ΑΠΕ, μέσω της αύξησης της ζωής των μπαταριών και μέσω δυναμικής αποκατάστασης της τάσης.

Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε έναν πυκνωτή δίνεται από την εξίσωση :

$$E = \frac{CV^2}{2}$$

όπου E η αποθηκευμένη ενέργεια (σε J), V η εφαρμοζόμενη τάση και C η χωρητικότητα του η οποία προκύπτει από την σχέση:

$$C = \frac{A \epsilon_r \epsilon_0}{d}$$

όπου A η επιφάνεια των πλακών, d η μεταξύ τους απόσταση, ϵ_0 η διηλεκτρική σταθερά του κενού και ϵ_r η διηλεκτρική σταθερά του διηλεκτρικού υλικού.

Οι υπερπυκνωτές αποθηκεύουν ενέργεια με τη βοήθεια διαλύματος ηλεκτρολύτη αντί για στερεό διηλεκτρικό μεταξύ των οπλισμών. Έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής συγκριτικά με τους απλούς πυκνωτές (8-10 χρόνια) και αρκετά μεγαλύτερη απόδοση (95%). Επίσης έχουν ικανότητα βαθιάς εκφόρτισης και υπερφόρτισης, πολύ υψηλή πυκνότητα ισχύος (100 kW/kg) αλλά υστερούν στην πυκνότητα ενέργειας (2070 MJ/m). Ακόμη εμφανίζουν μεγάλες απώλειες ενέργειας που κυμαίνονται μεταξύ 5 και 40% ανά ημέρα αλλά και υψηλό κόστος που ανέρχεται στα 20,000 €/kWh[4].

Συνδέοντας πυκνωτές ή υπερπυκνωτές στον κόμβο συνεχούς ρεύματος των γεννητριών ΑΠΕ είναι δυνατό να αποφευχθεί η χρήση μετατροπέα DC/AC και κάποιων ελεγκτικών συστημάτων, μειώνοντας έτσι το κόστος της εγκατάστασης. Επιπλέον μπορούν να συμβάλλουν στην αντιμετώπιση βυθίσεων τάσης του δικτύου και στο φιλτράρισμα υψηλών αρμονικών εξομαλύνοντας έτσι την παραγωγή από ΑΠΕ.

Από το 1980 έχουν χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο εύρος καταναλωτικών ηλεκτρονικών και εφαρμογών ηλεκτρονικών ισχύος. Οι DLC είναι ιδανικοί για χρήση σε συστήματα αδιάκοπης παροχής ισχύος (UPS) για αποφυγή στιγμιαίων διακοπών. Μια νέα εφαρμογή μπορεί να είναι στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν ενδιάμεσες βαθμίδες μεταξύ κινητήρα και μπαταριών, ώστε να αξιοποιηθεί η υψηλή πυκνότητα ισχύος τους, για επίτευξη καλύτερων επιταχύνσεων και σύλληψη περισσότερης ισχύος κατά της πέδηση.[5]

5.2.6 Συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές (Battery Energy Storage Systems -BESS)

Παρόλο που οι ηλεκτροχημικοί συσσωρευτές (μπαταρίες) είναι η παλαιότερη και η πιο γνώριμη μέθοδος αποθήκευσης ενέργειας, σημαντική πρόοδος σε αυτήν την τεχνολογία πραγματοποιήθηκε τα τελευταία μόνο χρόνια, ώστε να αξίζει περισσότερη προσοχή. Επιπρόσθετα, έχει υπάρξει ανανέωση ενδιαφέροντος σε αυτήν την τεχνολογία, εξαιτίας των δυνατοτήτων της σε διάφορες εφαρμογές, όπως η ενσωμάτωση τους στα μη ρυπογόνα ηλεκτρικά αυτοκίνητα καθώς και την κάλυψη αναγκών στο ηλεκτρικό δίκτυο. Οι μπαταρίες είναι αθόρυβες και δεν ρυπαίνουν κατά την λειτουργία τους, πράγμα που τις καθιστά ιδανικές για εγκατάσταση σε ημιαστικές περιοχές, μπορούν λοιπόν να εγκατασταθούν κοντά στο κέντρο του φορτίου, σε μορφή ολοκληρωμένων συστημάτων, κοντά σε ηλεκτρικούς πίνακες ή προάστειους υποσταθμούς. Αυτά τα συστήματα έχουν απόδοση μετατροπής κοντά στο 85% και μπορούν να ανταποκριθούν σε ταχύτατες μεταβολές ηλεκτρικών φορτίων, μέσα σε χρόνο 20ms.

Η βασική λειτουργία του συστήματος αποθήκευσης σε μπαταρίες είναι η παροχή στρεφόμενης εφεδρείας σε περίπτωση όπου η μονάδα παραγωγής ενέργειας ή η γραμμή μεταφοράς υποστεί κάποια βλάβη. Για τα συστήματα αυτά, χρησιμοποιούνται επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για την αποθήκευση ηλεκτρισμού στη μορφή χημικής ενέργειας. Για να καλύψουν τις ανάγκες αποθήκευσης, η μπαταρίες πρέπει να έχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, υψηλή ισχύ, υψηλή απόδοση φόρτισης, καλό κύκλο λειτουργίας, μεγάλη διάρκεια ζωής και μικρό αρχικό κόστος.

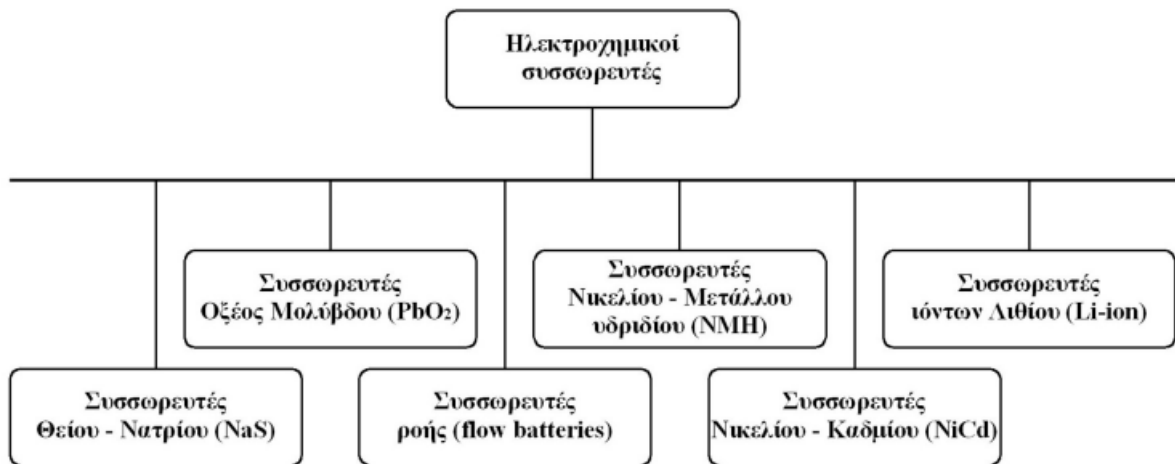
Οι ακόλουθες τεχνολογίες έχουν χρησιμοποιηθεί ή/και προταθεί για εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας: μπαταρίες μολύβδου-οξέως (lead-acid batteries), μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου (nickel-metal hydride batteries, NiMH batteries), μπαταρίες ιόντων λιθίου (lithium ion batteries) και μπαταρίες πολυμερών λιθίου (lithium polymer batteries). Οι περισσότερες μπαταρίες, μέχρι πρόσφατα τουλάχιστον, είναι φτιαγμένες από πολλά στοιχεία μολύβδου-οξέως και χρησιμοποιούν τεχνολογία παρόμοια με αυτή των μπαταριών των αυτοκινήτων. Αρκετοί αμερικάνικοι, ευρωπαϊκοί και γιαπωνέζικοι παροχείς ηλεκτρικής ενέργειας έχουν επιδείξει εφαρμογές μπαταριών Οξέως Μολύβδου για κάλυψη μεταβαλλόμενων φορτίων. Μερικές από αυτές τις εφαρμογές ήταν αρκετά μεγάλες, της τάξεων των 10MW με χωρητικότητα 4h.[3]

Από την άλλη μεγάλο ενδιαφέρον, για την ανάπτυξη της τεχνολογίας των μπαταριών, δείχνει η αυτοκινητοβιομηχανία που επενδύει στα ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Η εμπορική διάθεση, από το 2011, κάποιων ηλεκτρικών οχημάτων επέφερε μεγάλο ενδιαφέρον στις μπαταρίες αποθήκευσης[3]. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η Tesla motors, η οποία ανακοίνωσε το 2013 ότι σκοπεύει να κατασκευάσει ένα εργοστάσιο, με το όνομα Gigafactory, τόσο μεγάλο, που θα έχει συνολική ετήσια παραγωγή 35 GWh μπαταριών (ιόντων-λιθίου) το χρόνο, μεγαλύτερη και από την παγκόσμια παραγωγή μπαταριών ιόντων-λιθίου, για το 2013. Η υπόσχεση μονάχα του Gigafactory επέφερε αλυσιδωτές αντιδράσεις στην αγορά, όπου ανταγωνιστικοί κατασκευαστές διπλασίασαν τις προσπάθειες τους για την ανάπτυξη ηλεκτρικών αυτοκινήτων, ενώ κατασκευαστές μπαταριών επέκτειναν την παραγωγή τους και μείωσαν τις τιμές τους.[6]

Αναλυτικότερα, ένας ηλεκτροχημικός συσσωρευτής είναι μία συσκευή αποθήκευσης ενέργειας, σχεδιασμένη για να:

- Μετατρέπει την αποθηκευμένη σε αυτήν χημική ενέργεια σε ηλεκτρική κατά την περίοδο εκφόρτισης.
- Μετατρέπει την παρεχόμενη σε αυτήν ηλεκτρική ενέργεια σε χημική και να την αποθηκεύει κατά την περίοδο φόρτισης.

Οι διαφορετικοί τύποι επαναφορτιζόμενων ηλεκτροχημικών συσσωρευτών (ή μπαταριών) παρουσιάζονται στο σχήμα Εικόνα 5.13.



Εικόνα 5.13: Διάφοροι τύποι επαναφορτιζόμενων (δευτερογενών) ηλεκτροχημικών συσσωρευτών [2]

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι μπαταριών, οι μη-επαναφορτιζόμενες (πρωτογενείς- primary) και οι επαναφορτιζόμενες (ή και δευτερογενείς – secondary).

Οι μη επαναφορτιζόμενες χρησιμοποιούνται μία φορά και μετά πετιούνται ή ανακυκλώνονται. Έχουν το πλεονέκτημα την βολικότητα για χρήση σε απλές ηλεκτρικές συσκευές και κοστίζουν λιγότερο ανά μπαταριά, σε σχέση με τις επαναφορτιζόμενες, όμως μακροπρόθεσμα κοστίζουν πολύ περισσότερο και δημιουργούν πολύ περισσότερη μόλυνση. Γενικά, οι πρωτογενείς μπαταρίες έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα και ονομαστική τιμή τάσης και παρουσιάζουν μεγαλύτερη κλίση εκφόρτισης, από τις δευτερογενείς[7].

Τυπικές μπαταρίες αυτού του τύπου είναι οι,

- Ψευδαργύρου / Άνθρακα (Zn/C): οι γνωστές σε όλους απλές μπαταρίες. Για τις απλούστερες χρήσεις και με τη μικρότερη διάρκεια ζωής.
- Ψευδαργύρου / Χλωριδίου (Zn/Cl): με λίγο μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Χρησιμοποιούνται εκεί που υπάρχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ενέργεια.
- Αλκαλικές Μαγγανίου: με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τα δύο προηγούμενα είδη. Είναι μάλιστα και φιλικότερες προς το περιβάλλον.
- Αργύρου: συνήθως κομβιόσχημες, περιέχουν οξείδιο του αργύρου, και χρησιμοποιούνται κυρίως σε ρολόγια.
- Ψευδαργύρου - αέρα: επίσης κομβιόσχημες, έχουν την καινοτομία ότι αντί θετικού πόλου, χρησιμοποιείται το ατμοσφαιρικό οξυγόνο.

Οι επαναφορτιζόμενες (δευτερογενείς – secondary) διαίρονται περαιτέρω σε δύο κατηγορίες με βάση στην λειτουργία θερμοκρασίας του ηλεκτρολύτη. Έτσι έχουμε ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές χαμηλών θερμοκρασιών εσωτερικής αποθήκευσης και υψηλών θερμοκρασιών εξωτερικής αποθήκευσης. Οι συσσωρευτές χαμηλών θερμοκρασιών λειτουργούν συνήθως σε θερμοκρασίες δωματίου. Η βασική διαφορά ανάμεσα στους συσσωρευτές εσωτερικής και εξωτερικής αποθήκευσης έγκειται στο ότι στους συσσωρευτές εξωτερικής αποθήκευσης το τμήμα μετατροπής ενέργειας είναι διαχωρισμένο από το τμήμα του ενεργού χημικού υλικού του συσσωρευτή. Η διαμόρφωση αυτή επιτρέπει τη διαστασιολόγηση και τη σχεδίαση του τμήματος εκφόρτισης ανεξάρτητα από το τμήμα φόρτισης του συσσωρευτή. Στους συσσωρευτές εξωτερικής αποθήκευσης, η μονάδα μετατροπής ενέργειας και το σύστημα χημικής αποθήκευσης είναι, αφενός, διαχωρισμένα αλλά, αφετέρου, συνδεδεμένα μεταξύ τους για τη μεταφορά ηλεκτροχημικών αντιδράσεων ανάμεσα στα δύο τμήματα, κατά τις διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών[1].

Παραδείγματα συσσωρευτών χαμηλών θερμοκρασιών εσωτερικής αποθήκευσης είναι οι συσσωρευτές οξέος μολύβδου (PbO₂), οι συσσωρευτές νικελίου – καδμίου (NiCd), οι συσσωρευτές ιόντων-λιθίου και νικελίου – υδριδίου μετάλλου (NiMH).

Βασικοί τύποι συσσωρευτών υψηλών θερμοκρασιών εξωτερικής αποθήκευσης είναι οι συσσωρευτές νατρίου – θείου (NaS), οι συσσωρευτές νατρίου – νικελίου – χλωρίου (NaNiCl) και οι μπαταρίες ροής (flow batteries).

Οι συσσωρευτές συνήθως συγκρίνονται με βάση τη χωρητικότητά τους ως προς την ενέργεια και ως προς την ισχύ. Παρακάτω αναφέρονται τα κύρια στοιχεία αξιολόγησης των συσσωρευτών, τα οποία σχετίζονται άμεσα με το κόστος.

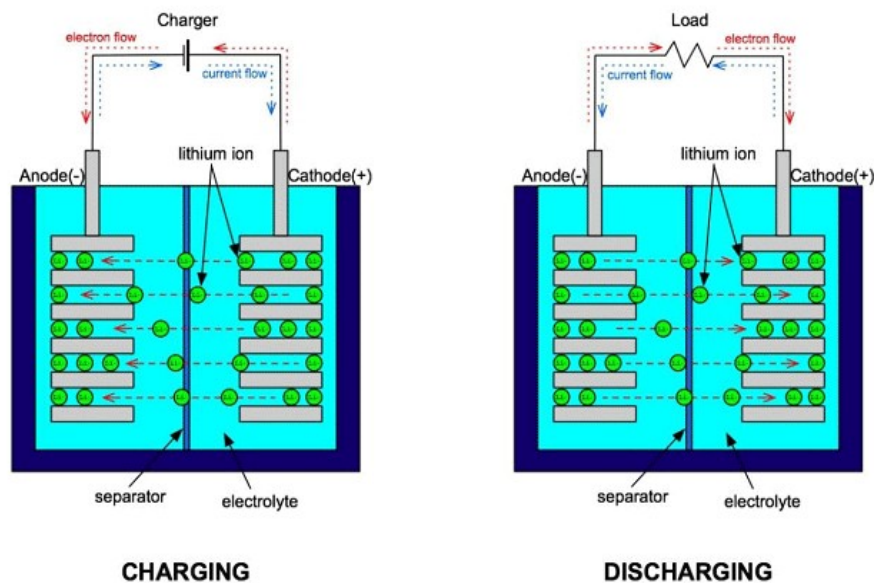
- Απόδοση συσσωρευτή (%): Είναι το ποσοστό εκείνο που δείχνει το ποσό της ισχύος ή της ενέργειας που εκφορτίζεται ως προς την ικανότητα της μπαταρίας, με το υπόλοιπο να είναι συνήθως απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον.
- Ικανότητα μέγιστης ισχύος (W): Είναι το ανώτερο όριο ισχύος το οποίο μπορεί να μεταφερθεί από και προς τη μπαταρία (σε kW ή MW).
- Ειδική ενέργεια (Wh/kg): Είναι η αποθηκευτική ικανότητα της μπαταρίας σε ενέργεια (Wh) ως προς τη μάζα της (kg).
- Ειδική ισχύς (W/kg): Είναι η αποθηκευτική ικανότητα της μπαταρίας σε ισχύ (W) ως προς τη μάζα της (kg).
- Πυκνότητα ισχύος (C): Η πυκνότητα ισχύος της μπαταρίας συσχετίζει την ισχύ (kW) που μπορεί να αποδώσει η μπαταρία για δεδομένο μέγεθος (Wh). Μία μπαταρία μεγάλης πυκνότητας ισχύος θα μπορεί να παρέχει την ίδια ισχύ αδιάλειπτα, σε σχέση με μία μπαταρία χαμηλότερης πυκνότητας ισχύος. Η πυκνότητα ισχύος μετράται σε βαθμό κατά C ο οποίος είναι πολ/στής που εκφράζει την ικανότητα της μπαταρίας σε A σε σχέση με τα Ah της. Με αυτόν τον τρόπο η πυκνότητα ισχύος είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος της μπαταρίας. Για παράδειγμα, μια μπαταρία 45 Ah πυκνότητας ισχύος 5C είναι ικανή να δώσει 5·45 A συνεχόμενα. Έτσι μια μπαταρία 12V 60Ah (720 Wh) και ικανότητας 5C αποδίδει ισχύ 3,6 kW ενώ η ίδια μπαταρία 12V/60 Ah (720 Wh) και ικανότητας 20C αποδίδει ισχύ 14,4 kW.
- Διάρκεια ζωής (κύκλους): Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας μετράται σε κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης.
- Αυτοεκφόρτιση (self discharge) %: Όλοι οι συσσωρευτές είτε λόγω εσωτερικών απωλειών είτε λόγω κάποιας μικρής διαρροής έχουν ένα ποσοστό αυτοεκφόρτισης.
- Βάθος εκφόρτισης %: Είναι η μέγιστη ενέργεια που μπορεί να αποδώσει η μπαταρία ανά μονάδα στην περίπτωση που δίνεται εντολή εκφόρτισης. Δηλαδή με την εκφόρτιση προσφέρεται μόνο ένα ποσοστό της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ για το υπόλοιπο δεν επιδιώκεται η ανάκτηση, ώστε να αποφευχθεί η πλήρης καταστροφή του συσσωρευτή.

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας σε συσσωρευτές αποτελούνται κυρίως από τη διάταξη των συσσωρευτών, το σύστημα ελέγχου, το σύστημα ισχύος και το σύστημα προστασίας των συσσωρευτών. Στα συστήματα BESS (Battery Energy Storage Systems -BESS), ραγδαία ανάπτυξη έχουν κυρίως τα δύο πρώτα. Παρακάτω θα αναλύσουμε τα κυριότερα χαρακτηριστικά και τις τεχνολογίες των διαφόρων τύπων συσσωρευτών. Στη συνέχεια παρατίθενται συγκριτικοί πίνακες τόσο ως προς τα χαρακτηριστικά όσο και ως προς τις δυνατότητες εφαρμογής των διάφορων τεχνολογιών.

5.2.6.1 Συσσωρευτές ιόντων λιθίου (Li-ion)

Οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου (Li-ion) έχουν μεγάλη διείσδυση σε συσκευές τόσο υψηλής, όσο και χαμηλής κατανάλωσης ισχύος, παράδειγμα σε εξοπλισμό τηλεπικοινωνίας ή σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές, εξαιτίας του μικρού τους βάρους. Η προτίμησή τους έγκειται κυρίως στην υψηλή απόδοσή τους και στην υψηλή πυκνότητα ενέργειας σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες.

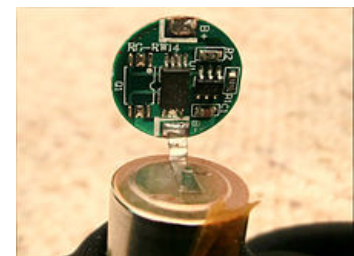
Η κάθοδος σε αυτούς τους συσσωρευτές είναι ένα μεταλλικό οξείδιο του λιθίου και η άνοδος είναι κατασκευασμένη από γραφίτη άνθρακα σε στρώματα. Ο ηλεκτρολύτης είναι κατασκευασμένος από άλατα λιθίου διαλυμένα σε οργανικό διαλύτη. Όταν η μπαταρία φορτίζεται, τα άτομα Li στην κάθοδο γίνονται ιόντα και διαπερνούν τον ηλεκτρολύτη προς την άνοδο από άνθρακα όπου συνδυάζονται με εξωτερικά ηλεκτρόνια και εναποτίθενται μεταξύ των στρωμάτων του άνθρακα ως άτομα λιθίου. Η διαδικασία αυτή αντιστρέφεται κατά την εκφόρτιση.



Εικόνα 5.14: Διαδικασία φόρτισης-εκφόρτισης μπαταρίας ιόντων λιθίου.

Οι συσσωρευτές αυτοί έχουν μεγάλη πυκνότητα ενέργειας (300-400 kWh/m³ λιθίου), υψηλότερη απόδοση μετατροπής και μεγάλο κύκλο ζωής (περίπου 3000 κύκλοι για βάθος εκφόρτισης 80%). Ο τύπος αυτός συσσωρευτών έχει επίσης αμελητέο βαθμό αυτο-εκφόρτισης. Επειδή το λίθιο είναι το ελαφρύτερο στερεό στοιχείο, οι συσσωρευτές που βασίζονται σε αυτό μπορούν να είναι κατά πολύ ελαφρύτεροι από τους συνηθισμένους, γι' αυτό το λόγο βρίσκουν πολλές εφαρμογές στα κινητά τηλέφωνα και στους φορητούς υπολογιστές. Το βασικό μειονέκτημα των συσσωρευτών ιόντων λιθίου είναι το υψηλό κόστος παραγωγής, ακόμα. Ακριβώς αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά τη χρήση τους απαγορευτική σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα σε υβριδικούς σταθμούς. Παρόλα αυτά, πρόσφατα έχει αρχίσει και η δυνατότητα επέκτασης χρήσης συσσωρευτών Li-Ion και σε εφαρμογές συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Η ικανότητα αυτών των συσσωρευτών μπορεί να φτάσει σε επίπεδα λίγων δεκάδων kW.

Επίσης ένα ακόμα μειονέκτημα είναι ότι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, σαν τεχνολογία δεν είναι αρκετά ασφαλείς, σε περιπτώσεις καταπόνησης από ταχεία φόρτιση ή αποφόρτιση, η μπαταρία μπορεί να υπερθερμανθεί πολύ γρήγορα με την πιθανότητα φωτιάς. Ως αποτέλεσμα τα συστήματα των μπαταριών έχουν πάντα ένα ενεργητικό κύκλωμα ασφαλείας, το οποίο επιβλέπει την θερμοκρασία των μπαταριών [3], όπως στην Εικόνα 5.15.

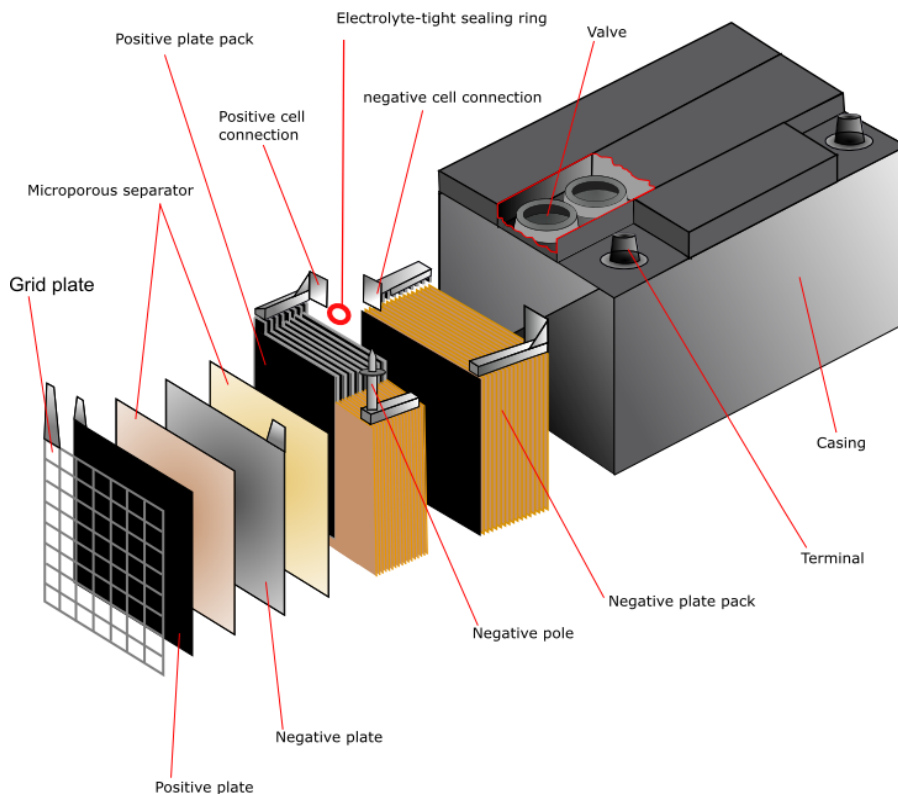


Εικόνα 5.15: Κύκλωμα προστασίας-ελέγχου φόρτισης-εκφόρτισης. [wikipedia]

5.2.6.2 Συσσωρευτές οξέος μολύβδου PbO_2 (Lead-Acid)

Ο πρώτος τύπος επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών ήταν οι συσσωρευτές οξέος μολύβδου. Η χρήση των συσσωρευτών αυτών απαντάται τόσο σε οικιακές όσο και επαγγελματικές εφαρμογές. Ωστόσο εξαιτίας της ύπαρξης εναλλακτικών τύπων ηλεκτροχημικών συσσωρευτών υψηλότερης απόδοσης και διάρκειας ζωής, η χρήση των συσσωρευτών οξέος μολύβδου σε επαγγελματικές εφαρμογές είναι κάπως περιορισμένη.

Οι συσσωρευτές οξέος μολύβδου χρησιμοποιούνται κυρίως λόγω του χαμηλότερου κόστους προμήθειας που παρουσιάζουν σε σχέση με άλλους τύπους ηλεκτροχημικής αποθήκευσης, της αξιόπιστης λειτουργίας τους, του ώριμου τεχνολογικού επιπέδου από το οποίο χαρακτηρίζονται, της άμεσης απόκρισης, ειδικά σε συστήματα αυτοκίνησης. Γενικά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές στις οποίες το βάρος του συσσωρευτή δεν αποτελεί κρίσιμη παράμετρο επιλογής.



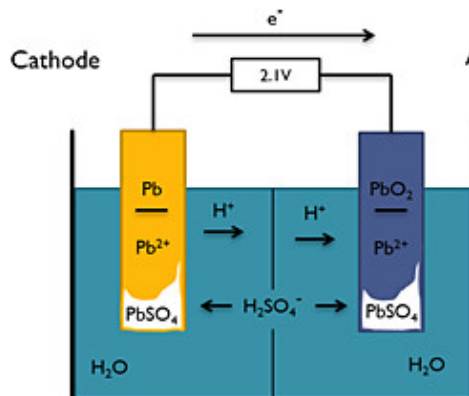
Εικόνα 5.16: Κατασκευή μπαταρίας PbO_2 [doitpoms.ac.uk].

Οι συσσωρευτές οξέος μολύβδου παρουσιάζουν σχετικά χαμηλό κόστος (50 – 150€/kWh) και σχετικά υψηλή απόδοση, αναλόγως των συνθηκών λειτουργίας τους (70–90%). Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά καθιστούν τους συσσωρευτές οξέος μολύβδου ανταγωνιστικούς σε σχέση με τις εναλλακτικές τεχνολογίες αποθήκευσης μεγάλου μεγέθους (CAES, αναστρέψιμα υδροηλεκτρικά), σε περιπτώσεις υβριδικών σταθμών μικρού μεγέθους. Οι συσσωρευτές οξέος μολύβδου χαρακτηρίζονται από διάρκεια ζωής της τάξης των 5 – 7 ετών ή, διαφορετικά, 250– 1.000 κύκλοι φόρτισης / εκφόρτισης. Ωστόσο, θα πρέπει να τονιστεί ότι η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών οξέος μολύβδου επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, η οποία πρέπει να διατηρείται κάτω από μία μέγιστη τιμή, και από το βάθος εκφόρτισης το οποίο, ανάλογα με τον κατασκευαστή, δεν πρέπει να υπερβαίνει το 60 – 70%. [2]

Οι συνηθέστεροι τύποι συσσωρευτών οξέος μολύβδου, είναι οι συσσωρευτές Valve Regulated Lead Acid (VRLA), οι οποίοι είναι σφραγισμένοι με βαλβίδα ρυθμιζόμενης πίεσης, όπως καταδεικνύει και η ονομασία τους, και οι συσσωρευτές ανοιχτού τύπου (Flooded Lead Acid –

FLA). Οι δύο αυτοί τύποι συσσωρευτών οξέος μολύβδου έχουν όμοια χαρακτηριστικά αναφορικά με τις βασικές αρχές λειτουργίας τους, ωστόσο διαφέρουν στο κόστος προμήθειας, στις απαιτήσεις και διαδικασίες συντήρησης και στο φυσικό μέγεθος. Οι συσσωρευτές VRLA έχουν υψηλότερο κόστος προμήθειας, χαμηλότερη διάρκεια ζωής, μικρότερο μέγεθος και χαμηλότερο κόστος συντήρησης, συγκρινόμενοι με τους συσσωρευτές FLA.

Κατά τη φόρτιση των συσσωρευτών οξέος μολύβδου, η ισχύς φόρτισης προκαλεί τη μετακίνηση των ηλεκτρονίων από το θετικό ηλεκτρόδιο προς το αρνητικό. Στην εκφόρτιση προκαλείται μία αντίστροφη διαδικασία, μετατρέποντας τα ηλεκτρόδια σε θειούχο μολύβδο, ενώ η ποσότητα του θεικού οξέος στο υγρό των συσσωρευτών μειώνεται, παράγοντας έτσι απεσταγμένο νερό σε μεγάλες ποσότητες. Η συχνή συντήρηση που απαιτείται για τους συσσωρευτές FLA εστιάζει κυρίως στην απομάκρυνση του απεσταγμένου νερού. Ο συσσωρευτής Valve Regulated Lead Acid (VRLA) είναι ένας τύπος επαναφορτιζόμενου συσσωρευτή με βαλβίδα ασφαλείας, που επιτρέπει την εκτόνωση της εσωτερικής πίεσης σε περίπτωση υπερφόρτισης.[2]



Εικόνα 5.17: Διαδικασία εκφόρτισης συσσωρευτή οξέος μολύβδου.

Τέλος, υπάρχουν και οι συσσωρευτές AGM (Absorbed Glass Mat Battery, απορροφητικό στρώμα γυαλιού). Σε αυτούς τους συσσωρευτές οξέος μολύβδου υπάρχουν στρώματα μικροϋαλονημάτων σε πολύ πυκνή διάταξη που παρεμβάλλονται μεταξύ των πλακών μολύβδου του συσσωρευτή απορροφώντας όλο το οξύ της μπαταρίας. Η υψηλή πίεση αντισταθμίζει την απώλεια του ενεργού υλικού όταν υπάρχει πολύ χαμηλή εσωτερική αντίσταση. Χάρη στην ταχύτερη αντίδραση μεταξύ οξέος (ηλεκτρολύτη) και των υλικών των πλακών, μπορούν να διοχετευθούν μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας ικανοποιώντας πιο απαιτητικές καταστάσεις φορτίου.

Στα μειονεκτήματά τους συγκαταλέγεται το γεγονός ότι ο ηλεκτρολύτης είναι όξινος και διαβρωτικός και επομένως επιβλαβής για το περιβάλλον. Επιπλέον σε περίπτωση εφαρμογής μεγαλύτερης τάσης, παράγονται από την ηλεκτρόλυση του ύδατος εκρηκτικά αέρια, οπότε θα πρέπει να χειρίζονται με προσοχή.

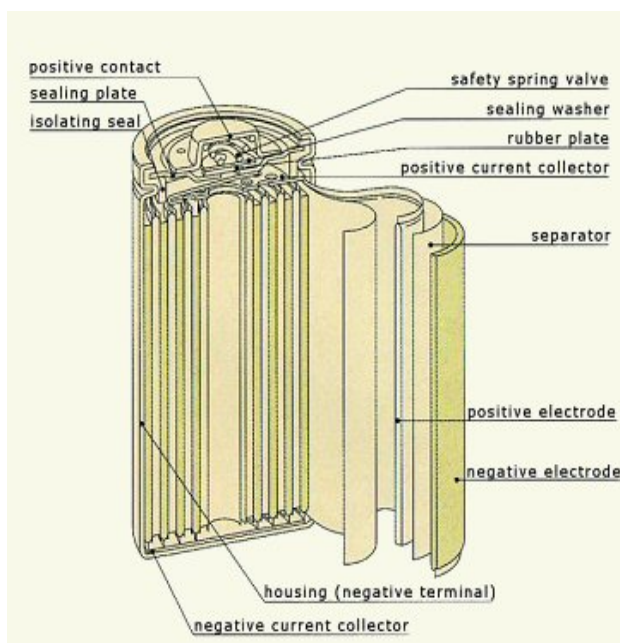
Σε επίπεδο εταιριών υπάρχουν σημαντικές σε μέγεθος εγκαταστάσεις που παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 5.1).

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικές εγκαταστάσεις συσσωρευτών μολύβδου οξέος

Τοποθεσία Χαρακτηριστικά	Μέγεθος	Εφαρμογή/Τύπος κατασκευής
Southern California Edison Chino, CA ΗΠΑ	10 MW/40 MWh	Εξομάλυνση φορτίου (Load leveling) / (Open/vented)
Puerto Rico El. Power Authority San Juan, Πουέρτο Ρίκο	20 MW/ MWh	Ρύθμιση συχνότητας/ (Open stirred electrolyte)
GNB Industrial Power Metlakatla Αλάσκα, ΗΠΑ	1 MW/1,4 MWh	Παροχή φορτίου/ (Sealed, Valve Regulated)

5.2.6.3 Συσσωρευτές Νικελίου - Καδμίου (NiCd)

Οι συσσωρευτές νικελίου – καδμίου (NiCd) χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση (72 – 78%), υψηλή πυκνότητα ενέργειας, ικανοποιητική διάρκεια ζωής, ικανοποιητική συμπεριφορά σε



Εικόνα 5.18: Τομή συσσωρευτή Νικελίου – Καδμίου.

συστήματα ισχύος αναφορικά με την απόκρισή τους και δυνατότητα κατασκευής σε μεγάλο εύρος μεγεθών. Είναι ανθεκτικοί και παρουσιάζουν γενικότερα χαρακτηριστικά (εξαιρουμένου του κόστους παραγωγής) παρόμοια με αυτά των συσσωρευτών οξέος μολύβδου.

Οι βασικές συνιστώσες ενός συσσωρευτή Ni–Cd είναι ένα ηλεκτρόδιο οξειδίου – υδροξειδίου του νικελίου, το οποίο λειτουργεί ως το θετικό ηλεκτρόδιο, και ένα ηλεκτρόδιο καδμίου, το οποίο είναι το αρνητικό ηλεκτρόδιο. Ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται υδροξείδιο του καλίου (potassium hydroxide), το οποίο είναι ένας αλκαλικός ηλεκτρολύτης. Η όλη κατασκευή εσωκλείεται εντός καλά σφραγισμένου πλαισίου, όπως βλέπουμε στην Εικόνα 5.19 και στην Εικόνα 5.20.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα σχετικά με τη χρήση των συσσωρευτών NiCd είναι το



Εικόνα 5.19: Βιομηχανικού τύπου NiCd



Εικόνα 5.20: Συσσκευασία NiCd για εφαρμογή σε φορητές συσκευές.

υψηλό κόστος παραγωγής, το οποίο προκύπτει από το υψηλό κόστος προμήθειας των βασικών υλικών του συσσωρευτή, δηλαδή του νικελίου και του καδμίου. Ένα ακόμα θέμα είναι οι δυνητικές

περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες προέρχονται από πιθανή διαρροή του ηλεκτρολύτη προς το περιβάλλον. Ας σημειωθεί ότι το κάδμιο και το νικέλιο είναι ισχυρά τοξικά υλικά, με σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο φυσικό περιβάλλον. Άλλο ένα αρνητικό γνώρισμα του συσσωρευτή αυτού είναι το γνωστό ως «χαρακτηριστικό μνήμης». Εξαιτίας του χαρακτηριστικού μνήμης, ο συσσωρευτής πρέπει να φορτίζεται και να εκφορτίζεται πλήρως. Σε διαφορετική περίπτωση, μετά από μία μερική φόρτιση ή εκφόρτιση, η νέα χωρητικότητα της μπαταρίας ορίζεται πλέον από το επίπεδο φόρτισης ή εκφόρτισης του προηγούμενου κύκλου. Η ιδιότητα αυτή είναι ιδιαίτερα αρνητική, καθώς περιορίζει σημαντικά την ευελιξία της μπαταρίας σε περίπτωση χρήσης της ως μονάδα αποθήκευσης υβριδικού σταθμού και, επιπλέον, με την πάροδο του χρόνου ελαττώνεται η ονομαστική χωρητικότητά της. Άλλο ένα μειονέκτημα του συσσωρευτή NiCd είναι η αυτοεκφόρτιση, που μπορεί να φτάσει σε ποσοστά της τάξης του 20% ανά μήνα.[2]

Παρόλα τα προαναφερόμενα αρνητικά χαρακτηριστικά, οι συσσωρευτές NiCd τυγχάνουν μίας σειράς από χρήσεις σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές, σε συστήματα αναμονής ηλεκτρικών συστημάτων και συσκευών, σε λειτουργία συστημάτων αεροπλοΐας, σε ηλεκτρικά οχήματα και σε φωτισμούς ασφαλείας, εξαιτίας κάποιων σημαντικών πλεονεκτημάτων που εμφανίζουν σε σχέση με τους άλλους τύπους ηλεκτροχημικής αποθήκευσης, όπως:

- μεγάλη διάρκεια ζωής (περισσότεροι από 3.500 κύκλοι) σε συνδυασμό με χαμηλή συντήρηση και απόλυτη αξιοποίηση της ονομαστικής χωρητικότητας, μέσω της 100% εκφόρτισής τους,
- λειτουργία με υψηλή ένταση ρεύματος κατά την εκφόρτιση, που συνεπάγεται παροχή μεγάλης ισχύος.[2]

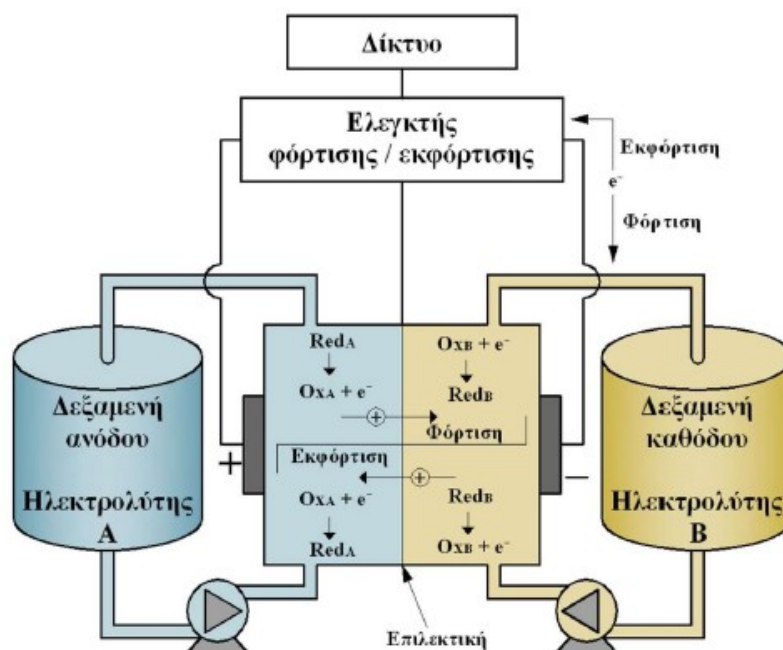
Πίνακας 5.2: Συνοπτικά χαρακτηριστικά των μπαταριών Νικελίου - Καδμίου (NiCd) [2],[8]

Ιδιότητες	Χαρακτηριστικές τιμές
Ειδική ενέργεια (Specific energy)	45–80 W·h/kg
Ενεργειακή πυκνότητα (Energy density)	50–150 W·h/L
(Specific power)	150 W/kg
Απόδοση (Charge/discharge efficiency)	72 – 78%
Αυτοεκφόρτιση (Self-discharge rate)	10-20%/month
Διάρκεια ζωής (Cycle durability)	2,000 -3500
(Nominal cell voltage)	1.2 V

Η πιο χαρακτηριστική εγκατάσταση αυτού του είδους συσσωρευτών είναι στην Αλάσκα και μπορεί να παρέχει 27 MW για 15 λεπτά.

5.2.6.4 Μπαταρίες ροής (Flow batteries)

Αυτός ο τύπος μπαταρίας αποτελείται από δύο ηλεκτρολυτικούς ταμειυτήρες στους οποίους οι ηλεκτρολύτες κυκλοφορούν (μέσω αντλιών) μέσα από ένα ηλεκτροχημικό κύτταρο που περιλαμβάνει μια άνοδο, μία κάθοδο και μία μεμβράνη που τις διαχωρίζει. Η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό στο ηλεκτροχημικό κύτταρο όταν οι δύο ηλεκτρολύτες το διαπερνούν. Και οι δύο ηλεκτρολύτες είναι αποθηκευμένοι χωριστά σε δεξαμενές έξω από το ηλεκτροχημικό κύτταρο. Το μέγεθος των δεξαμενών και η ποσότητα των ηλεκτρολυτών καθορίζει την πυκνότητα ενέργειας σε αυτούς τους συσσωρευτές. Παρ' όλα αυτά, η πυκνότητα ισχύος εξαρτάται από τις αντιδράσεις που συμβαίνουν στην άνοδο και στην κάθοδο. Η δομή των συσσωρευτών ροής φαίνεται στην Εικόνα 5.21.



Εικόνα 5.21: Δομή και λειτουργία ηλεκτροχημικών συσσωρευτών οξειδοαναγωγής ροής (redox flow batteries)[2]

Οι συσσωρευτές ροής ονομάζονται συχνά και συσσωρευτές οξειδοαναγωγής (redox flow) εξαιτίας των αντιδράσεων μεταξύ των δύο ηλεκτρολυτών.

Κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά των συσσωρευτών αυτών είναι: η υψηλή ισχύς, η μεγάλη διάρκεια, η ικανότητα μεταφοράς ισχύος, η εύκολη αντικατάσταση των ηλεκτρολυτών, η γρήγορη μετάβαση από εκφόρτιση σε φόρτιση, αλλά και η μικρή απόδοση λόγω των απωλειών στις χημικές αντιδράσεις. Επιπλέον, δεν παρουσιάζεται καθόλου αυτοεκφόρτιση, εφόσον οι ηλεκτρολύτες αποθηκεύονται χωριστά. Οι κύριες κατηγορίες συσσωρευτών ροής είναι οι εξής:

- Οξειδοαναγωγής βαναδίου (Vanadium redox-VRB): Σε κάθε κύτταρο μιας μπαταρίας VRB, τα ζεύγη αποθηκεύονται σε ήπιο διάλυμα θειικού οξέος (ηλεκτρολύτες). Κατά τη διάρκεια της φόρτισης/εκφόρτισης, H^+ ιόντα ανταλλάσσονται μεταξύ των δύο δεξαμενών μέσω της μεμβράνης από πολυμερές, ώστε να παράγουν μία τάση 1,4-1,6 V.
- Βρωμιούχου ψευδαργύρου (Zinc-Bromine-ZnBr): Σε κάθε κύτταρο μιας μπαταρίας ZnBr, δύο διαφορετικοί ηλεκτρολύτες ρέουν μέσω πλαστικού ηλεκτροδίου σε δύο διαφορετικά διαμερίσματα, χωριζόμενα από μια μικροπορώδη μεμβράνη. Κατά την εκφόρτιση, Zn και Br ενώνονται και σχηματίζουν ZnBr, παράγοντας 1,8 V σε κάθε κύτταρο. Κατά τη φόρτιση, μεταλλικός ψευδάργυρος εναποτίθεται ως ένα λεπτό φιλμ στη μεριά του ηλεκτροδίου.

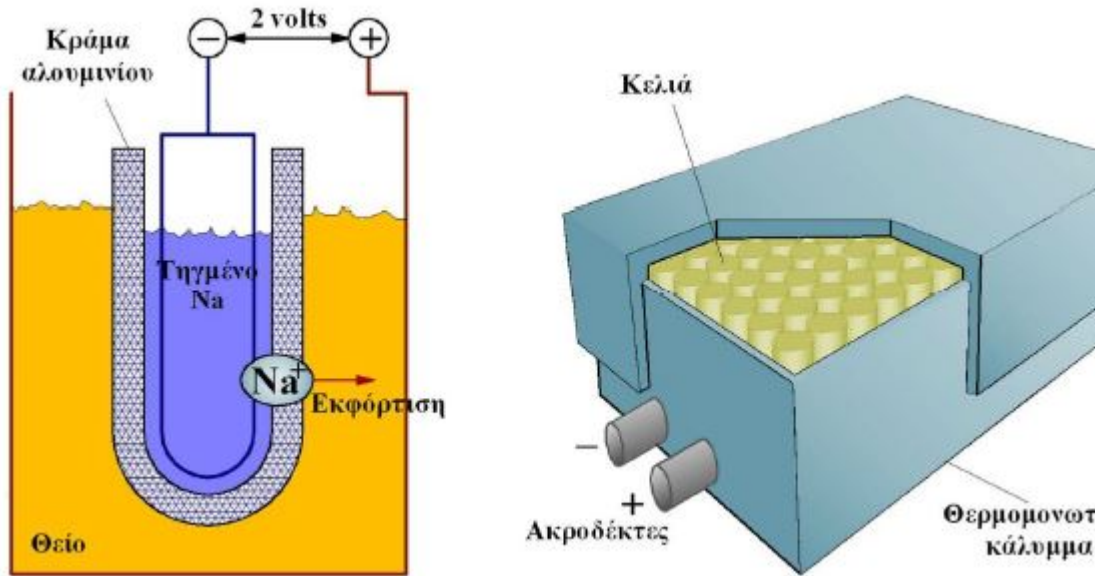
Οι συσσωρευτές αυτοί έχουν βρει εφαρμογές από ερευνητικά κέντρα και εταιρίες από το 1980. Οι δύο κυριότερες εταιρίες είναι οι “Sumitomo Industries” και η “ZBB Energy Corporation”, των οποίων οι εφαρμογές συνοψίζονται παρακάτω (Πίνακας 5.3).

Πίνακας 5.3: Χαρακτηριστικές εγκαταστάσεις συσσωρευτών ροής

Πελάτης	Μέγεθος	Εφαρμογή	Ημερομηνία έναρξης
Institute of Applied Energy	AC 170kW*6h	Σταθεροποίηση εξόδου τουρμπίνας αιολικής ενέργειας	Μάρτιος 2001
Tottori Sanyo Electric	AC 1,5MW*1h	Αποκοπή αιχμών	Απρίλιος 2001
Obayashi Corporation	DC 30kW*8h	Υβριδικό με φ/β κύτταρα	Νοέμβριος 2001
Kwansei Gakuin University	AC 500kW*10h	Αποκοπή αιχμών	Δεκέμβριος 2002
Detroit Edison	AC 400kWh	Αποκοπή αιχμών & σταθεροποίηση φορτίου	Ιούνιος 2001
United Energy Melbourne	AC 200kWh	Επίδειξη αποθήκευσης σε δίκτυο	Απρίλιος 2001
Australian Inland Energy	DC 40kW*8h	Υβριδικό με φ/β κύτταρα	Νοέμβριος 2002
Powerlight Corporation	DC 100kWh	Υβριδικό με φ/β κύτταρα	Απρίλιος 2003
Pacific Gas and Electric Company	2MWh	Μέγιστη χωρητικότητα ισχύος	Οκτώβριος 2005

5.2.6.5 Τεχνολογία θειούχου νατρίου (NaS)

Οι συσσωρευτές θειούχου νατρίου αποτελούνται από τηγμένο θείο στο θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο και τηγμένο νάτριο στο αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, ενώ τα δύο αυτά ηλεκτρόδια διαχωρίζονται από ένα στερεό κεραμικό ηλεκτρολύτη φτιαγμένο από αλουμίνα. Ο ηλεκτρολύτης επιτρέπει μόνο στα θετικά φορτισμένα ιόντα του νατρίου να τον διαπεράσουν και να ενωθούν με το θείο ώστε να σχηματίσουν ενώσεις πολυθεϊκού νατρίου. Κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης, θετικά ιόντα νατρίου περνούν από τον ηλεκτρολύτη και ηλεκτρόνια ρέουν στο εσωτερικό κύκλωμα της μπαταρίας παράγοντας τάση 2V. Η μπαταρία διατηρείται στους 300 οC περίπου ώστε να επιτρέψει αυτή τη διαδικασία.



Εικόνα 5.22: Δομή και λειτουργία ηλεκτροχημικών συσσωρευτών NaS[2]

Οι συσσωρευτές NaS έχουν πολύ μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα, 4,2 φορές κατ' όγκο και 5,8 φορές κατά βάρος, από τους συσσωρευτές μολύβδου οξέος με μικρότερες ανάγκες συντήρησης. Επιπλέον έχουν πολύ μεγάλη απόδοση, κοντά στο 90%, ενώ δεν παρουσιάζουν καθόλου διαρροές. Μειονέκτημα των συσσωρευτών αυτών είναι ότι χρειάζονται πηγή θερμότητας για να επιτύχουν τέτοια θερμοκρασία, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι απώλειες. Η πιο σημαντική εφαρμογή τους αφορά εγκαταστάσεις ενίσχυσης έργου ισχύος σε υποσταθμούς παρέχοντας όμως και τη δυνατότητα κυκλικής λειτουργίας στην Ιαπωνία και στις ΗΠΑ.

5.2.6.6 Τεχνολογία λιθίου-πολυμερούς (Li-Polymer)

Σήμερα τα πλέον επαναφορτιζόμενα στοιχεία λιθίου είναι τα επονομαζόμενα λιθίου-πολυμερούς. Αυτά στην πραγματικότητα είναι στοιχεία «Λιθίου Ιόντων Πολυμερούς», αλλά έτσι έχει επικρατήσει να λέγονται στη διεθνή βιβλιογραφία.

Το στοιχείο του λιθίου ιόντος πολυμερούς, δηλαδή το πορώδες διαχωριστικό φύλλο, έχει αντικατασταθεί από ένα φύλλο συμπαγούς πολυμερούς υλικού που να μην είναι μη αγώγιμο στον ηλεκτρισμό, αλλά επιτρέπει να περάσουν τα ιόντα. Τα ηλεκτρόδιά τους είναι λίθιο στην κάθοδο και γραφίτης (άνθρακας) στην άνοδο. Τα στοιχεία Li-Po έχουν ονομαστική τάση 3,7 V. Η πρακτική περιοχή τάσης είναι από 4,2 V όταν είναι φορτισμένα έως 3 V όταν εκφορτιστούν. Η εξωτερική διαφορά από τα στοιχεία Li-Ion είναι ότι περικλείονται σε μαλακό περίβλημα που λέγεται φάκελος. Αυτό το γεγονός τα κάνει να είναι πολύ ελαφριά συγκριτικά με όλα τα άλλα στοιχεία και αποκλείει τον κίνδυνο έκρηξης, αφού δεν μπορεί να αναπτυχθεί μεγάλη πίεση στο εσωτερικό του στοιχείου, όχι όμως και τον κίνδυνο ανάφλεξης. Η μεγάλη πυκνότητα ισχύος και ενέργειας τα καθιστά εξαιρετική λύση για ηλεκτρική κίνηση. Η λύση όμως δεν είναι ακόμα ικανοποιητική στο οικονομικό μέρος.

5.2.6.7 Σύνοψη εφαρμογών και χαρακτηριστικών των αποθηκευτικών διατάξεων

Στη συνέχεια, Πίνακας 5.4, συνοψίζουμε τα βασικότερα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά δίκτυα.

Πίνακας 5.4: Σύνοψη των τεχνολογιών και των χαρακτηριστικών των συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (BESS)

Τύπος μπαταρίας	Μεγαλύτερη Χωρητικότητα (Εμπορική μονάδα)	Περιοχή & Εφαρμογή	Απόδοση (%)	Κόστος €/kWh	Διάρκεια ζωής (κύκλοι)	Βάθος εκφόρτισης (%)	Θερμοκρασία Λειτουργίας	Ειδική Ενέργεια (Wh/kg)	Αυτοεκφόρτιση (%)/μήνα	Εσχόλια
Μολύβδου οξέος (flooded type)	10MW/40MWh	California-Chino/Εξομάλυνση φορτίου	72-78	50-150	1000-1200	70	(-5 με 40)	25	2 με 5	Συνεχής συντήρηση για πλήρωση νερού, μεγάλο βάρος, τοξικός ηλεκτρολύτης
Μολύβδου οξέος (ρυθμιζόμενη από βαλβίδα)	300kW/580kWh	Turn Key System/Εξομάλυνση φορτίου	72-78	50-150	200-300	80	(-5 με 40)	30-50	2 με 5	Λιγότερο στιβαρή, αμελητέα συντήρηση, πιο φορητή, ασφαλής
Νικελίου Καδμίου (NiCd)	27MW/6,75MWh	GVEA Alaska Control power supply/Αντιστάθμιση ισχύος	72-78	200-600	3000	100	(-40 με 50)	45-80	5 με 20	Μεγάλος ρυθμός αυτό-εκφόρτισης, τα κύτταρα NiCd είναι δηλητηριώδη και βαριά
Θειούχου νατρίου (NaS)	9,6MW/64MWh	Tokyo Japan/Εξομάλυνση φορτίου	89	200-300	2500	100	325	100	OXI	Καθόλου αυτό-εκφόρτιση, χρειάζεται εξωτερική πηγή θερμότητας, για 30s 6 φορές μεγαλύτερη ισχύ
Ιόντων λιθίου (Li-Ion)	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ	100	700-1000	3000	80	(-30 με 60)	90-190	1	Μεγάλο κόστος εξαιτίας ειδικού πακεταρίσματος και εσωτερικής προστασίας από υπέρταση
Ροής VRB	1,5MW/1,5MWh	Japan Voltage Sag/Αποκοπή φορτίου αιχμής	85	360-1000	10000	75	0-40	30-50	OXI	Αμελητέα αυτό-εκφόρτιση
Ροής ZnBr	1MW/4MWh	Kyushuu EPC	75	360-1000	10000	70	0-40	70	OXI	Αμελητέα αυτό-εκφόρτιση, μικρή ισχύς, ογκώδης, επικίνδυνα υλικά
Μετάλλου αέρα (Metal air)	Μικρή		50	50-200	100	50	(-20 με 40)	450-650	OXI	Αμελητέα αυτό-εκφόρτιση, η επαναφόρτιση είναι πολύ δύσκολη και όχι αποδοτική, συμπαγής

5.3 Σύνοψη εφαρμογών και χαρακτηριστικών των αποθηκευτικών διατάξεων

Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού παραθέτουμε στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα (Πίνακας 5.5), όπου συνοψίζονται οι εφαρμογές και τα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα των αποθηκευτικών διατάξεων ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα αξιολογείται και η ικανότητά τους σε εφαρμογές ενέργειας και ισχύος.

Πίνακας 5.5: Σύνοψη εφαρμογών και πλεονεκτημάτων-μειονεκτημάτων αποθηκευτικών διατάξεων ηλεκτρικής ενέργειας

Αποθηκευτική Διάταξη	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Εφαρμογές ισχύος	Εφαρμογές ενέργειας	Συνήθης εφαρμογή
Μπαταρίες ροής (flow): PSB, VRB, ZnBr	Υψηλή χωρητικότητα, ανεξάρτητη εκτίμηση ισχύος και ενέργειας	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας	++	+++	Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών
Μολύβδου οξέος (ρυθμιζόμενη από βαλβίδα)	Χαμηλό αρχικό κόστος	Περιορισμένος κύκλος ζωής σε βαθιά εκφόρτιση	+++	-	Εξομάλυνση αιχμών
Νικελίου Καδμίου (NiCd)	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, απόδοση	Επικίνδυνα υλικά	+++	++	Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών-λεπτών
Θειούχου Νατρίου (NaS)	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, υψηλή απόδοση	Κόστος παραγωγής, χρήση εξωτερικής πηγής θερμότητας, μέτρα ασφαλείας (λόγω σχεδιασμού)	+++	+++	Εξομάλυνση ζήτησης λίγων ωρών-λεπτών
Ιόντων Λιθίου (Li-Ion)	Υψηλή πυκνότητα ενέργειας και ισχύος, υψηλή απόδοση	Υψηλό κόστος παραγωγής (λόγω σχεδιασμού), απαιτεί ειδικό κύκλωμα φόρτισης	+++	-	Κινητή τηλεφωνία, Υποσταθμοί ενέργειας
Σφόνδυλοι (flywheels)	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας	+++	-	Εξομάλυνση ισχύος για λίγα λεπτά
SMES (Υπεραγωγική μαγνητική αποθήκευση)	Υψηλή ισχύς	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας, υψηλό κόστος παραγωγής	+++	--	Εφαρμογές ποιότητας ισχύος, διανομή
E.C Capacitors (Υπερπυκνωτές)	Μεγάλος κύκλος ζωής, υψηλή απόδοση	Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας	+++	++	Εφαρμογές ποιότητας ισχύος, διανομή
Αντλησιοταμίευση	Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία	--	+++	Εξομάλυνση ζήτησης σε μεγάλα χρονικά διαστήματα
Αποθήκευση Συμπιεσμένου Αέρα	Υψηλή χωρητικότητα, χαμηλό κόστος	Απαιτεί ειδική τοποθεσία για τις χρησιμοποιούμενες κοιλότητες	--	+++	Εξομάλυνση ζήτησης σε μεγάλα χρονικά διαστήματα

6 Έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα (Smart Grids)

6.1 Εισαγωγή

Η αξιόπιστη και αποδοτική παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι θεμελιώδης προϋπόθεση για την βιώσιμη ανάπτυξη και την ευημερία των κοινωνιών ανά τον κόσμο. Επομένως το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ή πιο συγκεκριμένα το ηλεκτρικό δίκτυο κάθε χώρας αποτελεί το πιο καίριο σύστημα υποδομών, καθώς οποιαδήποτε διαταραχή, που μπορεί να προκαλέσει την κατάρρευση της συνεχόμενης λειτουργίας του, ισοδυναμεί με σημαντική παράλυση ολόκληρης της χώρας, κάνοντας προφανή την εξάρτηση των σύγχρονων κοινωνιών από την αδιάλειπτη προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυξανόμενες ανησυχίες διατυπώνονται ως προς τις δυνατότητες εξασφάλισης προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας, με τους τρόπους που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα, καθώς διάφορα αναδυόμενα προβλήματα του 21ου αιώνα αμφισβητούν την βιωσιμότητα αυτών των μεθόδων. Ορισμένα από τα προβλήματα αυτά έχουν σχέση, με την απαίτηση της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, με την αυξανόμενη εισαγωγή ΑΠΕ στο δίκτυο, με την μείωση της διαθεσιμότητας των πρωτογενών ενεργειακών πόρων (ορυκτά καύσιμα), την παλαιότητα των υποδομών των ηλεκτρικών δικτύων και αποτελούν πρόκληση στην μέχρι τώρα αξιοπιστία, ασφάλεια και ποιότητα της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, μία σημαντική αναβάθμιση του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου διαφαίνεται πώς είναι απαραίτητη, προκειμένου να μπορέσει να ανταποκριθεί στις απαιτητικές σύγχρονες ανάγκες και στα αναδυόμενα προβλήματα.

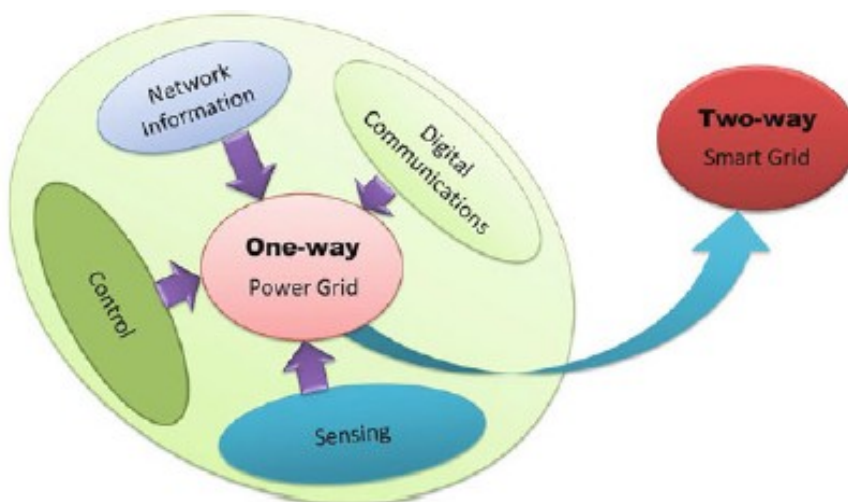
Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί το βέλτιστο μέσο για την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που είναι διαθέσιμες, όπως η αιολική, η ηλιακή, τα βιοκαύσιμα και η υδροηλεκτρική. Κατ'επέκταση, το ηλεκτρικό δίκτυο είναι εκείνο που θα πρέπει να ενσωματώσει τον κύριο όγκο της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, παράδειγμα μέχρι στιγμής ο στόχος που έχει τεθεί για διείσδυση ΑΠΕ είναι, σε ποσοστό πάνω από 30% μέχρι στο 2020, στην περίπτωση της ευρωπαϊκής ένωσης[1]. Η απαίτηση όμως για περαιτέρω ενσωμάτωση διανεμημένων πηγών ενέργειας στο δίκτυο, σε όλα τα επίπεδα τάσης, με έμφαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μη-εγγυημένης παραγωγής είναι μία πρόκληση που το “παραδοσιακό” δίκτυο δεν μπορεί να αντιμετωπίσει, έτσι απαιτούνται καινοτόμες λύσεις, εισαγωγή νέων τεχνολογιών και νέες αρχιτεκτονικές δικτύων, που θα το κάνουν εφικτό.

Το μέλλον των ηλεκτρικών δικτύων, λοιπόν, πρέπει να μπορεί να συμβαδίζει με τις αλλαγές στην τεχνολογία, στην οικονομία και στις πολιτικές για το περιβάλλον. Ειδικότερα, έννοιες που αφορούν το σύστημα, όπως προστασία συστήματος, ασφάλεια λειτουργίας, περιβαλλοντική προστασία, ποιότητα ισχύος, κόστος προμήθειας και ενεργειακή απόδοση πρέπει να επανεξεταστούν, σε απόκριση πάντα με τις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις σε ένα περιβάλλον ελεύθερης αγοράς. Οι νέες τεχνολογίες που θα ενσωματώνονται πρέπει να είναι αξιόπιστες, βιώσιμες και οικονομικά ανταγωνιστικές. Επομένως, η ιδέα των έξυπνων δικτύων (Smart Grids) αναφέρεται στην εξέλιξη των ηλεκτρικών δικτύων. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Τεχνολογική Πλατφόρμα για τα έξυπνα δίκτυα (European Technology Platform of Smart Grids), “ένα έξυπνο δίκτυο είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο, που μπορεί ευφυώς να ενσωματώσει τις ενέργειες όλων των χρηστών που είναι συνδεδεμένοι σε αυτό, όπως τους παραγωγούς, τους καταναλωτές, καθώς και εκείνους που παίζουν και τους δύο ρόλους, προκειμένου προσφέρει μία αποδοτική, οικονομική και ασφαλή προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας. Για να γίνει αυτό εφικτό, ένα έξυπνο δίκτυο χρησιμοποιεί καινοτόμα προϊόντα και υπηρεσίες σε συνδυασμό με συστήματα ευφυούς ελέγχου, επιτήρησης, επικοινωνιών και τεχνολογίες αυτοΐασης.”[2]

Αξίζει να σημειωθεί πως τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας ήταν από καιρό “έξυπνα”, τόσο στο επίπεδο της μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και ως προς τους σταθμούς παραγωγής, περιέχοντας σωρεία συστημάτων επιτήρησης και ελέγχου, προκειμένου να εξασφαλίζεται η ασφαλή λειτουργία και η βέλτιστη δυνατή επίδοση τους. Το επίπεδο της διανομής, εντούτοις, είναι εκείνο το οποίο βιώνει μια εξέλιξη, η οποία απαιτεί ενσωμάτωση περισσότερης “έξυπνάδας”, προκειμένου να

- διευκολυνθεί σε μεγαλύτερο ποσοστό η διείσδυση διεσπαρμένων πηγών ενέργειας (Distributed Energy Resources – DER), κυρίως των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), είτε από αυτόνομους ιδιώτες είτε από διαχειριστές του συστήματος,
- πραγματοποιήσει την δυνατότητα διαχείρισης της τοπικής ζήτησης (demand side integration-DSI), αλληλεπιδρώντας με τους καταναλωτές μέσω συστημάτων “έξυπνων μετρητών”, προκειμένου τροποποιείται η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να μπορεί να ταυτίζεται στην παραγωγή.
- να επωφεληθεί από τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται ήδη στα συστήματα μεταφοράς, όπως τις τεχνικές δυναμικού ελέγχου, ώστε να αυξηθεί στο σύστημα η ολική ασφάλεια, η ποιότητα και η αξιοπιστία της παρεχόμενης ισχύος.[3]

Συνοψίζοντας, τα συστήματα διανομής σταδιακά μετασηματίζονται από παθητικά σε ενεργητικά δίκτυα, με την έννοια ότι η λήψη αποφάσεων και ο έλεγχος πραγματοποιείται και από την μεριά του καταναλωτή ή τον καταναλωτή-παραγωγό (αποκέντρωση) όχι μόνο από έναν μεγάλο παραγωγό ή τον πάροχο του δικτύου, και η ροή ισχύος γίνεται αμφίδρομα μεταξύ των διαφόρων μερών του συστήματος. Αυτός ο τύπος δικτύωσης διευκολύνει την ενσωμάτωση των διανεμημένων πηγών ενέργειας, δηλαδή των διασπαρμένων πηγών ενέργειας (Distributed Generation - DG) -ειδικότερα των ΑΠΕ-, την Διαχείριση Ζήτησης (demand side management-DSM) και τις τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας. Στόχος είναι να δημιουργηθούν ευκαιρίες για την εισαγωγή καινούργιου τύπου εξοπλισμών και υπηρεσιών, όπου όλα αυτά θα πρέπει να συμμορφώνονται σε κοινά πρότυπα και πρωτόκολλα. Η κύρια λειτουργία ενός ενεργητικού δικτύου είναι η αποδοτική ταύτιση της παραγόμενης ισχύος με την ζήτηση ισχύος των καταναλωτών, δίνοντας την δυνατότητα και στα δύο μέρη να αποφασίσουν, σε πραγματικό χρόνο, τον βέλτιστο τρόπο με τον οποίο θα λειτουργήσουν. Η εκτίμηση της ροής ισχύος, ο έλεγχος της τάσης και ενεργητική προστασία του συστήματος απαιτούν οικονομικά ανταγωνιστικές τεχνολογίες, με τα συστήματα τηλεπικοινωνιών που μεταδίδουν πληροφορίες μεταξύ των μερών του συστήματος, να παίζουν καθοριστικό ρόλο.

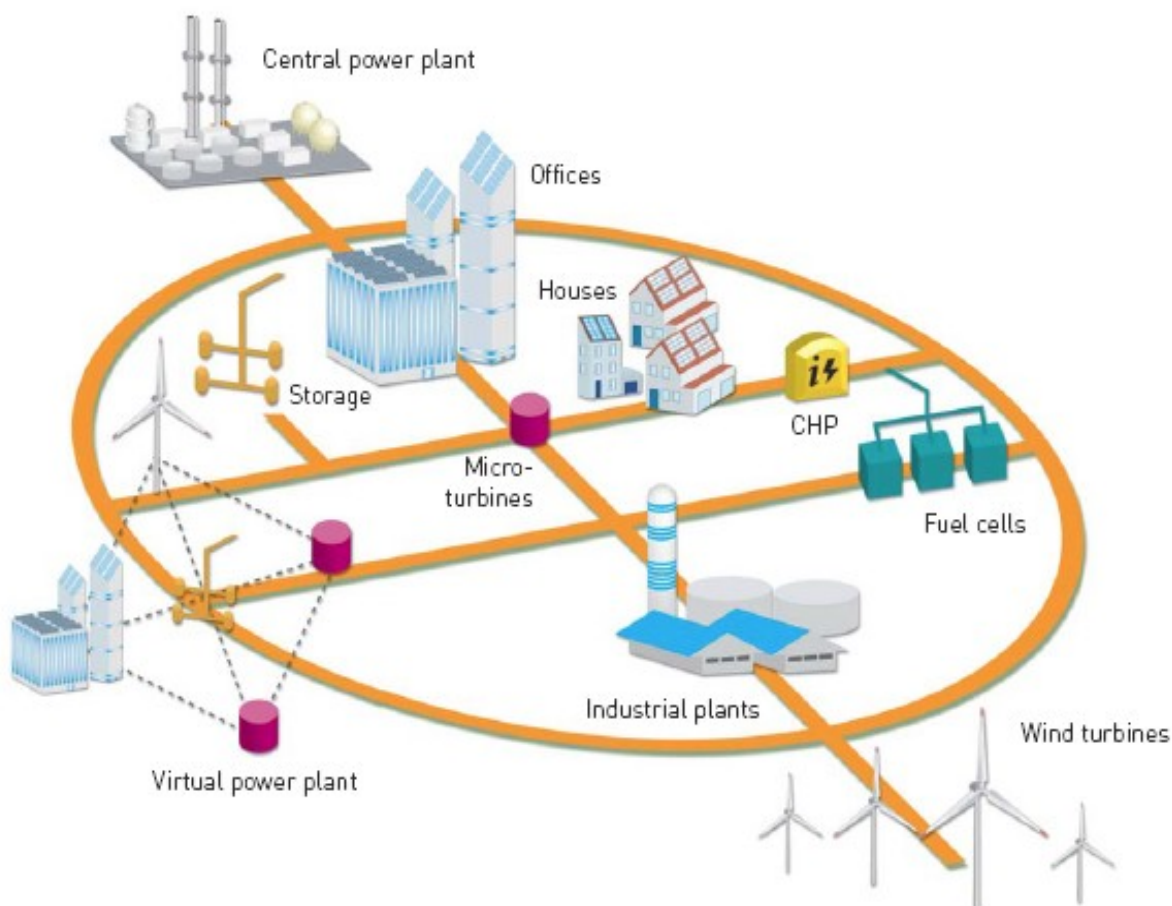


Εικόνα 6.1:Εξέλιξη του έξυπνου δικτύου σε έξυπνο δίκτυο αμφίδρομης ισχύος και με δυνατότητες ανταλλαγής πληροφοριών[4]

6.2 Τα στοιχεία υλοποίησης ενός έξυπνου δικτύου

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του μέλλοντος θα συνεχίσει να παράγεται από μεγάλους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής, αλλά και από υψηλό ποσοστό διανεμημένων πηγών ενέργειας. Και οι δύο πηγές μπορούν να αποτελούνται και από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες μπορεί να είναι μη-εγγυημένης παραγωγής, παράδειγμα οι ανεμογεννήτριες που μπορεί να υπάρχουν σαν μονάδες μικρής κλίμακας ως διασπαρμένες πηγές αλλά και ως μονάδες μεγάλης κλίμακας ως αιολικά πάρκα. Όπως καλύψαμε στο δεύτερο κεφάλαιο οι διανεμημένες πηγές προσφέρουν μικρή ισχύ στο δίκτυο, έτσι οι μεγάλης κλίμακας σταθμοί αντισταθμίζουν αυτήν τους την αδυναμία, όμως η θέση τους στο δίκτυο διανομής έχει το πλεονέκτημα ότι ελαχιστοποιούνται οι απώλειες μεταφοράς της ισχύος, εξαιτίας της μικρότερης απόστασης της παραγωγής από την κατανάλωση.

Στην τελική τους μορφή, τα έξυπνα δίκτυα, Εικόνα 6.3, θα συνδυάζουν αποδοτικότερες υπάρχουσες τεχνολογίες με νέες πρωτοποριακές λύσεις διαχείρισης και ελέγχου. Τα μελλοντικά δίκτυα θα βασίζονται στις υπάρχοντες υποδομές δικτύων, αλλά θα ενσωματώνουν νέες μεθόδους διαχείρισης και ελέγχου συστημάτων, όπως τα Μικροδίκτυα (microgrids), τις Εικονικές Μονάδες Παραγωγής (Virtual Power Plants-VPP), τα Ευρείας περιοχής κέντρα ελέγχου (Wide Area Monitoring and Protection) και την Διαχείριση Ζήτησης, Εικόνα 6.2. Οι μονάδες κεντρικής παραγωγής θα συνεχίζουν να παίζουν σημαντικό ρόλο, όμως θα συμμετέχουν πολύ περισσότεροι φορείς στην διαδικασία της παραγωγής, της μεταφοράς, της διανομής και της λειτουργίας του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων και των καταναλωτών.



Εικόνα 6.2: Η λειτουργία του έξυπνου δικτύου θα διαμοιράζεται μεταξύ κεντρικής και διανεμημένης παραγωγής, με νέες μεθόδους διαχείρισης των εγκατεστημένων συστημάτων. [2]

Βάση της Ευρωπαϊκής Τεχνολογικής Πλατφόρμας για τα έξυπνα δίκτυα[2], τα βασικά στοιχεία υλοποίησης του έξυπνου δικτύου συνοψίζονται στα εξής[1]:

- Δημιουργία μιας εργαλειοθήκης από δοκιμασμένες τεχνικές λύσεις που να μπορούν να ενσωματώνονται γρήγορα και οικονομικά, επιτρέποντας στα υπάρχοντα ηλεκτρικά δίκτυα, ώστε να δέχονται εγχύσεις ισχύος από τις διανεμημένες πηγές ενέργειας χωρίς να παραβιάζονται κρίσιμα όρια λειτουργίας του δικτύου, όπως έλεγχος τάσης, οι διακοπτικές ικανότητες των ασφαλειών του συστήματος και η χωρητικότητα ισχύος των γραμμών.
- Εγκαθίδρυση δυνατοτήτων διασύνδεσης που θα επιτρέπουν σε νέα προϊόντα εξοπλισμού δικτύου και συστήματα αυτομάτου ελέγχου να λειτουργούν σε συνεργασία με τα υπάρχοντα συστήματα στο παραδοσιακό δίκτυο.
- Καθιέρωση κοινών τεχνικών προτύπων και πρωτόκολλων που θα διασφαλίζουν ανοικτή πρόσβαση, ώστε να καταστεί δυνατή η εγκατάσταση εξοπλισμού από οποιονδήποτε επιλεγμένο κατασκευαστή χωρίς την ανησυχία παγίδευσης σε συγκεκριμένα ιδιόκτητα τεχνικά χαρακτηριστικά ή πρωτόκολλα. Αυτό ισχύει για εξοπλισμό ηλεκτρικού δικτύου, συστήματα μετρήσεων και συστήματα ελέγχου/αυτοματισμών.
- Ανάπτυξη πληροφοριακών, υπολογιστικών και τηλεπικοινωνιακών συστημάτων που επιτρέπουν σε επιχειρήσεις να παρέχουν καινοτόμες υπηρεσίες που θα βελτιώνουν την αποδοτικότητα τους και θα παρέχουν στον καταναλωτή αναβαθμισμένη υποστήριξη.
- Εξασφάλιση εναρμόνισης των κανονιστικών και εμπορικών πλαισίων στην Ευρώπη προκειμένου να διευκολυνθεί η διασυνοριακή ανταλλαγή ηλεκτρικής ισχύος και υπηρεσιών δικτύου, καθώς και η αντιμετώπιση μεγάλης γκάμας λειτουργικών απαιτήσεων.

Προφανώς, η ανάπτυξη αυτής της εργαλειοθήκης, προϋποθέτει την συνδρομή των υπόλοιπων στοιχείων που περιγράφηκαν παραπάνω. Η εργαλειοθήκη προβάλλει, όμως, την σφαιρική εικόνα των καινοτόμων λύσεων που απαιτείται να μπου σε πρώτη προτεραιότητα, για την υλοποίηση ενός έξυπνου δικτύου.

Αξίζει να σημειωθεί πως αρκετά πιλοτικά προγράμματα εφαρμογής έξυπνων δικτύων έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια. Τα ταχύτατα αναπτυσσόμενα σενάρια των έξυπνων δικτύων με διανεμημένη παραγωγή και μέσα αποθήκευσης και με δυνατότητα αμφίδρομης ροή ισχύος, προσπαθούν να αντιμετωπίσουν διάφορες προκλήσεις υλοποίησης, με την βοήθεια ανεπτυγμένων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων προκειμένου να πετύχουν στόχους γρηγορότερης απόκρισης, καλύτερης ασφάλειας, μικρότερων απωλειών ισχύος μεταφοράς ενέργειας και άλλα. Η κατανόηση αυτών προκλήσεων και η ικανοποιητική επίλυση τους είναι προαπαιτούμενο για τον περίπλοκο έλεγχο και την διαχείριση εφαρμογών στο έξυπνο δίκτυο.



Εικόνα 6.3: Απεικόνιση μελλοντικού έξυπνου δικτύου[2]- Στο σχήμα εικονίζονται: 1) Μεγάλο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο. 2) Αιολικό Πάρκο. 3) Μικρό υδροηλεκτρικό. 4) Συγκεντρωτικός ηλιακός συλλέκτης. 5) Καύση βιομάζας. 6) Παράκτιο αιολικό πάρκο. 7) Συμβατική μονάδα με χαμηλές εκπομπές CO₂. 8) Γραμμή μεταφοράς υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος. 9) Κέντρο ελέγχου δικτύου. 10) Μικρο-δίκτυο 11) Κυματογεννήτριες 12) Οικιακά φωτοβολταϊκά. 13) Υπόγεια γραμμή μεταφοράς. 14) Ηλιακοί συλλέκτες θερμότητας. 15) Σταθμός ανεφοδιασμού υδρογόνου 16) Μπαταρίες 17) Αποθήκευση θερμότητας. 18) Αποθήκευση ΗΕ με Υπεραγώγιμα πηνία. 19) Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού Θερμότητας 20) Κυψέλες υδρογόνου 21) Διαχείριση ζήτησης καταναλωτών.

6.3 Προτεινόμενα μοντέλα έξυπνου δικτύου

Τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες του έξυπνου δικτύου, που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους του κεφαλαίου μπορούν να περιγραφούν με διάφορα μοντέλα. Δύο προσεγγίσεις μοντελοποίησης περιγράφονται σε αυτό το κεφάλαιο. Η μία αποτελεί μία επικάλυψη μεταξύ του ηλεκτρικού δικτύου και των συστημάτων επικοινωνιών. Σε αυτή τη προσέγγιση χρησιμοποιείται η λογική των ιεραρχικών επικοινωνιακών δικτύων, προκειμένου να επιτραπεί η αμφίροπη επικοινωνία και ισχύς μεταξύ των προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας, των καταναλωτών και των λοιπών εμπλεκόμενων. Οι τεχνολογίες των έξυπνων μετρητών (smart meters) και των ανεπτυγμένων συστημάτων μετρήσεων (Advanced Metering Infrastructure-AMI) αποτελούν τον πυρήνα αυτής της κατεύθυνσης [4]. Στην δεύτερη προσέγγιση, τα μικροδίκτυα (microgrids), αποτελούν τα δομικά στοιχεία του έξυπνου δικτύου. Αυτή η κατεύθυνση τείνει σε μια λογική αποκέντρωσης και βασίζεται σε περισσότερη αυτονομία των συστημάτων διανομής, κατά συνέπεια τα δίκτυα επικοινωνιών να εμπεριέχονται σε μεγάλο βαθμό εντός του μικροδικτύου. Τέλος η μία προσέγγιση δεν αναιρεί την άλλη, επομένως ανάλογα με τις ανάγκες μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε η μία ή η άλλη είτε κάποια πιθανή μίξη.

6.3.1 Μοντέλο έξυπνου δικτύου με ιεραρχικά δίκτυα επικοινωνιών

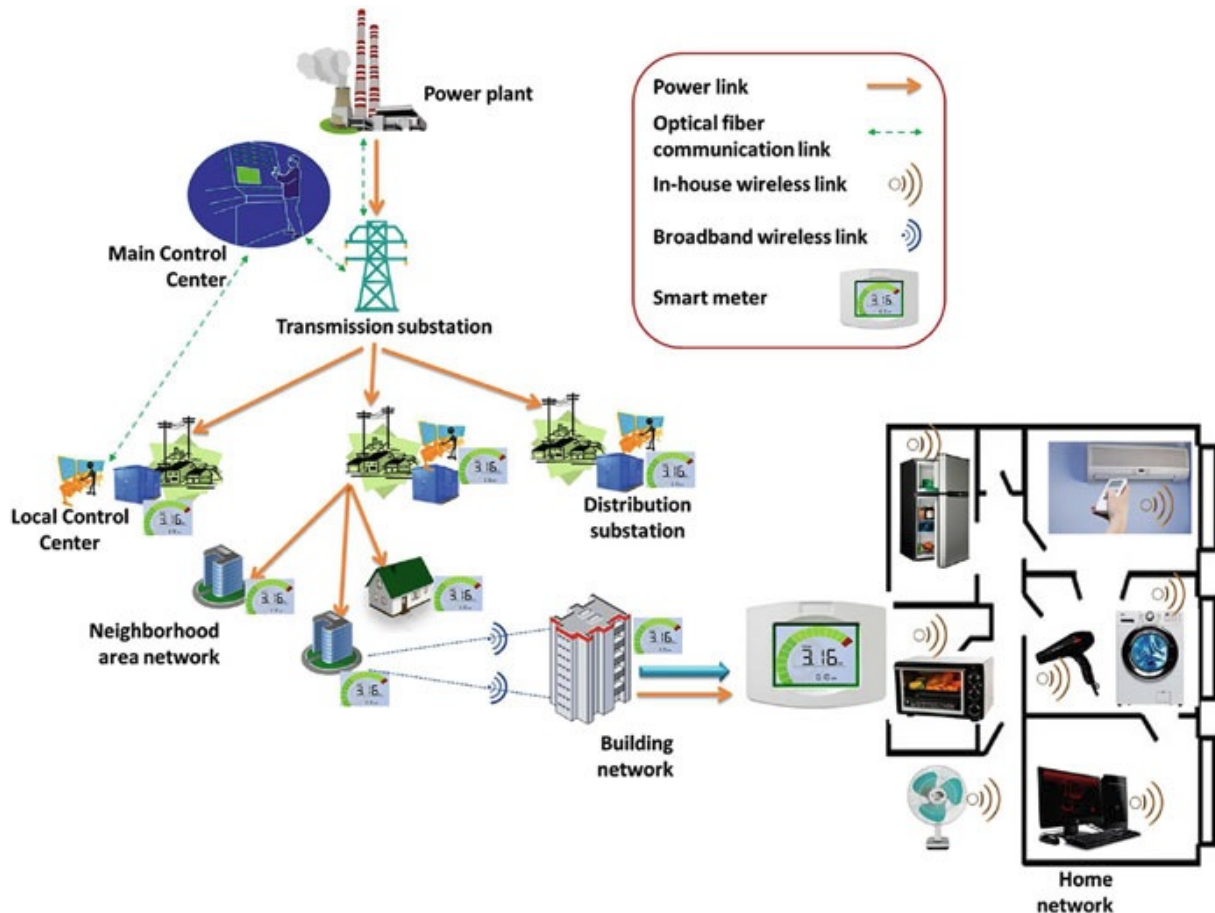
Στην Εικόνα 6.4 βλέπουμε την δομή έξυπνου δικτύου με την προσέγγιση των ιεραρχικών επικοινωνιακών δικτύων. Βλέπουμε ότι το σύστημα μεταφοράς και διανομής, παραμένει όπως είναι. Τα συστήματα πληροφοριών του έξυπνου δικτύου διαιρούνται σε έναν αριθμό ιεραρχικών δικτύων, ώστε οι σταθμοί μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και οι σταθμοί διανομής να συνδέονται μεταξύ τους, δίπλα στους οποίους πιθανότατα θα υπάρχουν και τα αντίστοιχα κέντρα ελέγχου, των πληροφοριών που αφορούν το ηλεκτρικό δίκτυο. Η φυσική διασύνδεση που συνδέει κέντρα ελέγχου, πραγματοποιείται με οπτικές ίνες μεγάλης ταχύτητας, ώστε να υποστηρίζεται μεγάλη χωρητικότητα κυκλοφορίας δεδομένων με την μικρότερη δυνατή καθυστέρηση.

Από την πλευρά των κέντρων ελέγχου, κυρίως αυτών στα συστήματα διανομής, παρατηρούμε άλλα ιεραρχικά δίκτυα διαιρεμένα σε κατηγορίες, όπως Δίκτυα Γειτονιάς (neighborhood area networks-NANs), Δίκτυα κτιρίων (building area networks -BANs) και οικιακά δίκτυα (home area networks -HANs). Δηλαδή, κάθε υποσταθμός διανομής καλύπτει μια γειτονιά, όπου έχει τοποθετηθεί ένα NAN. Κάθε NAN έχει ένα αριθμό BANs ή και κάποια HANs στην περίπτωση μονοκατοικιών. Και κάθε BAN έχει πολλαπλά HANs (ένα για κάθε διαμέρισμα). Οι έξυπνοι μετρητές είναι οι κύριες συσκευές αυτής της αρχιτεκτονικής δομής, λειτουργώντας ως μονάδες καταγραφής κατανάλωσης και επικοινωνίας (dual-gateway -GW), ανταλλάσσοντας δεδομένα με τον εκάστοτε προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας, ενημερώνοντας ταυτόχρονα και τους πελάτες για την κατανάλωση τους. Συνοψίζοντας, από το πού είναι συνδεδεμένοι οι έξυπνοι μετρητές, χαρακτηρίζονται ως NAN GWs, BAN GWs, και HAN Gws, χωρίς να είναι απαραίτητο να έχουν τα ίδια τεχνικά χαρακτηριστικά, αφού δεν θα διαχειρίζονται την ίδια ποσότητα δεδομένων. Συνοψίζοντας την παραπάνω οπτική βλέπουμε πως το έξυπνο δίκτυο αποτελεί την μίξη του φυσικού ηλεκτρικού συστήματος με το δικό του κυβερνοχώρο, προκειμένου να υπάρχει επιτήρηση και δυνατότητα ελέγχου του ηλεκτρικού δικτύου σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Έτσι αποφάσεις για την ασφαλή και οικονομική λειτουργία του να μπορούν να λαμβάνονται στιγμιαία.

Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας εδώ αποτελείται από την χονδρική αγορά παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος και περιλαμβάνει τους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής (πυρηνικούς, άνθρακα/λιγνίτη, μεγάλα υδροηλεκτρικά κτλ) που παράγουν την πρωτογενή ισχύ (παραγωγή βάσης) και τους σταθμούς παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, μπαταρίες κτλ) που παράγουν την δευτερογενή ισχύ. Αυτή η χονδρική αγορά δεν προμηθεύει με ηλεκτρική ισχύ απευθείας τον τελικό καταναλωτή, αλλά αγοράζεται από κάποιον “έμπορο λιανικής”, που συνήθως διαχειρίζεται συγκεκριμένες περιοχές και εκείνος είναι υπεύθυνος για την επαρκή παροχή ηλεκτρικής ισχύος στους καταναλωτές της περιοχής, που εξυπηρετεί κατά την διάρκεια της μέρας. Ο έμπορος λιανικής βασισμένος στις προγνώσεις του για την ζήτηση ισχύος για

την επόμενη ημέρα στην περιοχή του, αγοράζει ενέργεια από έναν ή πολλούς παραγωγούς χονδρικής και την μεταπωλεί στους δικούς του καταναλωτές. Στην πράξη με την αγορά αυτή ενημερώνει τους παραγωγούς για την ισχύ που χρειάζεται κατά την διάρκεια της ημέρας. Κάθε έμπορος λιανικής έχει ένα κέντρο ελέγχου στο επίπεδο της διανομής, όπως στην Εικόνα 6.4. Το κέντρο ελέγχου ελέγχει την αυθεντικότητα των χρηστών του, πραγματοποιεί χρεώσεις, συγκεντρώνει δεδομένα, και μπορεί να ελέγχει κάποια φορτία των καταναλωτών, μέσω της επικοινωνίας του με τους έξυπνους μετρητές των πελατών.

Έτσι, ο στόχος του εμπόρου λιανικής είναι να αγοράζει(ή αλλιώς να δεσμεύει) τόση ισχύ κατά την διάρκειά της μέρας, όση η επικείμενη ζήτηση για την περιοχή του. Αν αγοράσει μια ισχύ που καλύπτει τους πελάτες του μέσα στην ημέρα τότε το κέντρο ελέγχου δεν χρειάζεται να κάνει κάποια ενέργεια. Αν όμως κατά την διάρκεια των ωρών χαμηλής ζήτησης ο έμπορος λιανικής δει πως η ισχύ που έχει αγοράσει υπερβαίνει κατά πολύ την ζήτηση, τότε σημαίνει πως η ενέργεια που αγόρασε πάει χαμένη, οπότε έχει οικονομική ζημιά. Αν όμως η ισχύς που αγόρασε δεν επαρκεί να καλύψει την ζήτηση, συνήθως κατά την περίοδο μέγιστης ζήτησης, τότε θα αναγκαστεί να αγοράσει εκείνη την ώρα έξτρα ισχύ σε υψηλότερο όμως κόστος .Αν αυτό συμβεί σε πολλούς εμπόρους λιανικής τότε μπορεί η πρωτόγεννης μονάδα παραγωγής να έχει εξαντλήσει την χωρητικότητά της, και έτσι να είναι αδύνατο να τους εξυπηρετήσει. Ύστερα θα έπρεπε να αγοράζει ο ένας περίσσευμα κάποιου άλλου, σε ακόμα υψηλότερη τιμή. Η ύπαρξη όμως διανεμημένων τοπικών πηγών θα διευκόλυνε την αγορά έξτρα ισχύος από αυτές οπότε χρειάζεται.



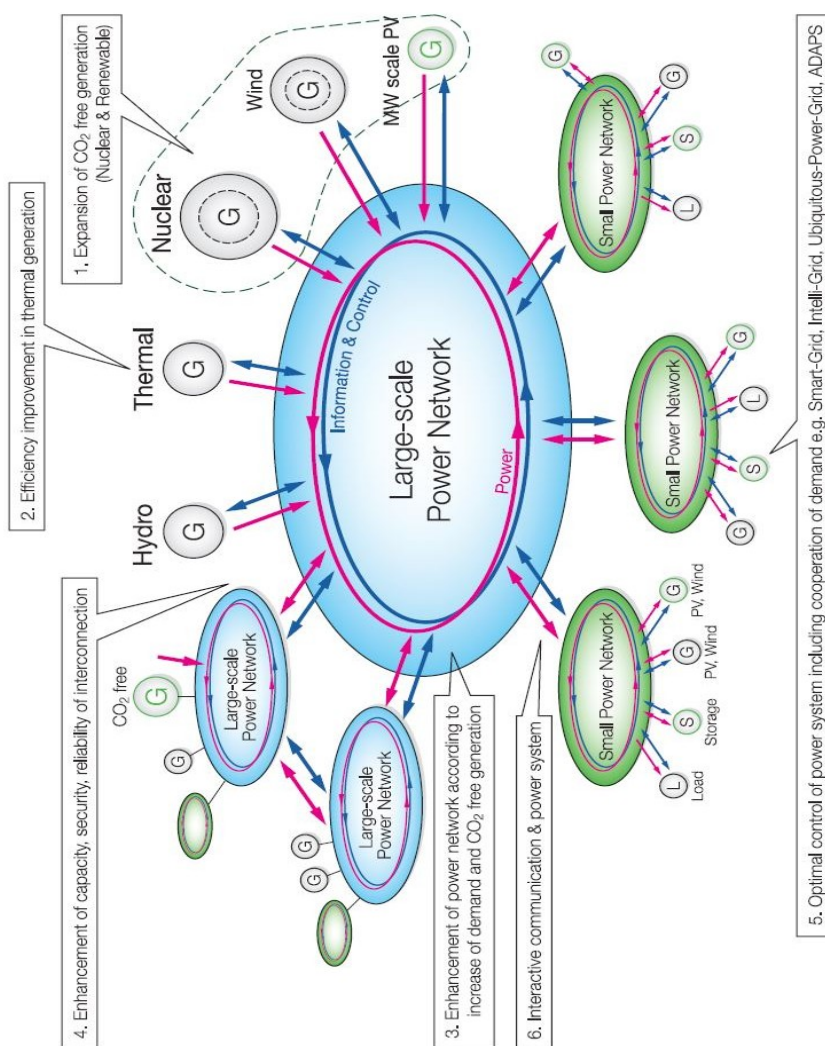
Εικόνα 6.4: Δομή έξυπνου δικτύου με την προσέγγιση των ιεραρχικών επικοινωνιακών δικτύων[4].

6.3.2 Μοντέλο έξυπνου δικτύου με Μικροδίκτυα

Σε αυτό το μοντέλο ακολουθείται παρόμοια λογική αλλά δίνεται έμφαση σε μεγαλύτερη αυτονομία των τοπικών συστημάτων διανομής, τα οποία ομαδοποιούνται στα λεγόμενα μικροδίκτυα, Εικόνα 6.5 (πράσινα χρωματισμένα δίκτυα). Τα μικροδίκτυα μπορούν να τροφοδοτούνται από το κυρίως δίκτυο αλλά έχουν και τις δικές τους τοπικές διανεμημένες πηγές ενέργειας. Επομένως όταν είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο, μπορούν με τον κατάλληλο συνδυασμό πηγών να εξυπηρετούν τις ανάγκες τους σε ισχύ είτε από το δίκτυο είτε από τις πηγές που έχουν εγκατεστημένες εντός του μικροδικτύου, επίσης σε περίπτωση πλεονάσματος των τοπικών πηγών τους ή άλλων οικονομικών κινήτρων μπορούν να προσφέρουν ισχύ στο δίκτυο. Επίσης σε περίπτωση αποσύνδεσης από το κύριο δίκτυο μπορούν να παρέχουν ισχύ στους καταναλωτές που εξυπηρετούν χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τις τοπικές πηγές τους, τουλάχιστον μέχρι την επαναφορά της σύνδεσης με το κυρίως δίκτυο, χαρακτηριστικό εξαιρετικά χρήσιμο που παρουσιάζει ετοιμότητα μετά από κάποια καταστροφή και δίνει ζωτικό χρόνο για την αποκατάσταση των ζημιών, χωρίς κρίσιμη διατάραξη της κοινωνικής ζωής.

Το αν θα χρησιμοποιείται κυρίως το δίκτυο για την κάλυψη των αναγκών ζήτησης, και οι τοπικές πηγές σαν συμπλήρωμα ή το αντίστροφο και το αν θα πωλείται ισχύς στο ευρύτερο δίκτυο, εξαρτάται από τις δυνατότητες και τις Πολιτικές Διαχείρισης του μικροδικτύου.

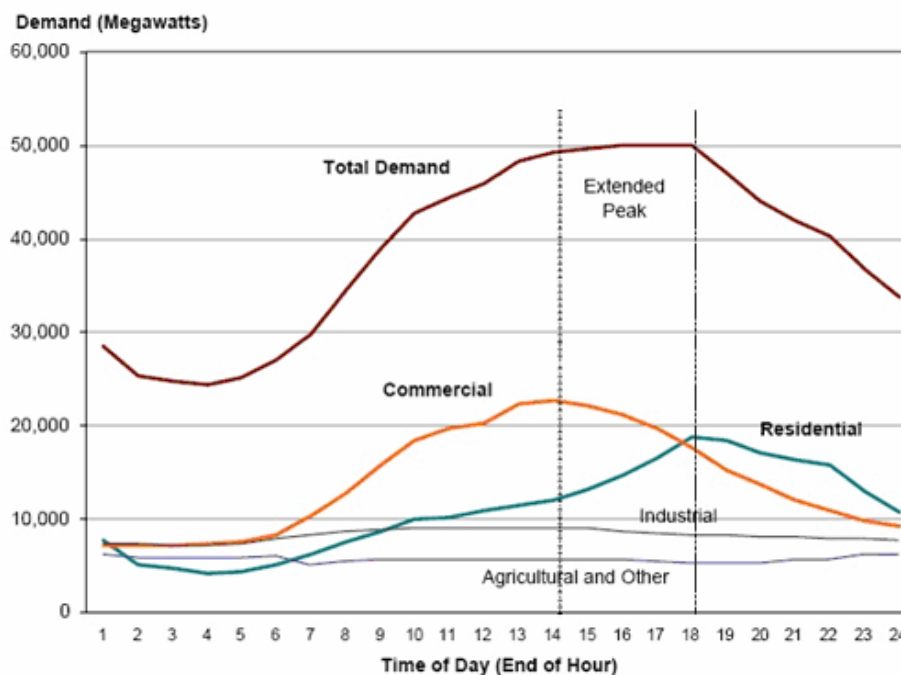
Αναλυτικότερα για το μικροδίκτυο θα μιλήσουμε στο επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 6.5: Σχηματική απεικόνιση έξυπνου δικτύου με ενσωμάτωση μικρότερων υποδικτύων και μικροδικτύων.

6.4 Η Διαχείριση ζήτησης

Η διαχείριση ζήτησης (demand response) (που επίσης καλείται στην ξένη ορολογία Demand side management(DSM) ή demand side response(DSR) ή Demand side integration(DSI)) είναι βασισμένη στην ιδέα της ρύθμισης της κατανάλωσης ώστε να ταυτίζεται όσο το δυνατόν με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αντίθεση με τον παραδοσιακό τρόπο που η κεντρική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μονάχα πρέπει να αυξομειώνεται συνεχώς προκειμένου να ταυτιστεί με την εκάστοτε ζήτηση μέσα στην ημέρα, όπως βλέπουμε στην Εικόνα 6.6.



Εικόνα 6.6: Τυπική διακύμανση ζήτησης μέσα στο 24ωρο.

Έτσι, αντί να παράγεται περισσότερη ισχύ κατά την διάρκεια των ωρών αιχμής (το οποίο έχει πολύ υψηλό κόστος), οι διαχειριστές του συστήματος θα μπορούσαν να δώσουν οικονομικά κίνητρα στους καταναλωτές προκειμένου είτε να μετατοπίσουν κάποια φορτία τους προς τις ώρες χαμηλότερης ζήτησης είτε να κάνουν μικρότερη κατανάλωση κατά την διάρκεια των ωρών αιχμής (κάτι που κοστίζει πολύ λιγότερο από την αύξηση της παραγωγής ενέργειας). Ο στόχος λοιπόν της διαχείρισης ζήτησης είναι να μειωθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η κυμάτωση της αυξομείωσης της ζήτησης, ώστε η ζήτηση σταθεροποιηθεί κοντά σε μία τιμή καθ'όλη την διάρκεια της μέρας. Για να επιτευχθεί αυτό οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω του έξυπνου δικτύου, μπορούν να προσφέρουν διάφορα προγράμματα διαχείρισης ζήτησης (DR programmes) στους πελάτες τους, με την μορφή εναλλακτικών χρεώσεων, προκειμένου να συμφέρει οικονομικά τους πελάτες η συμμετοχή τους στο πρόγραμμα. Η διαχείριση Ζήτησης συγκαταλέγεται στις διανεμημένες πηγές ενέργειας μαζί με τις μονάδες αποθήκευσης, στο επίπεδο της διανομής, και τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής.

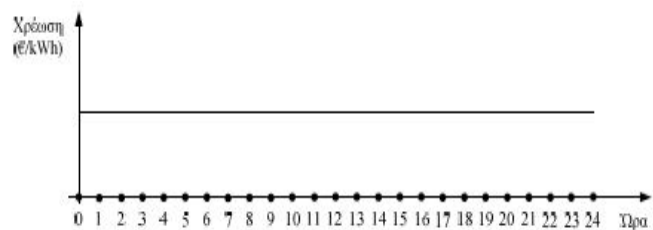
Ο έλεγχος των φορτίων των καταναλωτών μπορεί να είναι είτε χειροκίνητος, οι πελάτες δηλαδή ενημερώνονται για τις τιμές και αποφασίζουν από μόνοι τους πότε θα λειτουργήσουν τις συσκευές τους ή αυτόματος, όπου ενεργοποίηση των συσκευών γίνεται αυτόματα, είτε μέσω αυτοματοποιήσεων εντός των συσκευών είτε μέσω των οικιακών έξυπνων μετρητών. Η αυτόματη λειτουργία της διαχείρισης ζήτησης μπορεί αν πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Πρώτον με περικοπή φορτίου (Net Curtailment), τρόπος κατά τον οποίο συμβαίνει μείωση στην κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο διαχειριστής έχει την δυνατότητα να παρέμβει και να χειριστεί συγκεκριμένα φορτία μίας οικίας. Δεύτερον με μετακίνηση φορτίου (Load Shifting), μεταφορά της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε άλλη στιγμή της ημέρας με χαμηλότερο κόστος χρήσης.

6.4.1 Προγράμματα Διαχείρισης Ζήτησης και χρέωσης καταναλωτών

Επομένως, προκειμένου οι καταναλωτές να επωφελούνται άμεσα από το έξυπνο δίκτυο, οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να αναπτύξουν ένα σύνολο προγραμμάτων χρέωσης των καταναλωτών. Τα προγράμματα αυτά, που συχνά ονομάζονται δυναμική χρέωση, συνδέουν την τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας τις συγκεκριμένες χρονικές περιόδους με το πραγματικό κόστος. Τα σήματα των τιμών βοηθούν τους καταναλωτές να μειώσουν την κατανάλωση τις χρονικές περιόδους που η κατανάλωση και τα κόστη λαμβάνουν τις υψηλότερες τιμές τους. Με αυτά τα προγράμματα οι καταναλωτές έχουν την ευκαιρία να εξοικονομήσουν χρήματα. Για να χρησιμοποιούν τα προγράμματα αυτά, οι καταναλωτές πρέπει να έχουν έναν ηλεκτρικό μετρητή ή έξυπνο μετρητή ικανό να καταγράφει την ηλεκτρική κατανάλωση σε αρκετά χρονικά διαστήματα στη διάρκεια της ημέρας.

6.4.1.1 Σταθερή χρέωση (flat rate)

Σύμφωνα με το μοντέλο της σταθερής χρέωσης, η χρέωση είναι σταθερή καθ'όλη τη διάρκεια του χρόνου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.7. Το μοντέλο της σταθερής χρέωσης εξακολουθούν να το ακολουθούν μέχρι σήμερα αρκετές ηλεκτρικές εταιρίες. Το μοντέλο της σταθερής χρέωσης αντανάκλα το μέσο κόστος της ηλεκτρικής



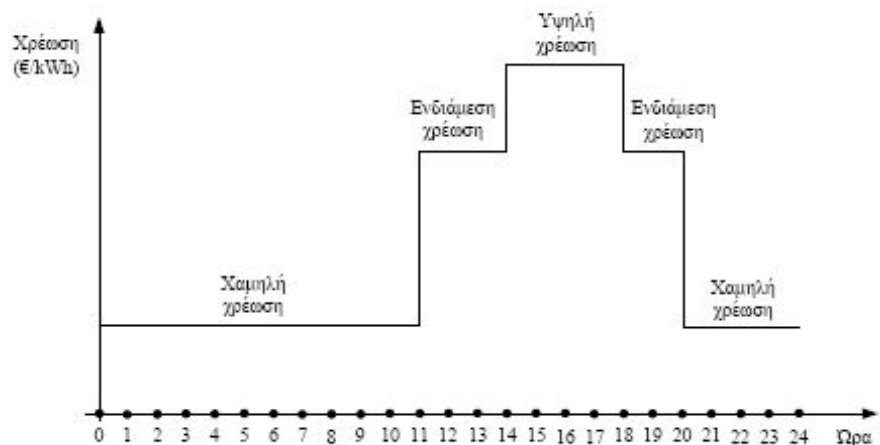
Εικόνα 6.7: Σταθερή χρέωση (flat rate)[5]

ενέργειας. Με αυτό το μοντέλο, η μοναδική δυνατότητα για τους καταναλωτές να μειώσουν τη χρέωσή τους είναι να μειώσουν την συνολική κατανάλωση της ηλεκτρικής τους ενέργειας. Σε αυτήν την περίπτωση δεν χρειάζεται κάποιος έξυπνος μετρητής, αφού η χρέωση είναι σταθερή.

6.4.1.2 Χρονοχρέωση (Time of Use – ToU)

Σύμφωνα με το μοντέλο της χρονοχρέωσης, τίθενται διαφορετικές χρεώσεις σε διαφορετικές χρονικές περιόδους της ημέρας. Ένα παράδειγμα χρονοχρέωσης φαίνεται στο στην Εικόνα 6.8 όπου υπάρχουν τρία επίπεδα χρέωσης: χαμηλή, ενδιάμεση και υψηλή χρέωση. Η χαμηλή χρέωση είναι διαθέσιμη τις χρονικές περιόδους της χαμηλής ζήτησης, ενώ η υψηλή χρέωση τις χρονικές περιόδους της υψηλής ζήτησης φορτίου. Οι καταναλωτές γνωρίζουν εκ των προτέρων τα κόστη που θα πληρώσουν για ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια προκαθορισμένων χρονικών περιόδων.

Αυτό επιτρέπει στους καταναλωτές να μεταβάλουν την κατανάλωσή τους και να διαχειριστούν καλύτερα τα συνολικά κόστη της ηλεκτρικής τους ενέργειας μετατοπίζοντας την κατανάλωσή τους σε χρονική περίοδο χαμηλότερης χρέωσης ή μειώνοντας τη συνολική τους κατανάλωση.



Εικόνα 6.8: Παράδειγμα χρονοχρέωσης .[5]

6.4.1.3 Κρίσιμη Χρέωση Αιχμής (Critical Peak pricing)

Το πρόγραμμα της κρίσιμης χρέωσης αιχμής επιτρέπει στους καταναλωτές να χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια σε χαμηλότερες τιμές στη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Θα υπάρχουν κρίσιμες χρονικές περιόδους, συνήθως το καλοκαίρι, όπου οι τιμές θα αυξάνουν σημαντικά όταν θα υπάρχει υψηλή ζήτηση φορτίου. Στη διάρκεια των κρίσιμων χρονικών περιόδων οι καταναλωτές μπορούν να επιλέξουν είτε να μειώσουν την κατανάλωσή τους είτε να πληρώσουν υψηλές τιμές που μπορεί να είναι, για παράδειγμα, πενταπλάσιες σε σχέση με μία σταθερή χρέωση

Η ηλεκτρική εταιρία συνήθως προκαθορίζει τον μέγιστο αριθμό των κρίσιμων χρονικών περιόδων (συνήθως έως 15 κρίσιμες χρονικές περιόδους ανά έτος) και τον αριθμό των ωρών (συνήθως 4 έως 6 ώρες) που θα διαρκεί η κάθε μία κρίσιμη χρονική περίοδος. Οι καταναλωτές που βρίσκονται στο πρόγραμμα λαμβάνουν έγκαιρη ενημέρωση, κάθε φορά, για το πότε θα είναι μία κρίσιμη χρονική περίοδος. Όλες τις άλλες χρονικές περιόδους, η ηλεκτρική ενέργεια χρεώνεται με ένα μοντέλο χρονοχρέωσης, όπου τις περισσότερες ώρες του 24ώρου υπάρχει χαμηλή χρέωση, ενώ η υψηλή χρέωση μπορεί να γίνεται για 4 έως 8 ώρες το 24ωρο, κατά τη διάρκεια της αιχμής του φορτίου.[5]

6.4.1.4 Απευθείας Έλεγχος του Φορτίου (Direct Load Control -DLC)

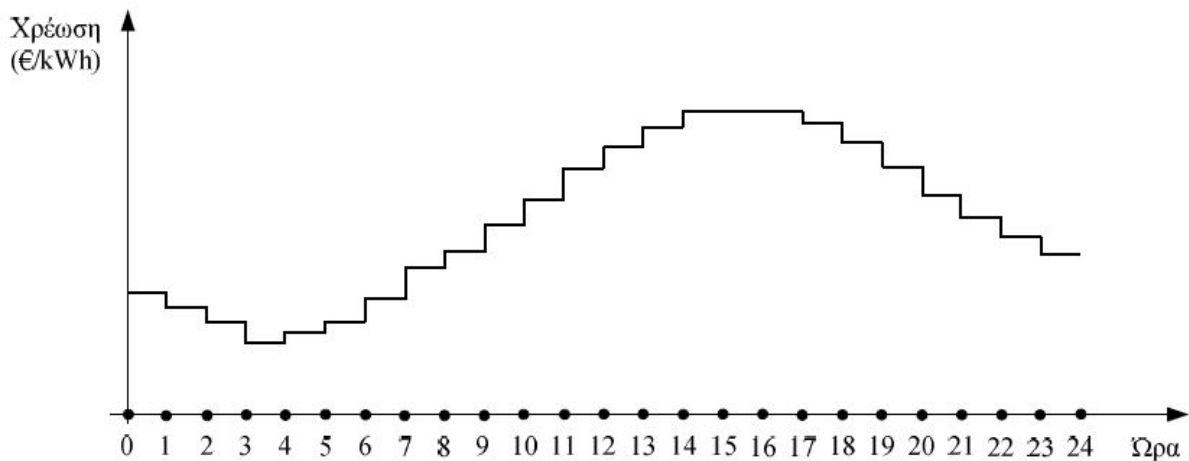
Το πρόγραμμα του απευθείας ελέγχου του φορτίου προσφέρει στους καταναλωτές μηνιαίες πιστώσεις ή εκπτώσεις κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών προκειμένου να επιτρέπουν στην ηλεκτρική εταιρία να ελέγχει το φορτίο τους από απόσταση, για παράδειγμα, να επιτρέπουν στην ηλεκτρική εταιρία να αυξήσει μερικούς βαθμούς τη θερμοκρασία του κλιματιστικού των καταναλωτών σε χρονικές περιόδους υψηλού φορτίου. Ο καταναλωτής χρεώνεται με σταθερή χρέωση στη διάρκεια του έτους. Η ηλεκτρική εταιρία έχει ένα πλήθος χρονικών περιόδων και ωρών που μπορεί να αυξήσει από απόσταση τη θερμοκρασία του κλιματιστικού ανά έτος (συνήθως έως 15 φορές ανά έτος). Οι καταναλωτές που συμμετέχουν στο πρόγραμμα έχουν εγκατεστημένο στο κλιματιστικό έναν προγραμματιζόμενο θερμοστάτη με δυνατότητα επικοινωνίας[5]

6.4.1.5 Εκπτώσεις τις Ώρες της Αιχμής (Peak time rebates)

Οι καταναλωτές που συμμετέχουν σε πρόγραμμα εκπτώσεων τις ώρες της αιχμής λαμβάνουν εκπτώσεις προκειμένου να χρησιμοποιούν λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια, όταν η ηλεκτρική εταιρία τους καλεί για ένα κρίσιμο γεγονός αιχμής. Στο πρόγραμμα αυτό είναι εθελοντική η επιλογή των καταναλωτών να ανταποκριθούν σε κάθε δεδομένο κρίσιμο γεγονός αιχμής. Δηλαδή, οι καταναλωτές παραμένουν στην τυποποιημένη χρέωσή τους, ακόμα και κατά τη διάρκεια των κρίσιμων γεγονότων, όμως, στη διάρκεια των κρίσιμων γεγονότων έχουν την ευκαιρία να λάβουν μία έκπτωση για κάθε μείωση του φορτίου τους κάτω από ένα εκτιμώμενο βασικό επίπεδο φορτίου που είναι σχεδιασμένο ώστε να αντικατοπτρίζει τη συνηθισμένη κατανάλωσή τους. Το πρόγραμμα της κρίσιμης χρέωσης αιχμής και το πρόγραμμα των εκπτώσεων τις ώρες της αιχμής παρέχουν ουσιαστικά το ίδιο οικονομικό κίνητρο για τη μείωση του φορτίου τις ώρες της αιχμής. Όμως, τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των δύο αυτών προγραμμάτων ίσως να επηρεάζουν την επιθυμία των καταναλωτών να επιλέξουν το κάθε πρόγραμμα.

6.4.1.6 Χρέωση Πραγματικού Χρόνου (Real time pricing RTP)

Στο μοντέλο της χρέωσης πραγματικού χρόνου οι χρεώσεις μπορούν να μεταβάλλονται κάθε 15 λεπτά. Το πρόγραμμα αυτό χρεώνει τους καταναλωτές σε συνάρτηση με το πραγματικό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, οπότε η χρέωση μεταβάλλεται στη διάρκεια του 24ώρου. Ένα παράδειγμα χρέωσης πραγματικού χρόνου φαίνεται στην Εικόνα 6.9. Στο μοντέλο της χρέωσης πραγματικού χρόνου, η εξοικονόμηση χρημάτων στον λογαριασμό της ηλεκτρικής ενέργειας κάθε καταναλωτή πιθανόν να μεταβάλλεται ανά μήνα, ανάλογα με τον καιρό (θερμοκρασία), τις συνθήκες της αγοράς και τις προσωπικές καταναλωτικές συνήθειες. Τους καλοκαιρινούς μήνες υπάρχουν οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τη χρέωση πραγματικού χρόνου. Οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνήθως χαμηλότερες τους φθινοπωρινούς, ανοιξιάτικους και χειμερινούς μήνες. Η εκτίμηση για τις ωριαίες τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας του επόμενου 24ώρου βοηθάει τους καταναλωτές να σχεδιάσουν καλύτερα την κατανάλωσή τους ειδικά τις ημέρες που οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας προβλέπεται ότι θα είναι υψηλές.



Εικόνα 6.9: Παράδειγμα χρέωσης πραγματικού χρόνου.

6.4.1.7 Εξοικονόμηση ενέργειας και βελτίωση ενεργειακής απόδοσης

Αξίζει να σημειωθεί, πως οποιαδήποτε μέθοδος που έχει στόχο την μείωση της τελικής κατανάλωσης, εντός ωρών αιχμής αλλά και εκτός, μπορεί να συμπεριληφθεί ως τεχνική ή πολιτική διαχείρισης ζήτησης. Έτσι η εξοικονόμηση ενέργειας (Energy conservation), ή αλλιώς μείωση φορτίου (load reduction), και αύξηση της ενεργειακής απόδοσης διαφόρων συσκευών είναι μέθοδοι που διαχειριστές των ηλεκτρικών δικτύων μπορούν να αξιοποιήσουν.

Επομένως προγράμματα εξοικονόμηση ενέργειας (Energy conservation) χρησιμοποιούνται προκειμένου να ενθαρρύνουν τους καταναλωτές να θυσιάσουν μέρος της ηλεκτρικής κατανάλωσης τους. Με άλλα λόγια, μειώνουν την συνολική τους ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια, με το να μειώνουν τις “ανέσεις” των υπηρεσιών που τους παρέχεται από τον πάροχο. Παράδειγμα, με το να αυξήσουν οι καταναλωτές τον θερμοστάτη, του κλιματιστικού τους, μερικούς βαθμούς Κελσίου, το καλοκαίρι, μειώνουν την κατανάλωση τους, αλλά ταυτόχρονα μειώνουν και την άνεση τους.

Αντιθέτως, προγράμματα βελτίωσης ενεργειακής απόδοσης σκοπεύουν στην μείωση της συνολικής ζήτησης ενώ διατηρούνται τα ίδια επίπεδα παροχής υπηρεσιών. Αυτό επιτυγχάνεται όταν οι χρήστες αντικαθιστούν παλαιότερης τεχνολογίας ηλεκτρικές συσκευές με νεότερες, που έχουν μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση.

6.5 Έξυπνοι μετρητές

Όπως αναφέραμε νωρίτερα, το έξυπνο δίκτυο βασίζεται σε συστήματα μετρήσεων και ελέγχου σε διαφορά σημεία του δικτύου (από την παραγωγή και την μεταφορά μέχρι την κατανάλωση) τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους ή με τους διαχειριστές του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας μέσω συστημάτων τηλεπικοινωνιών, προκειμένου να κάνουν εφικτές τις διάφορες μορφές βελτιωμένης διαχείρισης των πόρων του συστήματος. Οι έξυπνοι μετρητές αποτελούν μέρος αυτής της υποδομής μετρήσεων και ελέγχου, ειδικότερα, στο οικιακό επίπεδο. Τα Δίκτυα κτιρίων (building area networks -BANs) και οικιακά δίκτυα (home area networks -HANs) που αναφέραμε σε προηγούμενη υποενότητα υλοποιούνται με τους κατάλληλους έξυπνους μετρητές.

Με την εγκατάσταση ευφών μετρητών σε κάθε σημείο της κατανάλωσης καταγράφεται το φορτίο σε πραγματικό χρόνο και με την κατάλληλη τηλεπικοινωνιακή υποδομή, αυτό παρακολουθείται και ελέγχεται από ένα κέντρο ελέγχου ενέργειας. Οι μετρητές επίσης παρέχουν χρήσιμη πληροφορία σχετικά με τους τύπους του φορτίου και τα χαρακτηριστικά αυτού (π.χ. ημερήσια και εποχιακή διακύμανση ανά κατηγορία χρηστών), με στόχο τον σχεδιασμό μέτρων αύξησης της ενεργειακής απόδοσης και την διαμόρφωση σχετικών κινήτρων, την υλοποίηση τεχνικών διαχείρισης της αιχμής κ.α. Για παράδειγμα, κάθε καταναλωτής μπορεί ανά πάσα στιγμή κοιτάζοντας την οθόνη του μετρητή να γνωρίζει τι καταναλώνει, έτσι σε συνδυασμό με ένα χρονομεταβλητό τιμολόγιο θα μπορεί να αποφασίζει ποια είναι η καλύτερη στιγμή για να κάνει τις περισσότερο ενεργοβόρες ενέργειες.

Επομένως, οι απαραίτητες συσκευές για την εκτέλεση των σχετικών διεργασιών είναι οι:

- Έξυπνοι ελεγκτές φορτίου, οι οποίοι φέρουν μικροεπεξεργαστή, περιορισμένη μνήμη, εισόδους μετρήσεων και εξόδους με δυνατότητα οδήγησης διακοπών σε ρελέ και είναι ικανοί να συντονίζουν την λειτουργία και την σβέση μέρους ή του συνόλου των καταναλώσεων προς τις οποίες είναι συνδεδεμένοι εκτελώντας ληφθείσες οδηγίες από διαχειριστή ή άλλο προκαθορισμένο κέντρο ελέγχου.
- Οι έξυπνοι μετρητές, οι οποίοι πέρα από την καταγραφή της εισερχόμενης ή εξερχόμενης ενέργειας θα έχουν την ικανότητα να μπορούν να προσεγγίζουν το ενεργειακό προφίλ των πηγών ή των καταναλώσεων προς τα οποία συνδέονται, να επικοινωνούν και να ανταλλάζουν πληροφορίες με τοπικούς διαχειριστές και να υλοποιούν προϋποθέσεις και αποφάσεις τους.



Εικόνα 6.11: Έξυπνος μετρητής.



Εικόνα 6.10: Απεικόνιση μετρήσεων

6.6 Εικονική μονάδα παραγωγής ενέργειας (Virtual power plant -VPP)

Μία Εικονική μονάδα παραγωγής ενέργειας (Virtual power plant -VPP) είναι ένα σύστημα, ελεγχόμενο από ένα κέντρο ελέγχου, που ενσωματώνει και διαχειρίζεται ένα αριθμό διανεμημένων πηγών ενέργειας, χωρίς να είναι απαραίτητο οι πηγές να βρίσκονται στην ίδια περιοχή ή στο ίδιο τοπικό φυσικό ηλεκτρικό δίκτυο (σε αντίθεση με τα μικροδίκτυα[3]). Μία Εικονική μονάδα παραγωγής ενέργειας μπορεί να αντικαταστήσει ένα συμβατικό κεντρικό εργοστάσιο παραγωγής, προσφέροντας παράλληλα μεγαλύτερη απόδοση και ευελιξία. Επίσης ένα VPP μπορεί να διαχειρίζεται μονάδες από διάφορα επίπεδα τάσης και ποικίλων μεγεθών μονάδων ισχύος, στο ευρύτερο ηλεκτρικό δίκτυο.

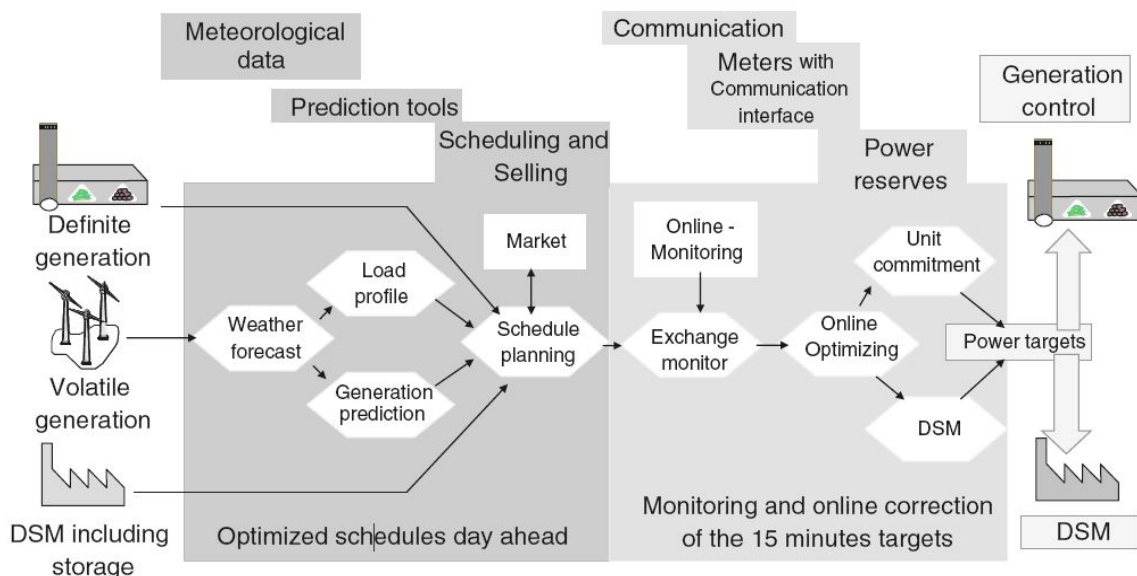
Το κυρίως έργο των Εικονικών μονάδων παραγωγής κατευθύνεται προς την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και εμπεριέχει τις εξής λειτουργίες[1]:

- πρόβλεψη, εξισορρόπηση και συντονισμό όλων ελεγχόμενων πόρων (γεννήτριες, ανεμογεννήτριες, μονάδες αποθήκευσης κτλ)
- ολοκλήρωση των χρονοδιαγραμμάτων παραγωγής, για την επόμενη ημέρα, για ολόκληρη την εικονική μονάδα και πώληση της αναμενόμενης ενέργειας στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας
- συνεχής έλεγχος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και εκτίμηση των αποκλίσεων από τις προβλέψεις
- λήψη αποφάσεων για την διαδικασία βελτιστοποίησης της λειτουργίας των ελεγχόμενων πόρων και αποζημίωση τρίτων σε τυχόν χρήση ισχύος από άλλες πηγές του δικτύου για την αντιμετώπιση διακυμάνσεων.



Εικόνα 6.12: Πιλοτικό πρόγραμμα VPP στην Γερμανία. [6]

Με αυτόν τον τρόπο μια Εικονική μονάδα παραγωγής ενέργειας μπορεί να παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά με μια παραδοσιακή μονάδα παραγωγής.



Εικόνα 6.13: Βασική αρχή της Εικονικής μονάδας παραγωγής ενέργειας. [1]

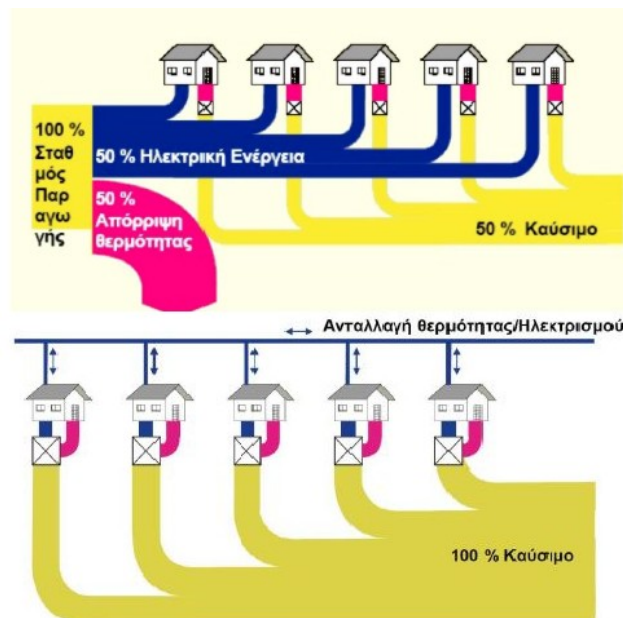
7 Το Μικροδίκτυο ως δομική μονάδα του έξυπνου δικτύου

7.1 Εισαγωγή

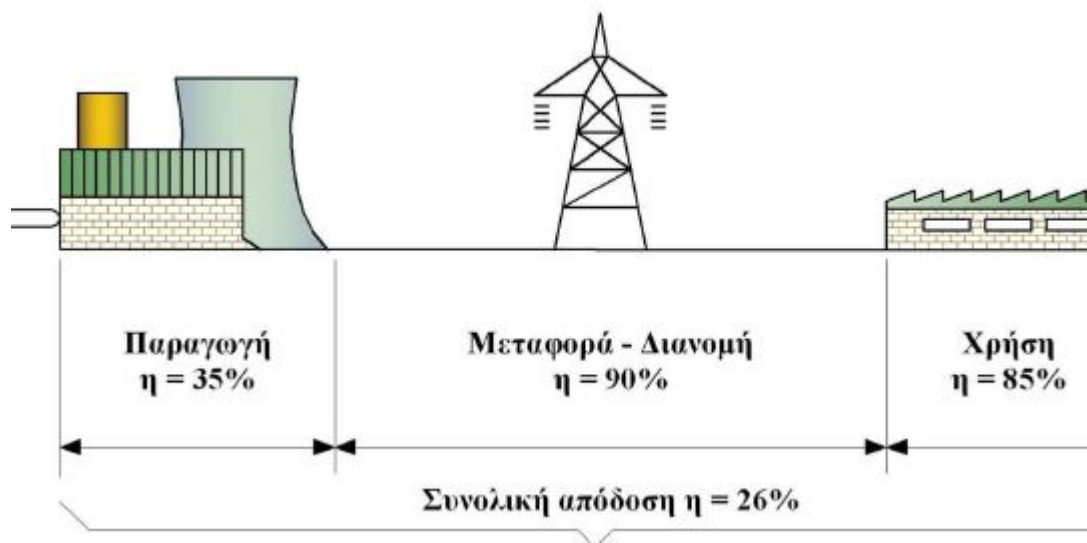
Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα μικροδίκτυα αποτελούν μια προσέγγιση στην υλοποίηση των έξυπνων δικτύων, όπου γίνονται προσπάθειες τα ηλεκτρικά δίκτυα και κυρίως εκείνα της διανομής να μεταμορφωθούν σταδιακά από παθητικά σε ενεργητικά συστήματα. Τα μικροδίκτυα έχουν χαρακτηριστεί ως “οι δομικοί λίθοι των έξυπνων δικτύων”[1], επειδή η εφαρμογή τους πραγματοποιείται κυρίως στο επίπεδο της διανομής ή της κατανάλωσης (που αποτελούν και τον τελικό αποδέκτη της ηλεκτρικής ενέργειας) και παράλληλα αποτελούν την πιο υποσχόμενη λύση για την αντιμετώπιση διαφόρων ζητημάτων που αναδύονται από τις απαιτήσεις των έξυπνων δικτύων.

Η οργάνωση των μικροδικτύων βασίζεται, καθαρά, στις δυνατότητες ενιαίου ελέγχου όλων των πόρων ενός τοπικού συστήματος δικτύου διανομής. Οι πόροι του συστήματος διανομής είναι όλες εκείνες οι διανεμημένες πηγές ενέργειας, δηλαδή η διασπαρμένη παραγωγή, τα συστήματα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και τα ελεγχόμενα ή μεταβαλλόμενα φορτία, που είναι ενσωματωμένες στο τοπικό αυτό δίκτυο. Αυτές οι δυνατότητες ελέγχου επιτρέπουν στα δίκτυα διανομής, που παραμένουν συνδεδεμένα στο ευρύτερο ηλεκτρικό δίκτυο, να λειτουργούν ακόμα και όταν απομονώνονται από το κυρίως δίκτυο, στην περίπτωση σφαλμάτων ή άλλων εξωτερικών παρεμβολών ή καταστροφών, αυξάνοντας έτσι την συνολική ποιότητα και ασφάλεια παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Καταλήγοντας, το στοιχείο που διαφοροποιεί τα μικροδίκτυα από τα δίκτυα διανομής που περιέχουν απλά κάποιες διανεμημένες πηγές ενέργειας είναι ο έλεγχος και συντονισμός της λειτουργίας αυτών των μονάδων.

Βασικό οικονομικό όφελος από τις εγκατεστημένες μονάδες διασπαρμένης παραγωγής στο μικροδίκτυο, προκύπτει από την τοπική αξιοποίηση της απορριπτόμενης θερμότητας, Εικόνα 7.1, κατά την μετατροπή των πρωτόγεννων καυσίμων σε ηλεκτρική ενέργεια, μέσω συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας. Με την σημαντική βελτίωση των συστημάτων αυτών, στην κλίμακα των μερικών kW (μικροπηγές), αναμένεται ο ρόλος τους να είναι καθοριστικός στην ανάπτυξη των μικροδικτύων που βρίσκονται σε ψυχρότερα κλίματα. Ενώ σε περιοχές με θερμότερα κλίματα, δημοφιλής είναι η συμμετοχή στην συμπαραγωγή από φωτοβολταϊκά. Η αυξημένη εφαρμογή της συμπαραγωγής σε τοπικό επίπεδο αυξάνει τον ωφέλιμο συντελεστή απόδοσης ολόκληρου του συστήματος των ΣΗΕ, με αποτέλεσμα να γίνεται εξοικονόμηση καυσίμων και ως αποτέλεσμα να μειώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, στην Εικόνα 7.2 βλέπουμε τον συντελεστή απόδοσης στα συμβατικά ΣΗΕ.



Εικόνα 7.1: Αντίθεση μεταξύ συμβατικού ΣΗΕ και της τοπικής αποκεντρωμένης παραγωγής με συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, στην χρήση καυσίμων.



Εικόνα 7.2: Ροή ενέργειας σε συμβατικό σύστημα παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος και οι αντίστοιχοι συντελεστές απόδοσης σε κάθε μέρος του. [3]

Τα οφέλη των μικροδικτύων από την πλευρά των καταναλωτών, είναι η κάλυψη των αναγκών τους σε ηλεκτρική και θερμική ισχύ και επιπρόσθετα, η αύξηση της τοπικής αξιοπιστίας και ασφάλειας στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και πιθανή μείωση του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα οφέλη από την πλευρά των διαχειριστών ενός ευρύτερου ΣΗΕ, είναι ότι τα μικροδίκτυα μπορούν να θεωρηθούν ως ενιαίες οντότητες εντός ενός ευρύτερου ηλεκτρικού συστήματος, οι οποίες μπορούν είτε να αντιμετωπίζονται ως ελεγχόμενα μεμονωμένα ηλεκτρικά φορτία είτε ως μονάδες παραγωγής, που μπορούν να προσφέρουν ισχύ στο δίκτυο, έναντι αμοιβής.

Τα οφέλη από την πλευρά των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού, είναι πως η εφαρμογή των τοπικών πηγών ενέργειας μπορεί να μειώσει την ανάγκη για περαιτέρω ανάπτυξη των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων μεταφοράς και διανομής. Προφανώς, η παραγωγή κοντά στα φορτία μπορεί να μειώσει την μεταφορά ισχύος στα κυκλώματα μεταφοράς και διανομής, μειώνοντας έτσι τις απώλειες μεταφοράς και υποκαθιστούν έτσι τις επενδύσεις στις εγκαταστάσεις δικτύων. Επιπλέον, η παραγωγή κοντά στο φορτίο αυξάνει την ποιότητα παροχής, στον τελικό καταναλωτή. Τέλος τα μικροδίκτυα παρέχουν υποστήριξη σε ένα ευρύτερο δίκτυο σε περιόδους καταπόνησης με το να αποσυνδέονται από αυτό μειώνοντας την συμφόρηση και έτσι βοηθούν στην αποκατάσταση πιθανών ζημιών.

Τέλος, εάν και υπάρχουν ακόμη ζητήματα ιδιοκτησίας και λειτουργίας των μικροδικτύων που πρέπει να διευθετηθούν, ένα πιθανό βήμα προς τα μπρος για τα μικροδίκτυα θα ήταν να λειτουργούν σαν ένα σύστημα, στο οποίο οι καταναλωτές θα λειτουργούν και ως πάροχοι και έτσι θα επιτυγχάνεται καλύτερος έλεγχος φορτίου. Συγκεκριμένα το μικροδίκτυο πρέπει να ενθαρρύνει τους καταναλωτές να συμμετέχουν στη συμπαραγωγή μικρής κλίμακας, να προχωράνε στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ή άλλων ΑΠΕ. Οι διακανονισμοί μέτρησης και χρέωσης της ισχύος εντός του μικροδικτύου θα πρέπει να προκύπτουν μετά από συμφωνία σε τοπικό επίπεδο και θα πρέπει να αντικατοπτρίζουν την αγορά ισχύος εντός του μικροδικτύου. Η ιδέα των μικροδικτύων ενισχύεται ακόμη περισσότερο έναντι της παραγωγής μεγάλης κλίμακας, με την συνεχιζόμενη πρόοδο που παρατηρείται σε αξιόπιστες γεννήτριες μικρής κλίμακας, στα ηλεκτρονικά ισχύος και τους ψηφιακούς ελεγκτές.

7.2 Τα μικροδίκτυα ως τρόπος ενσωμάτωσης των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής

Τις τελευταίες δεκαετίες, η εγκατάσταση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, στα δίκτυα διανομής, αυξάνεται σταθερά. Η σύνδεση τους στο δίκτυο διανομής πραγματοποιείται συνήθως στις υψηλότερες τάσεις (για ισχύς στην κλίμακα των MW), και ο τρόπος λειτουργίας τους έχει βασιστεί στην φιλοσοφία των συμβατικών ΣΗΕ, κατά την οποία τα φορτία των καταναλωτών θεωρούνται παθητικά και η ισχύς ρέει μόνο προς μία κατεύθυνση, από τους υποσταθμούς προς τους καταναλωτές και ποτέ προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Οι διεσπαρμένες πηγές στην κλίμακα των μερικών kW, αποκαλούνται και μικροπηγές (microsources ή microgeneration), συνδέονται απευθείας στο δίκτυο χαμηλής τάσης. Τέτοιες πηγές εγκαθίστανται συνήθως από ιδιώτες, στις κατοικίες τους ή σε επιχειρήσεις. Συνηθισμένες τέτοιες εφαρμογές, είναι τα φωτοβολταϊκά στις οροφές, μικροτουρμπίνες, ντιζελογεννήτριες, κυψέλες καυσίμου και μικρές ανεμογεννήτριες. Αυτές οι μονάδες, που βρίσκονται στην τοποθεσία των καταναλωτών, αναδύθηκαν ως υποσχόμενες επιλογές για να καλύψουν τις ανάγκες των καταναλωτών, σε αυξημένη ασφάλεια παροχής ισχύος, με επιπρόσθετα περιβαλλοντικά οφέλη. Προφανώς, η ασφαλής ενσωμάτωση της αυξημένης διείσδυσης, αυτών των πηγών απαιτεί μια φιλοσοφία συντονισμού, για την βέλτιστη και οικονομική λειτουργία τους.

Για την διασύνδεση των διεσπαρμένων πηγών στην χαμηλή τάση, έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες σε ζητήματα πάνω στον έλεγχο, στην προστασία των κυκλωμάτων, στην σταθεροποίηση της τάσης και την ποιότητα ισχύος. Έχει αναγνωρισθεί, πώς με την διείσδυση μεγάλου αριθμού διεσπαρμένων πηγών στην χαμηλή τάση, το δίκτυο διανομής δεν μπορεί πια να θεωρηθεί πια σαν παθητικό σύστημα, από την σκοπιά του δικτύου μεταφοράς. Αντιθέτως, η επίδραση των μικροπηγών στην ισορροπία ισχύος και στην συχνότητα του δικτύου θα ενταθούν σημαντικά με το πέρασμα των χρόνων.

Επομένως, μια αρχιτεκτονική ελέγχου και διαχείρισης απαιτείται, προκειμένου η εντεινόμενη ενσωμάτωση των μικροπηγών να διεξαχθεί χωρίς προβλήματα. Μια υποσχόμενη λύση για την αξιοποίηση των δυνατοτήτων των μικροπηγών και των λοιπών διεσπαρμένων πηγών, είναι η ενσωμάτωση τους σε οργανωτικές δομές, όπως τα μικροδίκτυα.

Σε μια τυπική διάταξη μικροδικτύου, τα συστήματα διαχείρισης και ελέγχου αναμένεται να επιφέρουν μια ποικιλία ωφελειών σε όλα τα επίπεδα τάσης. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, διάφορες ιεραρχικές στρατηγικές ελέγχου απαιτείται να ενσωματωθούν, στα διάφορα επίπεδα των ηλεκτρικών δικτύων.

Για την διαχείριση αρκετών μικροδικτύων μαζί με τις συνδεδεμένες διεσπαρμένες πηγές, στην μέση και υψηλή τάση, και τα ελεγχόμενα φορτία, στην μέση τάση, εισάγεται η έννοια των multi-microgrids[1] (πιθανή μετάφραση: πολυ-μικροδίκτυα ή διευρυμένα μικροδίκτυα). Η ιεραρχική διάταξη ελέγχου ενός τέτοιου συστήματος χρειάζεται ένα ενδιάμεσο επίπεδο ελέγχου, το οποίο θα βελτιστοποιεί την λειτουργία ενός multi-microgrid, στα πλαίσια ενός περιβάλλοντος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Η πιθανή επίδραση ενός τέτοιου συστήματος μπορεί να οδηγήσει σε καινούριες πολιτικές διαχείρισης και νέων ανταποδοτικών προγραμμάτων, που θα δημιουργήσουν κινητήριους μηχανισμούς συμμετοχής, για τους διαχειριστές των συστημάτων διανομής, τους ιδιοκτήτες μικροπηγών (οικιακών ή μη) και τους καταναλωτές που συμμετέχουν σε προγράμματα διαχείρισης ζήτησης.

7.3 Αποσαφήνιση της έννοιας του μικροδικτύου

7.3.1 Τι είναι το μικροδίκτυο

Με βάση, τον ορισμό ευρωπαϊκών ερευνητικών προγραμμάτων στα μικροδίκτυα[1], έχουμε:

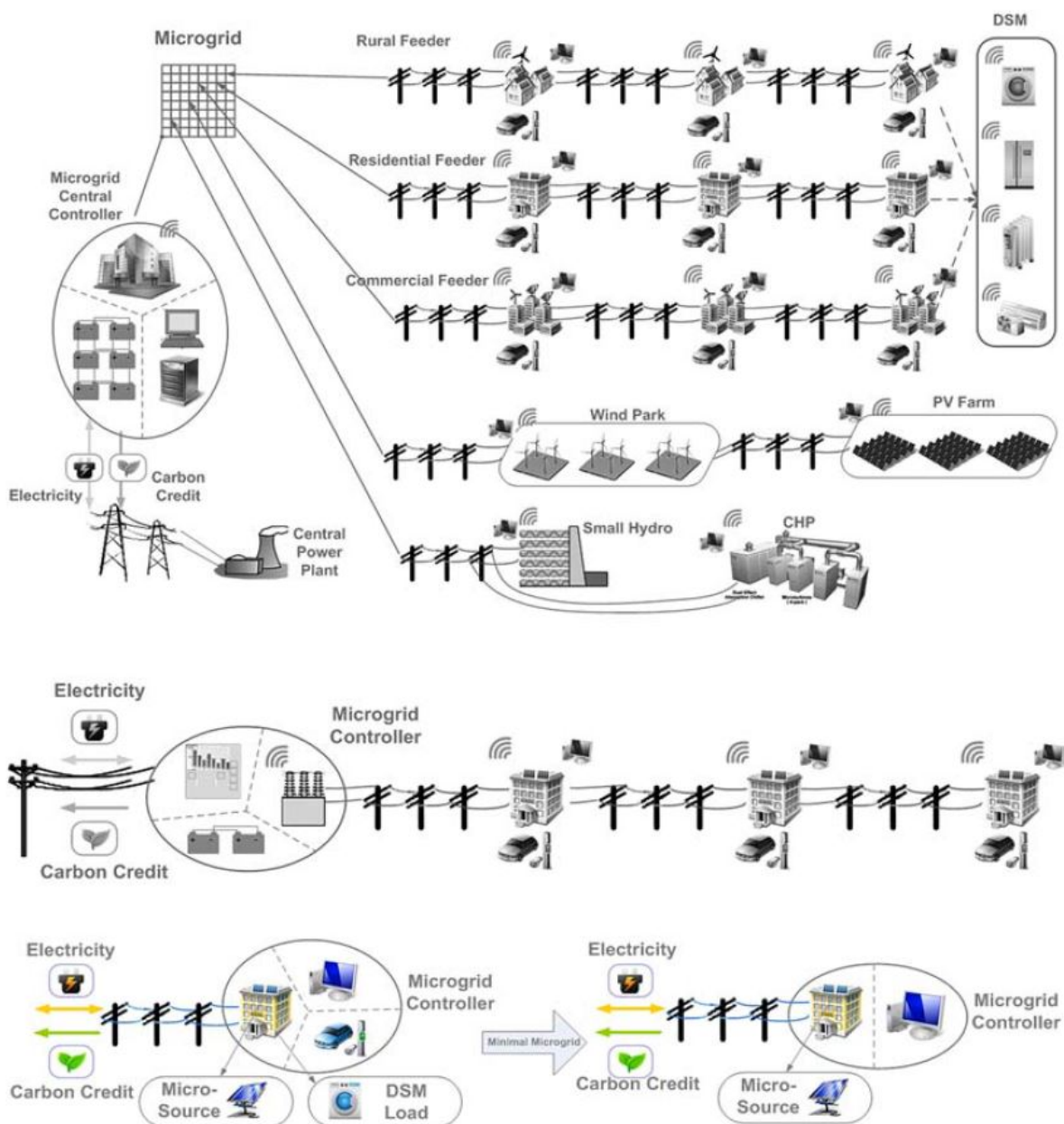
Τα μικροδίκτυα περιλαμβάνουν δίκτυα διανομής, χαμηλής τάσης, με διεσπαρμένες πηγές (μικροτουρμπίνες, φωτοβολταϊκά, κυψέλες καυσίμου, κτλ) μαζί με μονάδες αποθήκευσης (σφόνδυλοι, πυκνωτές μεγάλης χωρητικότητας και μπαταρίες) και προσαρμοζόμενα ή ευέλικτα φορτία. Τέτοια συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν με μη αυτόνομο τρόπο, όταν είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο υψηλότερης τάσης ή με αυτόνομο τρόπο, αν αποσυνδεθούν από το κυρίως δίκτυο. Η λειτουργία των μικροπηγών στο δίκτυο μπορεί να προσφέρει διακριτά οφέλη στην απόδοση του συνολικού συστήματος, αν διαχειριστούν και συντονιστούν αποτελεσματικά.

Τα βασικά συμπεράσματα που απορρέουν από τον παραπάνω ορισμό είναι:

1. Το μικροδίκτυο είναι μία πλατφόρμα ενσωμάτωσης γεννητριών ηλεκτρικής ενέργειας, συσκευών αποθήκευσης και μηχανισμών διαχείρισης ζήτησης που βρίσκονται όλα μαζί σε ένα τοπικό σύστημα διανομής.
 1. Δηλαδή, δίνεται έμφαση στην κάλυψη των αναγκών από τοπικές πηγές, προς τα κοντινά φορτία. Επομένως, συγκεντρωτικά μοντέλα διαχείρισης διεσπαρμένων πηγών ενέργειας που αγνοούν την περιοχή εγκατάστασης των μονάδων παραγωγής και των φορτίων, δεν είναι μικροδίκτυα (όπως οι Εικονικές μονάδα παραγωγής ενέργειας - Virtual power plants -VPP).
 2. Ένα μικροδίκτυο είναι συνήθως τοποθετημένο στα δίκτυα χαμηλής τάσης, με συνολική παραγόμενη ισχύ χαμηλότερη της κλίμακας του MW. Παρόλα αυτά, δύνανται και εξαιρέσεις, κατά τις οποίες μέρη του δικτύου μέσης τάσης μπορούν να ανήκουν στο μικροδίκτυο, για λόγους διασυνδεσιμότητας.
2. Ένα μικροδίκτυο θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να διαχειρίζεται και τις δύο καταστάσεις σύνδεσης με το δίκτυο, την κανονική κατάσταση (σύνδεση με το δίκτυο) και την έκτακτη κατάσταση (αποσύνδεση από το δίκτυο -Islanding).
 1. Η μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας των μικροδικτύων θα είναι υπό το κυρίως δίκτυο, με εξαίρεση τις περιπτώσεις απομονωμένων μικροδικτύων, με μη δυνατή διασύνδεση. Έτσι, όποια πραγματικά οφέλη από την δημιουργία των μικροδικτύων, θα πρέπει να προέρχονται από την κανονική κατάσταση λειτουργίας.
 2. Προκειμένου να επιτευχθεί μακράς διάρκειας έκτακτη (απομονωμένη - islanding) λειτουργία, ένα μικροδίκτυο πρέπει να ικανοποιεί υψηλές προδιαγραφές σε μέγεθος αποθήκευσης και ικανότητας παραγωγής, προκειμένου να παρέχει ισχύ συνεχόμενα σε όλα τα φορτία εντός αυτού. Εναλλακτικά, θα πρέπει να βασίζεται σε μεγάλη ευελιξία της ζήτησης, ικανοποιώντας μόνο τα απαραίτητα φορτία, παρέχοντας έτσι μερική ικανοποίηση αναγκών σε περίπτωση ανάγκης.
3. Η διαφορά μεταξύ ενός μικροδικτύου και ενός παθητικού δικτύου, που περιέχει μικροπηγές, συνοψίζεται στις δυνατότητες διαχείρισης και συντονισμού των διαθέσιμων πόρων.
 1. Ένας διαχειριστής μικροδικτύου είναι κάτι περισσότερο από έναν απλό διαχειριστή μερικών γεννητριών, ή έναν πάροχο δικτύου, ή έναν διαχειριστή συστήματος. Ο διαχειριστής μικροδικτύου είναι υπεύθυνος για όλα τα παραπάνω και προσφέρει έτσι οικονομικές και τεχνικές υπηρεσίες.
 2. Μια υπεροχή των μικροδικτύων έναντι άλλων λύσεων έξυπνου δικτύου βασίζεται στην βέλτιστη ικανοποίηση των ενδιαφερόντων των μελών που συμμετέχουν σε αυτό, αποσβένοντας έτσι την σύγκρουση συμφερόντων στην λήψη αποφάσεων.

Σημειώνεται επίσης, ότι τα μικροδίκτυα μπορούν να διαφέρουν σε κλίμακα εφαρμογής. Έτσι μπορούν να υπάρχουν μικροδίκτυα που να συντονίζουν ολόκληρα τοπικά συστήματα διανομής, μικροδίκτυα που να διαχειρίζονται ένα σύμπλεγμα μερικών κτηρίων ή άλλων καταναλώσεων και μικροδίκτυα σε οικιακό αποκλειστικά επίπεδο, όπως βλέπουμε στην Εικόνα 7.3. Καθώς ένα μικροδίκτυο μεγαλώνει σε κλίμακα εφαρμογής, είναι πιο πιθανό να εξοπλίζεται με περισσότερες δυνατότητες κάλυψης ισχύος, και να μπορεί να ανταποκρίνεται καλύτερα στις μεταβολές των φορτίων και τις μεταβολές ισχύος από μονάδες μη-εγγυημένης παραγωγής. Γενικά, η μέγιστη κάλυψη φορτίου, σε ένα μικροδίκτυο (με όρους μέγιστης ζήτησης) περιορίζεται σε μερικά MW, τουλάχιστον για τα ευρωπαϊκά δεδομένα, άλλες περιοχές μπορεί να έχουν διαφορετικά ανώτατα όρια κάλυψης.

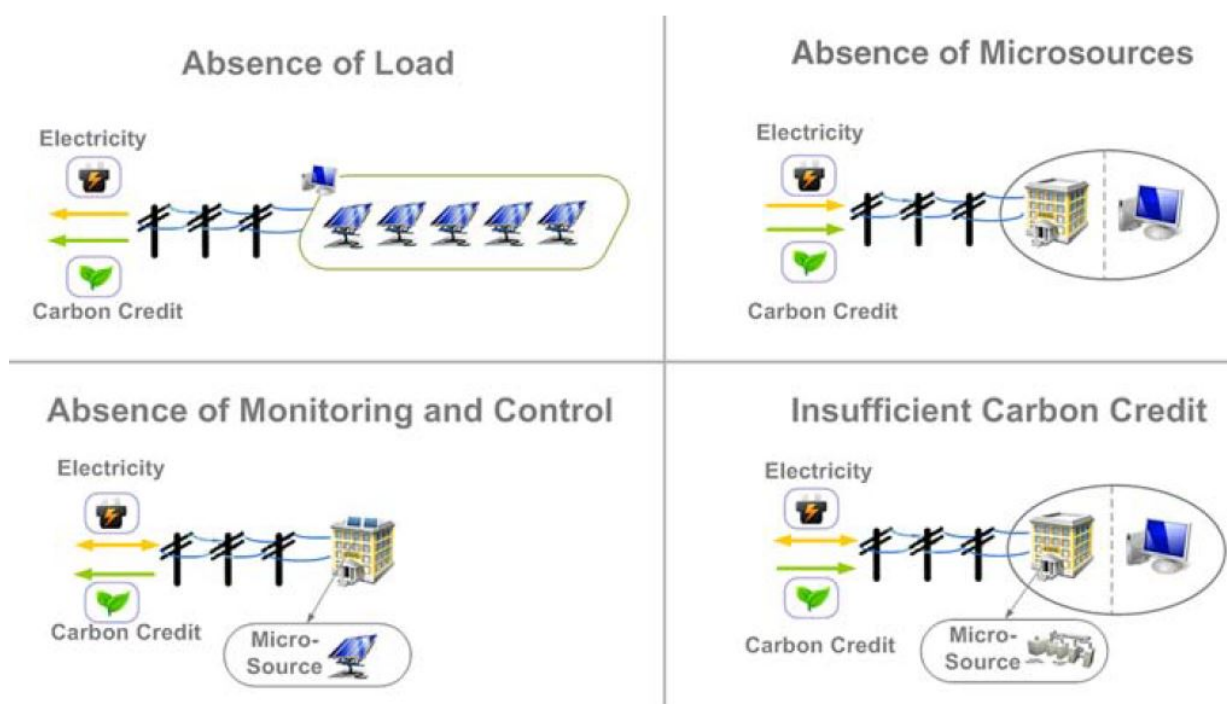
Στις υψηλότερες τάσεις, εφαρμόζονται οι προσεγγίσεις των multi-microgrids, κατά τις οποίες συντονίζονται πολλά μικροδίκτυα μαζί και μεγάλης κλίμακας διεσπαρμένες πηγές, μέσω των δικτύων μέσης τάσης.



Εικόνα 7.3:(1) Μικροδίκτυο σε ολόκληρο σύστημα διανομής, (2) Μικροδίκτυο σε ένα σύμπλεγμα καταναλωτών, (3) Μικροδίκτυο εντός μίας οικίας.[1]

7.3.2 Τι δεν είναι μικροδίκτυο

Εύκολα δημιουργούνται παρανοήσεις σχετικά με το ποια εφαρμογή αποτελεί μικροδίκτυο. Παράδειγμα, η χρήση φωτοβολταϊκών στην ταράτσα για την μερική κάλυψη αναγκών της οικίας και διάθεση περισσευούμενης ενέργειας στο δίκτυο, δεν αποτελεί μικροδίκτυο. Ένα πρόγραμμα διαχείρισης ζήτησης σε μία περιοχή με διεσπαρμένες πηγές, δεν αποτελεί μικροδίκτυο. Ένα χωράφι με φωτοβολταϊκά συνδεδεμένο σε ένα δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης δεν μετατρέπει το δίκτυο διανομής σε μικροδίκτυο. Στην Εικόνα 7.4 απεικονίζονται περιπτώσεις, οι οποίες δεν αποτελούν μικροδίκτυα. Δηλαδή, τα χαρακτηριστικά των μικροδικτύων, όπως η διαχείριση φορτίων, οι τοπικές πηγές ενέργειας και ο έξυπνος έλεγχος, από μόνα τους δεν αποτελούν μικροδίκτυα, μπορούν να περιγραφούν πιο απλά ως περιπτώσεις διασύνδεσης διεσπαρμένων πηγών ή εφαρμογές διαχείρισης ζήτησης.



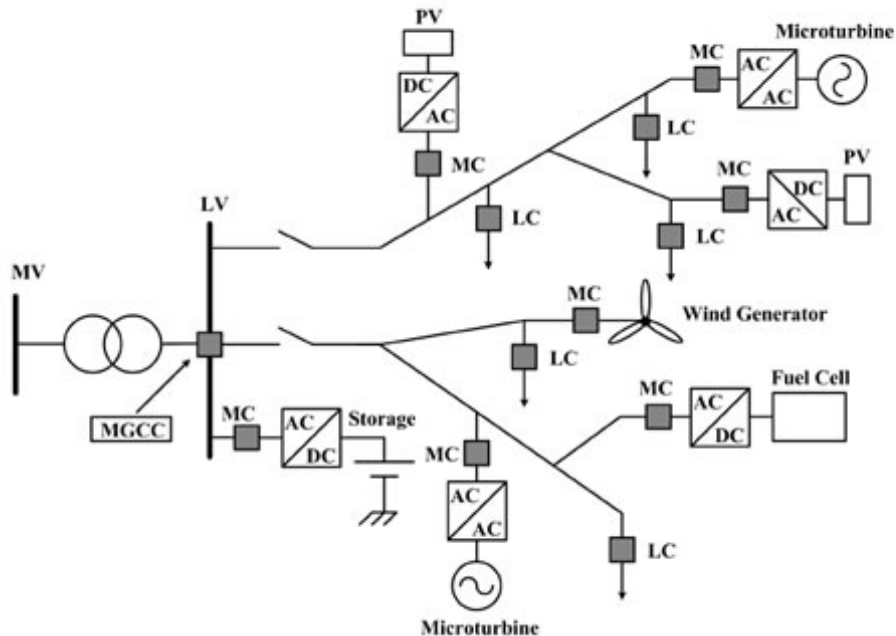
Εικόνα 7.4: Περιπτώσεις που δεν ισχύει ο ορισμός των μικροδικτύων. [1]

Ακόμη σε πολλές χώρες, έχουν υιοθετηθεί πολιτικές προστασίας περιβάλλοντος που προωθούν την παροχή πιστώσεων σε εκπομπές άνθρακα (carbon credits), σε μια προσπάθεια δημιουργίας κινήτρων, για την ενσωμάτωση περισσότερων τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας και τεχνολογιών συμπαραγωγής. Ένα χαρακτηριστικό που πρέπει να ενσωματωθεί στα συστατικά των μικροδικτύων.

Ορισμένοι ορισμοί όπως εδώ [2], βάζουν σαν προϋπόθεση ότι τα μικροδίκτυα πρέπει επίσης να έχουν ένα μονάχα σημείο σύνδεσης με το κυρίως δίκτυο (A point of common connection), αλλιώς αν υπάρχουν σε ένα δίκτυο πολλαπλά σημεία διασύνδεσης δεν μπορούν να θεωρηθούν ως μικροδίκτυα.

7.4 Δομή Μικροδικτύου

Η γενική δομή για ένα μικροδίκτυο και η θέση του σε σχέση με το σύστημα διαχείρισης των δικτύων διανομής (Distribution Management System) DMS, παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 7.5: Δομή Μικροδικτύου

Οι βασικές μονάδες που απαρτίζουν ένα μικροδίκτυο είναι οι αντιστροφείς, οι μονάδες αποθήκευσης και οι ελεγκτές. Τα βασικά χαρακτηριστικά και οι λειτουργία τους περιγράφονται παρακάτω.

- *Αντιστροφείς:* Οι περισσότερες μικροπηγές του μικροδικτύου συνδέονται στο υπόλοιπο δίκτυο μέσω μετατροπών. Οι αυξημένες δυνατότητες που προσφέρουν οι σύγχρονοι αντιστροφείς καθιστούν δυνατό τον έλεγχο της παραγωγής ενεργού και αέργου ισχύος και κατά συνέπεια της τάσης και της συχνότητας σε απομονωμένη λειτουργία.

- *Μονάδες Αποθήκευσης:*

Το βασικό πρόβλημα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι δεν μπορεί να αποθηκευτεί εύκολα σε εκτεταμένη κλίμακα. Σχεδόν όλη η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα είναι ταυτόχρονη με την παραγωγή της. Ωστόσο για την λειτουργία των μικροδικτύων, εφόσον αυτά περιλαμβάνουν μεγάλη παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, είναι ιδιαίτερα επιθυμητή η παρουσία μονάδων αποθήκευσης ενέργειας. Οι βασικές μονάδες αποθήκευσης είναι:

- Ηλεκτρικοί συσσωρευτές ή κοινώς μπαταρίες και κυρίως μπαταρίες μολύβδου οξέος, που αποτελούν μονάδες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας μετά την ηλεκτροχημική μετατροπή της.
- Μονάδες που λειτουργούν με πεπιεσμένο αέρα (Compressed Air Energy Storage, CAES), όπου ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την συμπίεση ποσότητας αέρα η οποία στη συνέχεια κινώντας έναν στρόβιλο αναπαράγει την 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.
 - Υπεραγωγίμες διατάξεις. Εφαρμογές με διατάξεις που χρησιμοποιούν υγρό ήλιο είναι ήδη σε εμπορική εκμετάλλευση ενώ επίσης διατάξεις υγρού αζώτου αναμένονται στο άμεσο μέλλον.
 - Διατάξεις άντλησης. Η ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές χρησιμοποιείται για άντληση νερού σε υψηλότερη υψομετρική στάθμη. Κατόπιν ηλεκτρική ενέργεια παράγεται όταν ζητηθεί με έναν υδροστρόβιλο.
- *Μονάδες Ελέγχου:*

Για να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη, το σύστημα ελέγχου του μικροδικτύου θα πρέπει να είναι σε θέση να προσφέρει τα ακόλουθα :

- Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στα τοπικά φορτία.
- Συμμετοχή στις ενεργειακές αγορές με στόχο τη μείωση του λειτουργικού κόστους και την αύξηση των κερδών των ιδιοκτητών διεσπαρμένης παραγωγής.
- Κατά το δυνατόν αδιάλειπτη παροχή ενέργειας σε κρίσιμα φορτία.
Συνεισφορά στη μείωση των ρύπων που οφείλονται στην τοπική ζήτηση.
- Παροχή βοηθητικών υπηρεσιών στο τοπικό δίκτυο διανομής όπως έλεγχος τάσης και αέργου ισχύος.
- Νησιδοποίηση και επανεκκίνηση του δικτύου μετά από σφάλμα στο ανάντη δίκτυο.

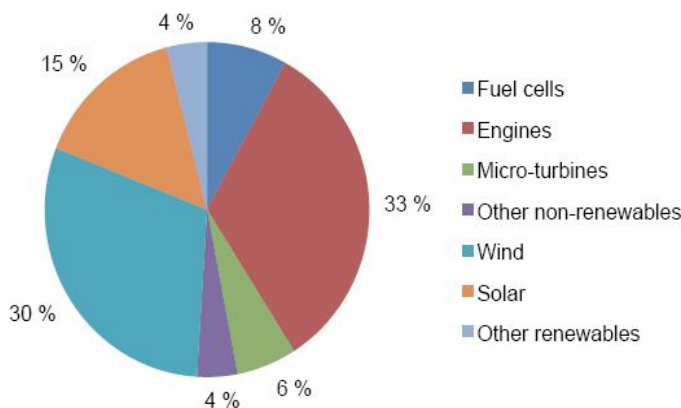
Ένα μικροδίκτυο θεωρείται ότι λειτουργεί ως τμήμα του δικτύου διανομής και μπορούν να διακριθούν τρία ιεραρχικά επίπεδα ελέγχου.

- Διαχειριστής δικτύου διανομής (DNO) και Διαχειριστής Αγοράς (MO).
- Κεντρικός ελεγκτής Μικροδικτύου (MGCC).
- Τοπικοί ελεγκτές (LC), οι οποίοι διακρίνονται σε ελεγκτές μικροπηγών (EM) και ελεγκτές φορτίου (EF).

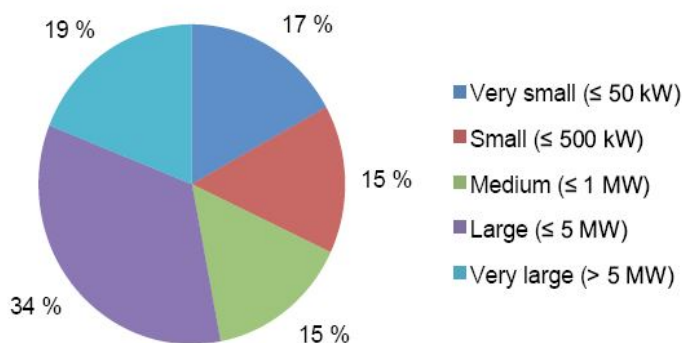
7.5 Μικροδίκτυα ανά τον κόσμο

Παρόλο που τα μικροδίκτυα έχουν διατυπωθεί τα τελευταία μόλις χρόνια, έχουν δημιουργηθεί αρκετά, σε ερευνητικό στάδιο, που ικανοποιούν τουλάχιστον κάποιες από τις προϋποθέσεις, ενός λειτουργικού μικροδίκτυου, με τις περισσότερες απλά να αποτελούν συστήματα με διανεμημένες πηγές ενέργειας, Πίνακας 7.1. Αυτές οι εγκαταστάσεις παρέχουν πολύτιμες γνώσεις, σχετικά με τα τεχνικά προβλήματα σωστής λειτουργίας, που πρέπει να επιλυθούν και τα πιθανά οφέλη που προκύπτουν, από την εφαρμογή του νέου αυτού μοντέλου διαχείρισης.

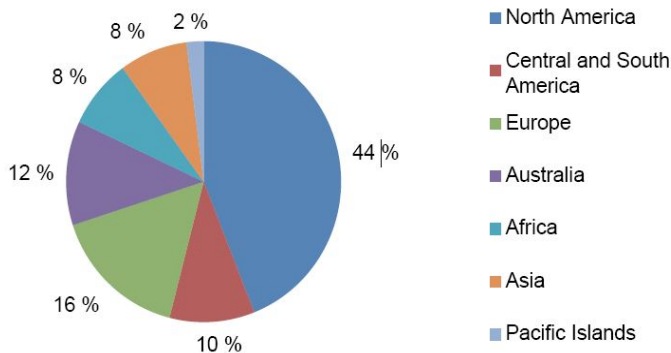
Εξετάζοντας αυτά τα συστήματα ως προς την σύσταση των πηγών τους, Εικόνα 7.6, παρατηρούμε πως οι ανεμογεννήτριες είναι μακράν οι πιο δημοφιλείς ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα αποκεντρωμένα δίκτυα, και ύστερα έπονται τα ηλιακά συστήματα. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης βλέπουμε πως αποτελούν το βασικό μέσω παραγωγής ισχύος, ενώ οι κυψέλες καύσιμου παρά το υψηλό κόστος τους καταλαμβάνουν ένα σημαντικό ποσοστό της εγκατεστημένης ισχύος.



Εικόνα 7.6: Χρήση πηγών στα αποκεντρωμένα δίκτυα και στα μικροδίκτυα.[2]



Εικόνα 7.7: Μέγεθος συστημάτων στα αποκεντρωμένα δίκτυα και στα μικροδίκτυα.



Εικόνα 7.8: Τοποθεσίας εγκατάστασης αποκεντρωμένων δικτύων και μικροδικτύων.

Στην περίπτωση της μέγιστης εγκατεστημένης ισχύος, Εικόνα 7.7, στα συστήματα αυτά, παρατηρούμε μία σχετική ομοιόμορφη κατανομή, μεταξύ των διαφόρων επιπέδων ισχύος. Με αρκετά στοιχεία να υποστηρίζουν πως όλα τα υλοποιημένα συστήματα, να παρουσιάζουν αρκετά αξιόπιστη συμπεριφορά, ανεξαρτήτως ισχύος.

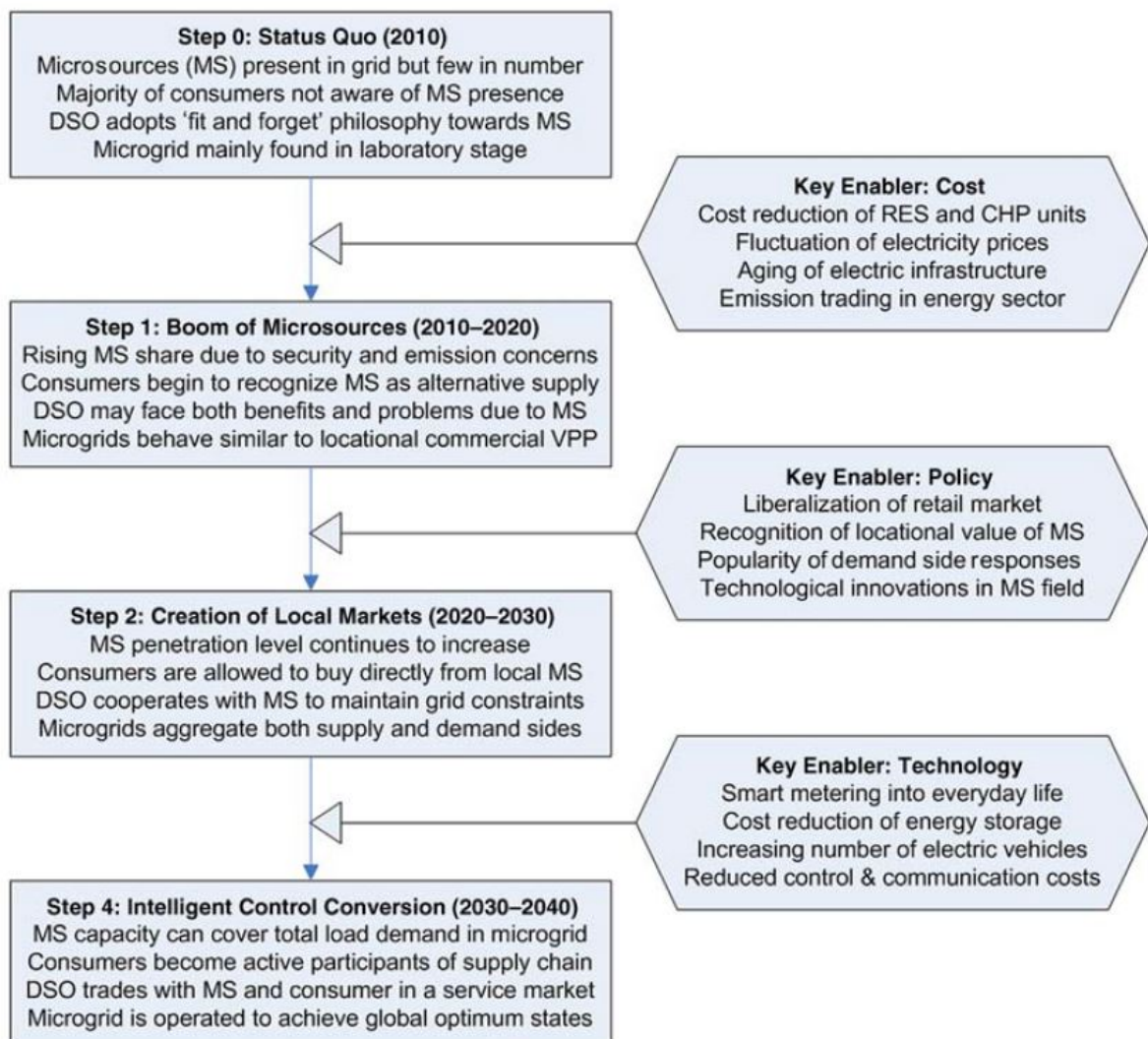
Με βάση της περιοχές που πραγματοποιούν έρευνες πάνω στα μικροδίκτυα, Εικόνα 7.8, και γενικότερα στα αποκεντρωμένα δίκτυα, η βόρεια Αμερική έχει πραγματοποιήσει τα περισσότερα προγράμματα, μερικώς επειδή επιθυμούν να αναβαθμίσουν το ηλεκτρικό τους δίκτυο ύστερα από κάποια καταστροφικά μπλάκ άουτ. Ακολουθεί η Ευρώπη με σημαντικά προγράμματα, σε όλη την επικράτεια της, όπως αυτά στην Κύθνο, στο Mannheim της Γερμανίας και στο Bronsbergen στην Ολλανδία.

Πίνακας 7.1: Μερικές ερευνητικές εφαρμογές στα μικροδίκτυα, ανά τον κόσμο[2].

Όνομα	Περιοχή	Έρευνα/ χαρακτηριστικά	Χωρητικότητα	Αποθήκευση
Μικροδίκτυο Κύθνου	Νήσος Κύθνος, Ελλάδα	Παροχή ισχύος σε απομονωμένη κοινότητα Μη σύνδεση με το δίκτυο	12 kW Φ/β 85 kWh μπαταρίες 5kW εμβολοφόρα μηχανή	Μπαταρίες
Μικροδίκτυο νήσου Utsira	Νήσος Utsira, Νορβηγία	Ερευνητικό πρόγραμμα Πλήρως αυτόνομο Σύνδεση με το δίκτυο μέσω υπογείου καλωδίου Παροχή υπηρεσιών σε 10 κατοικίες	1.2 MW Ανεμογεννήτριες 50 kWh μπαταρίες 5 kWh σφόνδυλος 48 kWh μέσω Ηλεκτρόλυσης 10 kW Κυψέλη καυσίμου 55 kW Εμβολοφόρα μηχανή	Μπαταρίες Σφόνδυλος Υδρογόνο
Μικροδίκτυο νήσου King Island	Νήσος King Island, Τασμανία, Αυστραλία	18 % διείσδυση Ανεμο/τριων Παροχή υπηρεσιών στο νησί	110 kW Ηλιακά 1 MWh Μπαταρία 2.45 MW Ανεμο/τριες	Μπαταρία Ροής (Flow battery)
Hachinohe Regional Power Grid	Hachinohe, Japan	Χρήση συμπαραγωγής Αποσύνδεση από το κυρίως δίκτυο με χειροκίνητο τρόπο Δεν εξάγει ισχύ στο κυρίως δίκτυο Έλεγχος παραγωγής/ζήτησης Πρόγνωση καιρού	70 kW Φ/Β 20 kW Ανεμο/τριες 510 kW εμβολοφόρα μηχανή 100 kW Μπαταρίες	Μπαταρίες
NTT Facilities' Tohoku Fukushi University microgrid	Tohoku Fukushi University, Sendai, Japan	Εξυπηρετεί 5 πανεπιστημιακά κτήρια, ένα γηροκομείο, ένα λύκειο, μια μονάδα επεξεργασίας νερού Χρήση AC και υψηλής τάσης DC με σύνδεση στο κυρίως δίκτυο.	50 kW Φ/Β 250 kW Κυψέλη καυσίμου 700 kW εμβολοφόρα μηχανή 800 kVA Μπαταρίες	Μπαταρίες

7.6 Προκλήσεις στην υλοποίηση των μικροδικτύων

Παρόλο που τα μικροδίκτυα υπόσχονται το πέρασμα σε πιο αποδοτικά ηλεκτρικά δίκτυα και εκφράζουν ένα τρόπο βελτιωμένης αξιοπιστίας, σε ενδεχόμενα διαταραχών, υπάρχουν αρκετές θεμελιακές, τεχνικές και μη, προκλήσεις που πρέπει να διευθετηθούν, πριν τα μικροδίκτυα αντικαταστήσουν τις τωρινές δομές ηλεκτρικών δικτύων. Τα βασικά εμπόδια συνοψίζονται στο κόστος, τις πολιτικές διαχείρισης και στην υπάρχουσα διαθέσιμη τεχνολογία. Αυτοί οι παράγοντες περιορίζουν σημαντικά την ευρεία ενσωμάτωση των μικροδικτύων στα δίκτυα χαμηλής τάσης, καθώς περιορίζουν την εμπορική τους ζήτηση και την κοινωνική τους αποδοχή. Παρόλα αυτά, τα στοιχεία αυτά που αποτελούν εμπόδια σήμερα, υφίστανται σημαντικές αλλαγές καθώς η έρευνα στα μικροδίκτυα εξελίσσεται και απόδοση των διεσπαρμένων πηγών βελτιώνεται, όπου στο κοντινό μέλλον είναι πιθανό να αποτελέσουν τους παράγοντες κλειδί για την ευρεία εγκατάσταση των μικροδικτύων παγκοσμίως. Στην Εικόνα 7.9 βλέπουμε τον δρόμο προς την ευρεία ενσωμάτωση των μικροδικτύων.



Εικόνα 7.9: Ατζέντα ενσωμάτωσης μικροδικτύων[1]

7.6.1 Συγχρονισμός πολλαπλών μικρών γεννητριών

Η χρήση πολλαπλών διεσπαρμένων πηγών μπορεί προκαλέσει πολλά προβλήματα σε ένα μικροδίκτυο, που δεν είναι συνδεδεμένο στο κυρίως δίκτυο. Επειδή, χωρίς την παρεχόμενη στρεφόμενη εφεδρεία, από το ευρύτερο δίκτυο, οι πολλαπλές γεννήτριες χάνουν την κεντρική κύρια δύναμη σταθεροποίησης, στο σύστημα. Αυτό προκαλεί πολλά ζητήματα στις δυνατότητες σταθεροποίησης της τάσης και της συχνότητας στο μικροδίκτυο. Τέτοια ζητήματα μπορούν να επιλυθούν με την ανάπτυξη μεθόδων ευφυούς ελέγχου, που συγχρονίζουν σε πραγματικό χρόνο τις συσκευές. Τυπικά, τέτοιες μέθοδοι βασίζονται σε σχετικά υψηλές ταχύτητες και διευρυμένες υποδομές επικοινωνιών, ώστε να μπορούν να συνδέονται και να επικοινωνούν ταχύτητα όλα τα συστατικά μέρη του μικροδικτύου.

Συνοψίζοντας, παρόλο που υπάρχουν λύσεις, η διαχείριση ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται σε πολλά μικρά συστατικά μέρη παραγωγής, σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα που βασίζονται σε μεγάλες γεννήτριες, είναι αρκετά πιο πολύπλοκη διαδικασία.

7.6.2 Η χρήση αντιστροφών (Inverters)

Σε ένα μικροδίκτυο, οι αντιστροφείς μετατρέπουν την συνεχή έξοδο, μιας γεννήτριας, σε εναλλασσόμενη, ελέγχουν την συχνότητα της γεννήτριας, ελέγχουν την ροή ισχύος στο δίκτυο και παρέχουν βασική προστασία, από σφάλματα. Η πρόκληση, στην επιτυχή ενσωμάτωση των αντιστροφών σε ένα μικροδίκτυο, είναι η επίτευξη της παράλληλης λειτουργίας τους, προκειμένου να συντονίζονται με συγχρονισμό τις διάφορες ετερογενείς πηγές, χωρίς απώλειες συγχρονισμού, διάδοση αρμονικών και αποσταθεροποίηση του συστήματος.

Σε ένα σύστημα με έστω ένα μικρό αριθμό αντιστροφών παρουσιάζεται το παρακάτω δίλημμα. Αν η διαχείριση των αντιστροφών γίνει με κεντρικό έλεγχο (master-slave control), ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται, αλλά απαιτεί υψηλής ευρυζωνικότητας συνδέσεις για την μεταφορά των σημάτων ελέγχου. Σε αντίθεση, η αποκεντρωμένη προσέγγιση, με τους ελεγκτές να βρίσκονται εντός των αντιστροφών, μειώνεται το απαιτούμενο bandwidth, αλλά με κόστος την δυσκολία συγχρονισμού.

Παρόλο που έχουν μελετηθεί οι διάφοροι τρόποι δικτυακής επικοινωνίας, μεταξύ μικρού αριθμού αντιστροφών και έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές εφαρμογές, για μεγαλύτερο αριθμό διασύνδεσης αντιστροφών εγείρονται διάφοροι προβληματισμοί, ως προς την επεκτασιμότητα των μεθόδων που χρησιμοποιούνται ήδη στα μικρού μεγέθους συστήματα.

7.6.3 Διακοπτόμενη παραγωγή ισχύος από τις ΑΠΕ

Οι διεσπαρμένες πηγές βασισμένες στις ΑΠΕ, όπως τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες, αποτελούν επιπλέον πρόκληση στην ανάπτυξη των μικροδικτύων. Η διακοπτόμενη παροχή ισχύος από τις ΑΠΕ, (λόγω καιρικών μεταβολών: συννεφιά, απότομη άπνοια) σημαίνει πως παρέχουν ισχύ στο σύστημα με τρόπο απρόβλεπτο. Οι λύσεις εδώ κυμαίνονται από την χρήση συσσωρευτών ή άλλων μονάδων αποθήκευσης, προκειμένου να κανονικοποιούνται οι μεταβολές στην παραγωγή ισχύος, μέχρι τη χρήση τεχνικών για την ταύτιση της ζήτησης στην μεταβαλλόμενη παραγωγή, καθώς και την ενσωμάτωση μετεωρολογικών προβλέψεων, που βοηθούν το σύστημα να προβλέπει την παραγωγή.

7.6.4 Μελέτη και σχεδιασμός μικροδικτύων

Ο μεγάλος αριθμός των αρκετά διαφορετικών συσκευών που απαρτίζουν τα μικροδίκτυα, κάνουν τον σχεδιασμό τους αρκετά πολύπλοκο. Παράμετροι, όπως κόστος εγκατάστασης, περιβαλλοντική επίδραση, απώλειες γραμμών, συνδεσιμότητα με το δίκτυο, διάρκεια πρωτογενών πηγών, αξιοποίηση χαμένης θερμότητας, αξιοπιστία, χωρητικότητα ισχύος κατά την διάρκεια

απομόνωσης και άλλοι φυσικοί περιορισμοί επηρεάζουν το σύνολο των αποφάσεων που πρέπει να παρθούν για την υλοποίηση ενός μικροδικτύου. Συχνά, η μεγιστοποίηση μίας παραμέτρου, όπως για παράδειγμα της αξιοπιστίας, έρχεται σε αντίθεση με κάποια άλλη παράμετρο, όπως την ελαχιστοποίηση του κόστους. Τελικώς, η πολυπλοκότητα σημαίνει πώς η χρήση γενικών κατευθυντήριων γραμμών και πρακτικών κανόνων, για την σχεδίαση μικροδικτύων είναι ακατάλληλη, καθώς απαιτείται η εφαρμογή ανεπτυγμένων μεθόδων βελτιστοποίησης για κάθε υλοποίηση μικροδικτύου ξεχωριστά, προκειμένου να τηρηθούν οι προσδοκώμενες προδιαγραφές. Τέτοια ανεπτυγμένα εργαλεία για την επίτευξη βελτιστοποίησης στον σχεδιασμό τόσο πολύπλοκων συστημάτων, μόλις τα τελευταία χρόνια άρχισαν να αναπτύσσονται, με την βοήθεια συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης.

7.6.5 Απομόνωση μικροδικτύου (Islanding)

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα στα μικροδίκτυα είναι η δυνατότητα αντιμετώπισης βλαβών που προέρχονται από το κυρίως δίκτυο, με την ελάχιστη απώλεια υπηρεσιών στο τοπικό επίπεδο. Με την ταχύτερη αποσύνδεση από προβληματικά συστήματα, την άμεση προσαρμογή της τοπικής παραγωγής και την αποκοπή φορτίων χαμηλής προτεραιότητας τα μικροδίκτυα παρέχουν εγγυημένα υψηλή αξιοπιστία στα φορτία υψηλής προτεραιότητας. Παρόλα αυτά, η επίτευξη ενός τέτοιου στόχου δεν είναι απλή. Αρχικά, αμέσως μόλις εντοπιστεί βλάβη στο κυρίως δίκτυο, το μικροδίκτυο πρέπει να μεταβεί σε έκτακτη (ή απομονωμένη) λειτουργία με ελεγχόμενο τρόπο, ύστερα με παράλληλη συνεργασία των τοπικών πηγών, φροντίζει την κάλυψη των φορτίων, όπου στην περίπτωση που δεν αρκεί η παρεχόμενη ισχύς, τα λιγότερο κρίσιμα φορτία πρέπει να αποσυνδεθούν γρήγορα ώστε το σύστημα να μην καταρρεύσει, από την μη καλυπτόμενη ζήτηση. Τέλος, με την επαναφορά της λειτουργίας του κεντρικού δικτύου, το μικροδίκτυο πρέπει να κάνει τις απαιτούμενες ενέργειες για την ασφαλή επανασύνδεση του με το δίκτυο, προκειμένου να επιστρέψει στην κανονική του λειτουργία. Καταλήγοντας, η διαχείριση όλων αυτών των μεταβατικών καταστάσεων αποτελεί μια μεγάλη τεχνική πρόκληση, και χρειάζεται πολύ δουλειά στην ανάπτυξη αξιόπιστων, ευέλικτων και σχετικά φτηνών ελεγκτών που θα την πραγματοποιήσουν.

7.6.6 Προστασία μικροδικτύων

Γενικά, συσκευές, όπως ασφαλειοδιακόπτες, που εντοπίζουν και απομονώνουν σφάλματα στα ηλεκτρικά συστήματα λειτουργούν με την προϋπόθεση ότι ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι πολύ μεγαλύτερο από το ονομαστικό ρεύμα των φορτίων. Σε ένα μικροδίκτυο, η ισχύς ρέει συχνά σε διάφορες κατευθύνσεις, ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας που βρίσκεται. Η κατάσταση αυτή, κάνει τον εντοπισμό των σφαλμάτων δύσκολη υπόθεση, καθώς δεν υπάρχουν πάντα ρεύματα βραχυκύκλωσης, όπως στο μακροδίκτυο. Αυτό κάνει την σχεδίαση των συστημάτων προστασίας αρκετά μεγάλη πρόκληση, αφού ένα βραχυκύκλωμα στο μικροδίκτυο μπορεί να έχει παρόμοια τιμή με άλλα ρεύματα κανονικής λειτουργίας.

7.6.7 Μοντελοποίηση και εξομοίωση μικροδικτύων

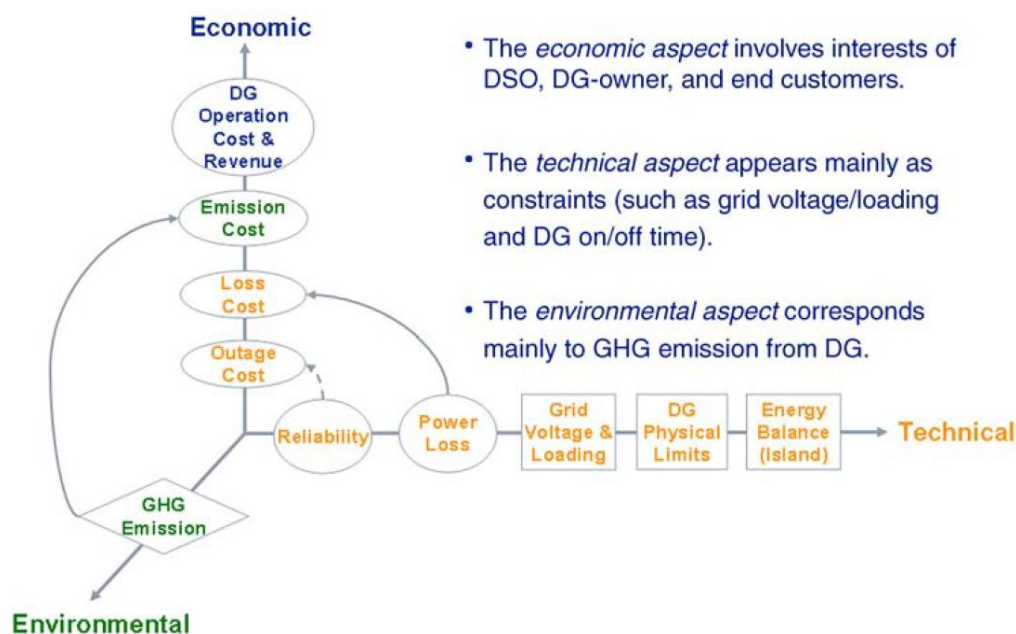
Η εγκατάσταση πειραματικών μικροδικτύων είναι μια αρκετά ακριβή επιλογή. Έτσι, οι μηχανικοί που ερευνούν την ανάπτυξη των μικροδικτύων βασίζονται σε λογισμικά προγράμματα μοντελοποίησης, για την πρόγνωση της λειτουργίας και της απόδοσης των μικροδικτύων. Όμως, δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο λογισμικό εργαλείο με στοιχεία, για την πλήρη και ακριβή μοντελοποίηση ενός μικροδικτύου. Επιπλέον, παρά το γεγονός ότι αρκετές διεσπαρμένες πηγές υπάρχουν, εδώ και αρκετό καιρό, λίγα μοντέλα είναι αρκετά ακριβείς στην περιγραφή της πραγματικής λειτουργίας τους (όπως στις ανεμογεννήτριες, τα φωτοβολταϊκά και τις κυψέλες καυσίμου) σε συνδυασμό κιάλας με τους ελεγκτές που τις συνοδεύουν. Ακόμη, δεν υπάρχει κοινή συναίνεση στα μοντέλα που αφορούν τον οικονομικό προγραμματισμό των μικροδικτύων. Παρόλο, που γίνονται αρκετές αρκετές έρευνες στην ανάπτυξη διαφόρων μοντέλων τόσο για τεχνικά όσο και για οικονομικά χαρακτηριστικά των μικροδικτύων, τα αποτελέσματα είναι ακόμα ανεπαρκή και απαιτείται πολύ ανάπτυξη ακόμα σε αυτή την περιοχή.

7.6.8 Κόστος μικροδικτύων

Ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια στην καθιέρωση των μικροδικτύων είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης ,ανά kWh, των διεσπαρμένων πηγών σε σχέση με τους μεγάλους σταθμούς κεντρικής παραγωγής. Επίσης, το υψηλότερο κόστος παραγωγής ισχύος ανά kWh στις διεσπαρμένες πηγές συχνά χαρακτηρίζεται ως μειονέκτημα, ενώ αρκετή ανησυχία υπάρχει γύρω από τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας. Πρόσφατες έρευνες παρόλα αυτά, βρίσκουν πως το κόστος παραγωγής σε ένα μικροδίκτυο είναι συγκρίσιμο με την παρούσα παραγωγή, όσο η υποστήριξη των φωτοβολταϊκών στην παραγωγή είναι παρούσα[2]. Επιπρόσθετα, στις αναπτυσσόμενες χώρες, που δεν υπάρχουν υποδομές ηλεκτρικών δικτύων, οι διανεμημένες πηγές ενέργειας είναι πιο πιθανό να είναι οικονομικά αποτελεσματικές, αφού το κόστος εγκατάστασης τους, είναι συγκρίσιμο με το κόστος εγκατάστασης γραμμών υψηλής τάσης. Τέλος, τα οικονομικά κόστη συμπεριλαμβάνονται σε πολλές μελέτες βελτιστοποίησης των μικροδικτύων, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται τα περιβαλλοντικά κόστη (μετρώντας τις εκπομπές καυσαερίων διοξειδίου του άνθρακα) και συγκρίνονται με τα κόστη από τα συμβατικά συστήματα, προκειμένου να διαπιστωθεί η οικονομική βιωσιμότητα των μικροδικτύων, παράδειγμα η εισαγωγή φόρων στις εκπομπές καυσαερίων των ΣΗΕ, ως πολιτικές περιβαλλοντικής προστασίας, αυτομάτως κάνουν τα μικροδίκτυα πιο ανταγωνιστικά, καθώς χρησιμοποιούν ποικίλες τεχνολογίες παραγωγής και κάνουν χρήση συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας.

7.7 Στρατηγικές λειτουργίας μικροδικτύων

Η τελική διαμόρφωση και ο σχεδιασμός λειτουργίας των μικροδικτύων εξαρτάται κυρίως από τους στόχους των διαφόρων συμμετεχόντων σε αυτό, (οι διαχειριστές δικτύου, οι κάτοχοι ή οι διαχειριστές των διεσπαρμένων πηγών, οι προμηθευτές ηλεκτρικής ενέργειας, η καταναλωτές και οι ρυθμιστικοί φορείς), όπου πολλές φορές ο καθένας έχει διαφορετικούς στόχους, με αποτέλεσμα την σύγκρουση συμφερόντων. Επομένως, ο κεντρικός στόχος της βέλτιστης λειτουργίας ή του κατάλληλου προγραμματισμού στα μικροδίκτυα, μπορεί να αναλυθεί σε τρεις συνιστώσες στόχων, τον οικονομικό, τον τεχνικό και τον περιβαλλοντικό, Εικόνα 7.10.



Εικόνα 7.10: Στρατηγικές λειτουργίας μικροδικτύων[1]

Ανάλογα λοιπόν, τα ενδιαφερόμενα μέρη ενός μικροδικτύου, έχουν την δυνατότητα τεσσάρων επιλογών λειτουργίας, την οικονομική λειτουργία, την βέλτιστη τεχνικά λειτουργία, την πιο περιβαλλοντικά φιλική λειτουργία και την λειτουργία που συνδυάζει βέλτιστα τους παραπάνω στόχους, με βάση κάποιες προϋποθέσεις.

Στην οικονομική λειτουργία, προτεραιότητα δίνεται στην ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους και στην μεγιστοποίηση των κερδών, ασχέτως της απόδοσης λειτουργίας του δικτύου. Αυτή η επιλογή μπορεί να θεωρείται επιθυμητή, για παράδειγμα, από τους κατόχους και τους διαχειριστές των διεσπαρμένων πηγών. Έτσι οι διεσπαρμένες πηγές λειτουργούν χωρίς την ανησυχία των υποχρεώσεων, ως προς το δίκτυο ή το περιβάλλον.

Στην τεχνική επιλογή, βελτιστοποιείται η λειτουργία του μικροδικτύου (ελαχιστοποιώντας τις απώλειες μεταφοράς, την διακύμανση τάσης, την φόρτιση λειτουργίας των πηγών) χωρίς να δίνεται σημασία στο λειτουργικό κόστος και τα έσοδα. Μια τέτοια λειτουργία θα ήταν επιθυμητή από τους διαχειριστές του συστήματος.

Στην περιβαλλοντική επιλογή, δίνεται προτεραιότητα λειτουργίας στις ΑΠΕ, αδιαφορώντας για τις οικονομικές ή τεχνικές πτυχές. Αυτή η επιλογή προτιμάτε από ρυθμιστικούς φορείς που θέλουν να πιάσουν κάποιους περιβαλλοντικούς στόχους.

Τέλος, η συνδυαστική λειτουργία, επιλύει το πρόβλημα καθορισμού της βέλτιστης λειτουργίας του μικροδικτύου, λαμβάνοντας υπόψη τις οικονομικές, τις τεχνικές και τις περιβαλλοντικές συνιστώσες. Μετατρέπει τα τεχνικά και τα περιβαλλοντικά κριτήρια σε οικονομικά ισοδύναμα, συμπεριλαμβάνοντας τους περιορισμούς τόσο αυτών στο δίκτυο όσο και εκείνων που έχουν οι διεσπαρμένες πηγές. Έτσι καθορίζεται η κατάλληλη επιλογή για όλους τους συμμετέχοντες.

7.8 Πολιτικές Συμμετοχής του Μικροδικτύου σε Αγορά Ενέργειας

Εντός του μικροδικτύου αναμένεται να λειτουργήσει μια μικρή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, τουλάχιστον για τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας. Ο στόχος είναι να βελτιστοποιηθεί η οικονομική λειτουργία λαμβάνοντας υπ' όψιν τεχνικούς περιορισμούς. Η βελτιστοποίηση μπορεί να είναι είτε ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής χωρίς ανταλλαγή με το δίκτυο, είτε μεγιστοποίηση των κερδών του διαχειριστή του μικροδικτύου. Και στις δύο περιπτώσεις η κάθε μια από τις N μικροπηγές υποβάλλει πρόσφορα για την παραγωγή και πώληση ενεργού ισχύος, η οποία συμβολίζεται από την μεταβλητή ενεργός_προσφορά(x_i), όπου x_i η ενεργός παραγωγή κάθε μιας από τις i - μικροπηγές. Η πλήρης μορφή της συνάρτησης προσφοράς προκειμένου για συνεχή συνάρτηση κόστους δίνεται από την ακόλουθη συνάρτηση σε μορφή όχι ασυνήθιστη για μονάδες που καταναλώνουν καύσιμο:

$$\text{ενεργός_προσφορά}(x_i) = a_i \cdot x_i^2 + b_i \cdot x_i + c_i$$

Για τις μονάδες που καταναλώνουν καύσιμο ο όρος c_i αντιπροσωπεύει τον σταθερό όρο για την κατανάλωση καυσίμου. Οι παράμετροι a_i και b_i αντιπροσωπεύουν το μεταβλητό κόστος παραγωγής για αυτές τις μονάδες. Όλες αυτές οι παράμετροι δίνονται σε μορφή χρηματικών μονάδων, ώστε να μπορεί με ευκολία να γίνει η σύγκριση με τις τιμές της αγοράς.

Για τις μονάδες ΑΠΕ, όπως οι ανεμογεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά, η παραγωγή τους δεν μπορεί να ρυθμιστεί εξαρτώμενη μόνο από την διαθεσιμότητα ανέμου και ηλιοφάνειας, ενώ το κόστος λειτουργίας τους είναι αμελητέο. Πρακτικά μπορούν να λειτουργούν όποτε είναι εφικτό μειώνοντας το κόστος παραγωγής του συστήματος.

7.8.1 Η Πολιτική του «Καλού Πολίτη»

Σύμφωνα με αυτήν την πολιτική ο στόχος της λειτουργίας του μικροδικτύου είναι η μείωση του συνολικού κόστους λειτουργίας του με τον περιορισμό ότι δεν θα εξάγει ενέργεια στο ανάντη δίκτυο. Η πολιτική αυτή αναφέρεται στην βιβλιογραφία ως “Good Citizen Policy”- ‘πολιτική του καλού πολίτη’ και η αιτιολόγηση είναι ότι το μικροδίκτυο σε περιόδους αιχμής για το δίκτυο, άρα και υψηλών τιμών αφού οι τιμές στο δίκτυο αντανακλούν την κατάσταση του, μειώνει την επιβάρυνση του δικτύου μειώνοντας τη «φαινόμενη» ζήτησή του.

Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος για αυτήν την πολιτική έχει ως εξής :

Κάθε χρονική περίοδο να γίνει ελαχιστοποίηση του κόστους (cost) όπου:

$$\text{cost} = \sum_{i=1}^N \text{ενεργός_προσφορά}(x_i) + AX$$

όπου:

X , η ενεργός ισχύς που αγοράζεις από το δίκτυο

A , είναι οι τιμές αγοράς ενέργειας

Οι περιορισμοί του προβλήματος βελτιστοποίησης ομαδοποιούνται ως προς:

1. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μικροπηγών, όπως π.χ. τα τεχνικά ελάχιστα και μέγιστα των μονάδων.
2. Το ισοζύγιο ισχύος εντός του μικροδικτύου, που δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$X + \sum_{i=1}^N x_i = P_{\text{ζήτηση}}$$

,όπου $P_{\text{ζήτηση}}$ είναι η ζήτηση ενεργού ισχύος.

Η υλοποίηση μιας τέτοιας πολιτικής λειτουργίας αναμένεται να είναι επιλογή ενός συνεταιρισμού καταναλωτών, αγροτικών, βιοτεχνικών, ή κάποιου δήμου ο οποίος διαχειρίζεται τα κτίριά του ως μια ενιαία οντότητα, ή ακόμα κάποιου συγκροτήματος κατοικιών, π.χ. εργατικές κατοικίες, όπου ο κοινός στόχος είναι η μείωση του κόστους ενέργειας για τους τελικούς χρήστες και η ευελιξία που προσφέρει ένας μεγαλύτερος καταναλωτής στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

7.8.2 Λειτουργία Αγοράς Μικροδικτύου Συμπεριλαμβάνοντας Προσφορές Καταναλωτών - Demand Side Bidding (DSB)

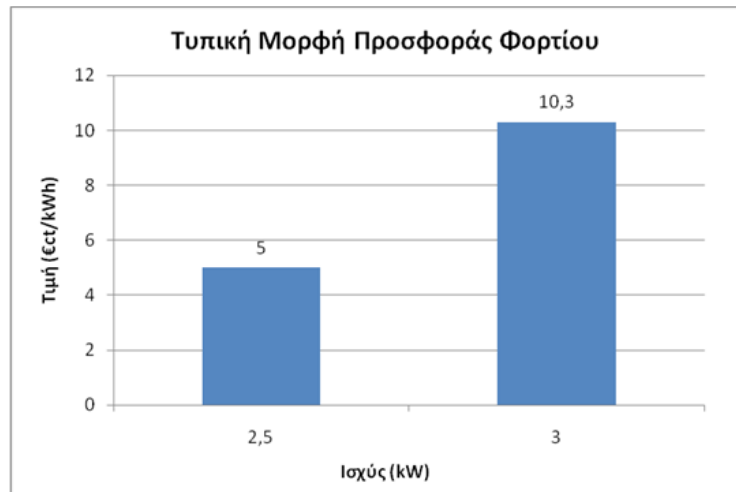
Η διαδικασία της προσφοράς κινήτρων ώστε οι καταναλωτές να αλλάξουν τη μορφή της ζήτησής τους με σκοπό τη μείωση της αιχμής ενός συστήματος, αποτελεί μια συνηθισμένη πρακτική για τη διαχείριση της ζήτησης. Σε σχετικά ερευνητικά προγράμματα μελετώνται τα εξής: οι κάτοικοι ενημερώνονταν με SMS, για την ύπαρξη πλεονάσματος φωτοβολταϊκής παραγωγής, ώστε να προγραμματίσουν στις συγκεκριμένες ώρες το πλύσιμο και άλλες ενεργοβόρες δραστηριότητες τους. Οι καταναλωτές που ανταποκρίνονταν λάμβαναν ένα υψηλό bonus της τάξης των π.χ. 50€ct/kWh. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται σημαντικά η αιχμή και μετακινείται η τυπική καμπύλη ζήτησης των κατοικιών από τη νυχτερινή αιχμή προς τις ώρες της ημέρας που υπήρχε ηλιοφάνεια.

Κάθε καταναλωτής μπορεί να έχει «υψηλής» και «χαμηλής» προτεραιότητας φορτία, τα οποία επιθυμεί να τροφοδοτηθούν. Σε ομαλές συνθήκες ο καταναλωτής επιθυμεί να εξυπηρετήσει το σύνολο των φορτίων του. Σε περιόδους υψηλών τιμών, για να αποφύγει την υψηλή χρέωση, πιθανόν να επιθυμούσε κάποια φορτία να μεταθέσουν τη λειτουργία τους σε κάποια άλλη χρονική στιγμή (shift) ή ακόμα να μην λειτουργήσουν καθόλου (curtailment). Όμοια σε περιόδους στις οποίες το ανάντη δίκτυο είναι ιδιαίτερα φορτισμένο ή το μικροδίκτυο προσπαθήσει να λειτουργεί απομονωμένο, τότε η μη εξυπηρέτηση κάποιων φορτίων μπορεί να συμβάλλει ή ακόμη να είναι και αναγκαία ώστε η διαθέσιμη ισχύς από τις τοπικές μονάδες παραγωγής να επαρκεί για την ικανοποίηση των «υψηλής» προτεραιότητας φορτίων.

Ακολουθώς περιγράφονται δύο παραλλαγές για την μορφή προσφορών από φορτία:

1. Τα φορτία ενημερώνουν για την ισχύ που θέλουν να εξυπηρετηθεί και την τιμή πάνω από την οποία θα ήθελαν να μην εξυπηρετηθεί η ισχύς που δηλώνουν.
2. Τα φορτία ενημερώνουν για την ισχύ την οποία θα ήθελαν να αποκοπεί αν αποζημιώνονταν σε συγκεκριμένη τιμή που προτείνουν.

Μία τυπική μορφή προσφοράς καταναλωτή δίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα (Εικόνα 7.11). Οι τιμές αυτές αντικατοπτρίζουν το ενδιαφέρον του καταναλωτή να εξυπηρετηθούν τα φορτία αυτά. Όσο πιο υψηλή η τιμή τόσο μεγαλύτερη είναι η «θυσιά» που κάνει.



Εικόνα 7.11: Τυπική μορφή προσφοράς καταναλωτή

Ανεξάρτητα από την παραλλαγή για την προσφορά του φορτίου που ακολουθείται ο υπεύθυνος του μικροδικτύου:

1. Ενημερώνει τους καταναλωτές για τις τιμές ελεύθερης αγοράς.
3. Δέχεται τις προσφορές από τους καταναλωτές.
4. Στέλνει σήματα στα φορτία σύμφωνα με την έκβαση της ρουτίνας βελτιστοποίησης σχετικά με το ποιά φορτία θα συνδεθούν ή ποιά φορτία θα αποκοπούν.

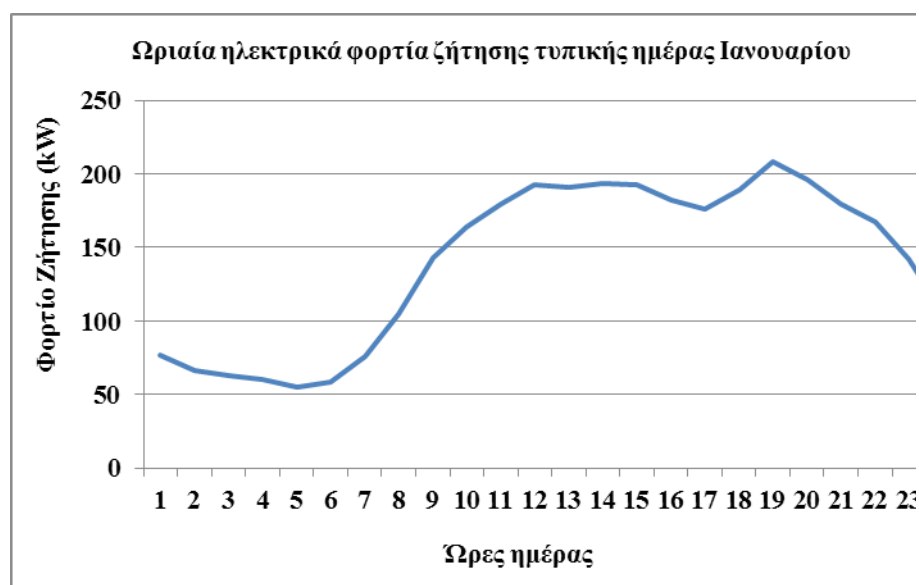
Η γνώση των τιμών της αγοράς βοηθάει τους καταναλωτές στην προετοιμασία των προσφορών τους. Αυτές οι τιμές αν ακολουθείται η πολιτική του «καλού πολίτη» αντιστοιχούν στη μέγιστη τιμή που οι τελικοί χρήστες αναμένεται να χρεωθούν, αν αγνοήσουμε τυχόν περιορισμούς ασφαλείας.

8 Δίκτυο Εφαρμογής με εγκατεστημένη ισχύ FC, MT, WT, PV

Πρόκειται για εφαρμογή στην Εικόνα 7.5, δηλαδή για ένα τυπικό δίκτυο χαμηλής τάσης. Το δίκτυο υποθέτουμε ότι εξυπηρετεί μια κατοικήσιμη περιοχή με μηνιαίες καταναλώσεις που δίνονται στον Πίνακα 8.1 και στην Εικόνα 8.1.

Πίνακας 8.1: Μηνιαία Κατανάλωση Φορτίου του Μικροδικτύου

Μήνας	Ζήτηση (MWh)	Μήνας	Ζήτηση (MWh)
Ιανουάριος	110	Ιούλιος	106
Φεβρουάριος	100	Αύγουστος	98
Μάρτιος	90	Σεπτέμβριος	92
Απρίλιος	92	Οκτώβριος	88
Μάιος	103	Νοέμβριος	89
Ιούνιος	105	Δεκέμβριος	104



Εικόνα 8.1: 24ωρη καμπύλη ζήτησης για το τυπικό Μικροδίκτυο. Παρόμοια διαγράμματα για όλες τις ημέρες του έτους

Μια ποικιλία από μονάδες διανεμημένης παραγωγής, όπως μια μικροτουρμπίνα (MT), μια κυψέλη καυσίμου (FC), μια άμεσα συνδεδεμένη ανεμογεννήτρια (WT) και μερικά φωτοβολταϊκά (PV) έχουν εγκατασταθεί στην τροφοδοσία της κατοικημένης περιοχής. Θεωρείται ότι οι ΑΠΕ παράγουν μόνο ενεργό ισχύ με συντελεστή ισχύος μονάδα. Οι πίνακες 8.2, 8.3 δείχνει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πηγών διανεμημένης παραγωγής.

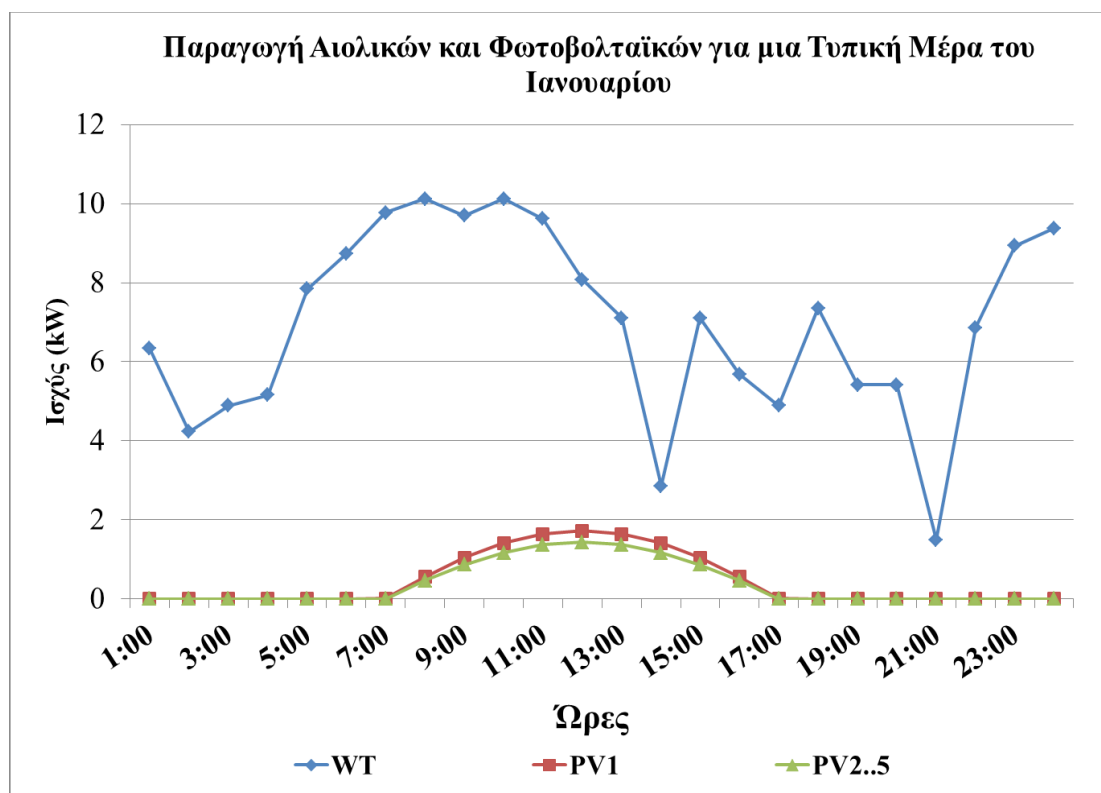
Πίνακας 8.2: Χαρακτηριστικά μονάδων παραγωγής του Μικροδικτύου

Μονάδα	Τύπος Μονάδας	Τεχνικό Ελάχιστο (kW)	Τεχνικό Μέγιστο (kW)
1	MT	5	40
2	FC	5	40
3	WT	0	15
4	PV	0	13

Πίνακας 8.3: Δεδομένα λειτουργικού κόστους για τις μονάδες του Μικροδικτύου

Μονάδα	Τύπος Μονάδας	Συντ. Κόστους, a [€/ct/kWh ²)	Συντ. Κόστους, b [€/ct/kWh)	Συντ. Κόστους, c [€/ct/h)
1	MT	0,01	4,37	0,01
2	FC	0,033	2,41	0,8415
3	WT	0	0	0
4	PV	0	0	0

Ο συντελεστής φόρτισης (Capacity Factor, CF) της ανεμογεννήτριας θεωρήθηκε περίπου ίσος με 35%, ενώ για τα φωτοβολταϊκά η ετήσια παραγωγή είναι ~1350kWh/kWp, Εικόνα 8.2.



Εικόνα 8.2: 24ωρη καμπύλη παραγωγής για τα αιολικά και φωτοβολταϊκά του Μικροδίκτυου. Παρόμοια διαγράμματα ισχύουν για όλες τις ημέρες του έτους

Για το δίκτυο εφαρμογής μελετήθηκαν 3 διαφορετικά σενάρια:

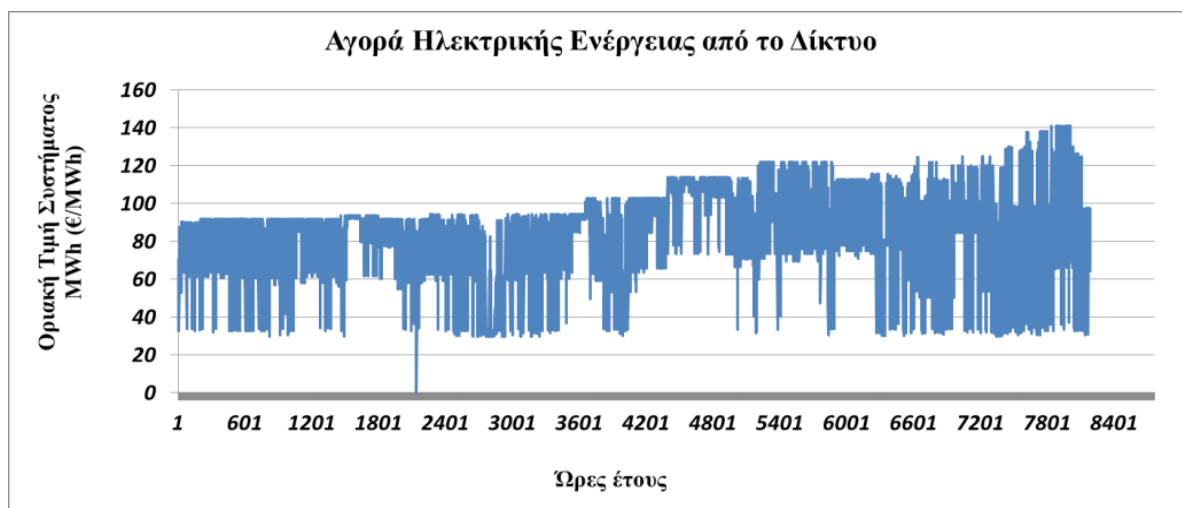
Σενάριο 1: Λειτουργία του δικτύου χωρίς διανεμημένη παραγωγή, όλη δηλαδή η ζήτηση ικανοποιείται από το δίκτυο (no-DG scenario).

Σενάριο 2: Λειτουργία του δικτύου με μονάδες διανεμημένης παραγωγής (Only-DG scenario). Σε αυτή την περίπτωση θεωρήθηκε ότι αξιοποιείται όλη η παραγωγή των μονάδων διανεμημένης παραγωγής σε περίπτωση που αυτή είναι μικρότερη ή ίση της ζήτησης. Σε αντίθετη περίπτωση η επιπλέον ισχύς θεωρείται ότι χάνεται και δεν αποθηκεύεται.

Σενάριο 3: Λειτουργία Μικροδικτύου (Microgrid scenario) με σκοπό τη βέλτιστη λειτουργία του δικτύου σύμφωνα με την Πολιτική του Καλού Πολίτη.

Για την επίλυση των περιπτώσεων των παραπάνω ζητημάτων υλοποιήθηκε ένα υπολογιστικό πρόγραμμα στο περιβάλλον της Matlab ενώ για την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης, της περίπτωσης του Μικροδικτύου – σενάριο 3, έγινε χρήση της συνάρτησης fmincon.

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων από την εφαρμογή των τριών σεναρίων χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα αγοράς από την ελληνική αγορά ηλεκτρισμού (πηγή ΛΑΓΗΕ) και πιο συγκεκριμένα θεωρήθηκαν 24ωρες χρονοσειρές τιμών αποτελούμενες από τη μέση ανά μηνά οριακή τιμή του, Εικόνα 8.3. Η ίδια μεθοδολογία ακολουθήθηκε τόσο για την συνολική ζήτηση του δικτύου όσο και για την παραγωγή των ΑΠΕ. Τα όποια αποτελέσματα αναφέρονται σε ετήσια βάση.



Εικόνα 8.3: Ωριαία Οριακή Τιμή Συστήματος (ΟΤΣ ή System Marginal Price-SMP) για ένα έτος

8.1 Συνοπτική Περιγραφή του Προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε

Με βάση τα ωριαία δεδομένα ζήτησης φορτίου, οριακής τιμής και παραγωγής των εγκατεστημένων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εφαρμόζονται τα σχετικά προγράμματα οικονομικής βελτιστοποίησης και ροής φορτίου, σε περιβάλλον Matlab, όπου προκύπτουν τόσο σε ωριαίο όσο και αθροιστικά σε ημερήσιο, μηνιαίο και ετήσιο επίπεδο τα αποτελέσματα σχετικά με το ενεργειακό κόστος, την έγχυση ισχύος από το ανάντη δίκτυο και τις παραγωγές των τοπικών μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα παρουσιάζουν διακυμάνσεις και μεταβολές ανάλογα με τα δεδομένα εισόδου όσον αφορά την οριακή τιμή, την τιμή πώλησης της τοπικά παραγόμενης ενέργειας καθώς και το επίπεδο διείσδυσης της τοπικής παραγωγής.

Στο τμήμα του συνολικού κώδικα, όπου υλοποιείται προσομοίωση της λειτουργίας του μικροδικτύου, η οικονομική κατανομή (Economic Dispatch) υλοποιείται μέσα από την εντολή 'fmincon', η οποία εφαρμόζει την επαναληπτική μέθοδο μη γραμμικής βελτιστοποίησης Lagrange υπό περιορισμούς, για να υπολογίσει τις ανεξάρτητες μεταβλητές x για τις οποίες μια βαθμωτή συνάρτηση $f(x)$, η οποία εν προκειμένω αποτελεί το ενεργειακό κόστος του συστήματος, έχει την ελάχιστη τιμή της. Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος που επιλύει η `fmincon` είναι η εξής:

$$\min_x f(x) \quad \text{υπό του περιορισμούς}$$

$$\begin{array}{l} A \cdot x \leq b \\ Aeq \cdot x = beq \end{array} \quad \text{\} όπου οι περιορισμοί } A, Aeq, b, beq \text{ είναι πίνακες}$$

$$\begin{array}{l} c(x) \leq 0 \\ ceq(x) = 0 \end{array} \quad \text{\} όπου οι περιορισμοί } c, ceq \text{ είναι συναρτήσεις}$$

$$lb \leq x \leq ub \quad , \text{ όπου οι περιορισμοί } lb, ub \text{ είναι αριθμητικά στοιχεία.}$$

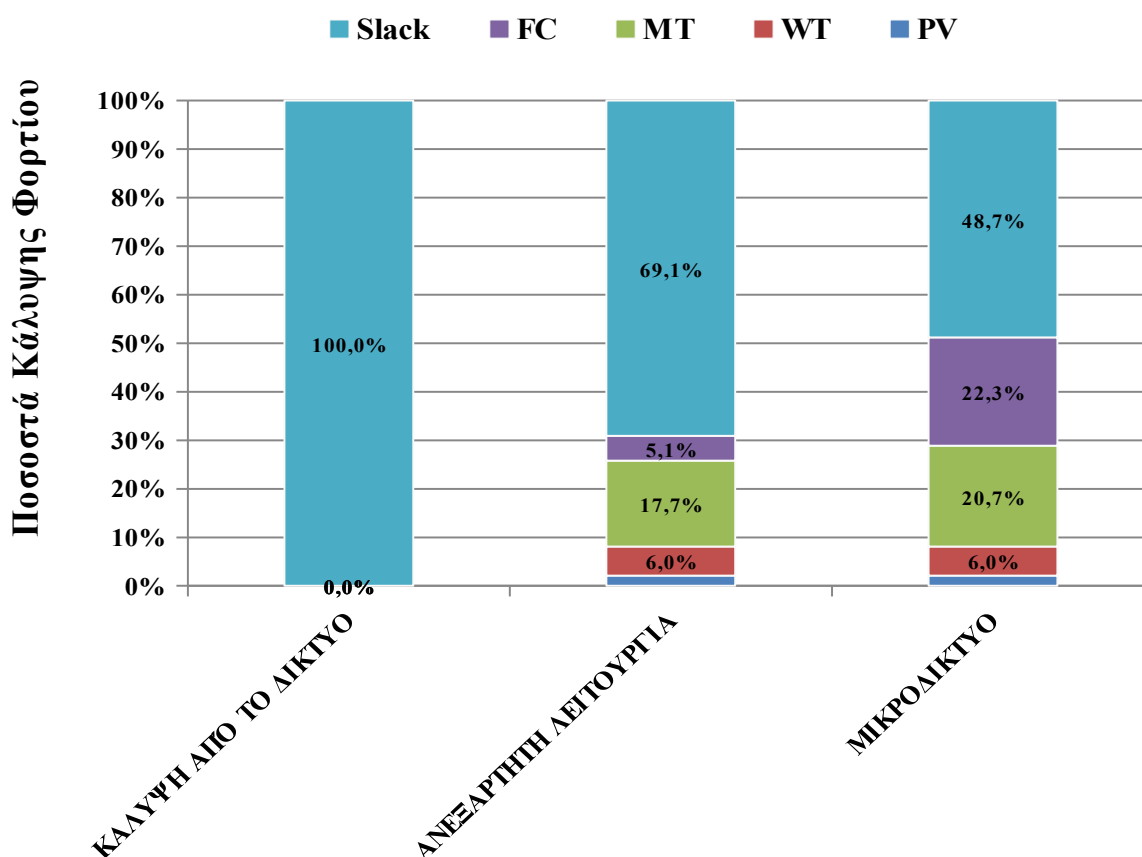
Στη συγκεκριμένη περίπτωση βελτιστοποίησης κόστους, στη συνάρτηση $f(x)$ υπεισέρχονται το κόστος της εγχεόμενης ισχύος από το δίκτυο, που καθορίζεται από την εκάστοτε οριακή τιμή του συστήματος καθώς και το κόστος της τοπικά παραγόμενης ενέργειας. Οι συναρτήσεις κόστους ποικίλουν ανάλογα με το είδος της παραγωγής. Για παράδειγμα, για την εγχεόμενη από το δίκτυο ισχύ η συνάρτηση κόστους ακολουθεί την ΟΤΣ ενώ για τις κυψέλες καυσίμου και τις μικροτουρμπίνες είναι πολυωνυμική δευτέρου βαθμού. Η μεταβλητή x είναι ένας πίνακας που περιέχει αρχικοποιημένες τις μεταβλητές που αντιστοιχούν στις τοπικές παραγωγές και στην έγχυση από το δίκτυο. Οι περιορισμοί που υπεισέρχονται στη `fmincon` περιλαμβάνουν αντίστοιχα τους περιορισμούς τεχνικών ελαχίστων και τεχνικών μεγίστων της τοπικής παραγωγής, τον περιορισμό σχετικά με την ροή ισχύος ως προς το δίκτυο και το ισοζύγιο ηλεκτρικής ισχύος στο Μικροδίκτυο.

8.2 Αποτελέσματα Εφαρμογής

Μελέτη για εγκατεστημένη ισχύ μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ίσης με 108kW

Στα δύο πρώτα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η κάλυψη του φορτίου από τις μονάδες διανεμημένης παραγωγής και από το δίκτυο για εγκατεστημένη ισχύ μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ίσης με 108kWp. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται σε ετήσια βάση τόσο σε ποσοστό όσο και σε απόλυτες τιμές για κάθε σενάριο λειτουργίας.

Διάγραμμα 1: Ποσοστό κάλυψης του φορτίου για κάθε σενάριο και για ΟΤΣ



Όπως παρατηρείται, η μεγαλύτερη παραγωγή μικροπηγών και άρα το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης του φορτίου επιτυγχάνεται για τη λειτουργία του Μικροδικτύου. Συγκεκριμένα, η ελεγχόμενη ισχύς από το δίκτυο, στην περίπτωση του μικροδικτύου, είναι μειωμένη κατά 51,3% σε σχέση με το No DG σενάριο και κατά 20,4% σε σχέση με το Only DG σενάριο. Επίσης, η μικροτουρμπίνα και η κυψέλη καυσίμου έχουν ετήσια παραγωγή 240,69MWh και 260,4MWh που καλύπτει το 20,7% και 22,3% του φορτίου αντίστοιχα. Κατά τη λειτουργία του Μικροδικτύου αξιοποιείται η αυξημένη δυνατότητα παραγωγής της μικροτουρμπίνας και της κυψέλης καυσίμου γεγονός το οποίο συμβάλλει στη μείωση του ενεργειακού κόστους με την προϋπόθεση ότι παράγουν φθηνότερη ενέργεια σε σχέση με την εγγεόμενη από το δίκτυο.

Δεδομένου ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση που μελετάται, αξιοποιούνται πλήρως και κατά προτεραιότητα οι ΑΠΕ, η αιολική παραγωγή φτάνει ετησίως τις 70,14 MWh σε όλα τα σενάρια και καλύπτει το ~6% της συνολικής ζήτησης. Με ανάλογο τρόπο, το σύνολο της φωτοβολταϊκής παραγωγής είναι 24,1 MWh και καλύπτει το 2,3% του συνολικού ετήσιου φορτίου. Παρ' όλο που η εγκατεστημένη ισχύς της ανεμογεννήτριας και των φωτοβολταϊκών του υπό μελέτη δικτύου είναι η ίδια, η φωτοβολταϊκή παραγωγή καλύπτει σημαντικά μικρότερο ποσοστό σε σχέση με την ανεμογεννήτρια. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς τα φωτοβολταϊκά παράγουν ισχύ μόνο κατά τη διάρκεια της μέρας και συνεπάγεται ότι απαιτείται μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύς για να καλύψει ακόμα και ένα μικρό φορτίο.

Διάγραμμα 2: Ετήσιο άθροισμα παραγωγής μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής και εγχεόμενης από το Δίκτυο Ισχύος για εγκατεστημένη ισχύ Μικροδικτύου 108kWp και για τα τρία σενάρια



Στο διάγραμμα 2 επίσης φαίνεται η διαφορετική συμπεριφορά της μικροτουρμπίνας και της κυψέλης καυσίμου. Ενώ η παραγωγή της μικροτουρμπίνας δεν παρουσιάζει σημαντική διαφοροποίηση ούτε μεταξύ των σεναρίων δεν συμβαίνει το ίδιο και με την κυψέλη καυσίμου. Για το σενάριο 2 η συμμετοχή της στην κάλυψη του φορτίου είναι μόλις 5,1% και η παραγωγή του 59,47MWh ενώ στην περίπτωση του Μικροδικτύου το αντίστοιχο ποσοστό είναι της τάξης του 20% (22,3%). Αυτό συμβαίνει επειδή η παραγωγή της κυψέλης καυσίμου είναι σχετικά φθηνή και συνεπώς το Μικροδίκτυο, που βασίζεται στην οικονομική βελτιστοποίηση, επιλέγει τη μεγαλύτερη συμμετοχή της στην κάλυψη του φορτίου. Αντιθέτως, στο σενάριο ανεξάρτητης λειτουργίας της διανεμημένης παραγωγής η παραγωγή της κυψέλης περιορίζεται στην εξυπηρέτηση του φορτίου στον τοπικό ζυγό.

Στο παρακάτω διάγραμμα 3 παρουσιάζεται το άθροισμα του ετήσιου κόστους για όλες τις τιμές πώλησης της ανανεώσιμης παραγωγής (πολιτικές επιδότησης βάσει της ΟΤΣ) και για τα τρία υπό μελέτη σενάρια για εγκατεστημένη ισχύ μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής ίσης με DG ισχύ 108kWp.

Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα, το συνολικό ετήσιο κόστος στην περίπτωση που η ζήτηση ικανοποιείται αποκλειστικά από το δίκτυο χωρίς τις μονάδες παραγωγής (Σενάριο 1) ανέρχεται στα 99.392€. Αξίζει ενδεικτικά να αναφερθεί ότι το αντίστοιχο κόστος για το Σενάριο 2 (Ανεξάρτητη παραγωγή από τις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής) και για πώληση της ανανεώσιμης παραγωγής σε τιμή 1,4×ΟΤΣ είναι 94.739€. Η διαφορά του σε σχέση με το Σενάριο 1 είναι 4.653€, που

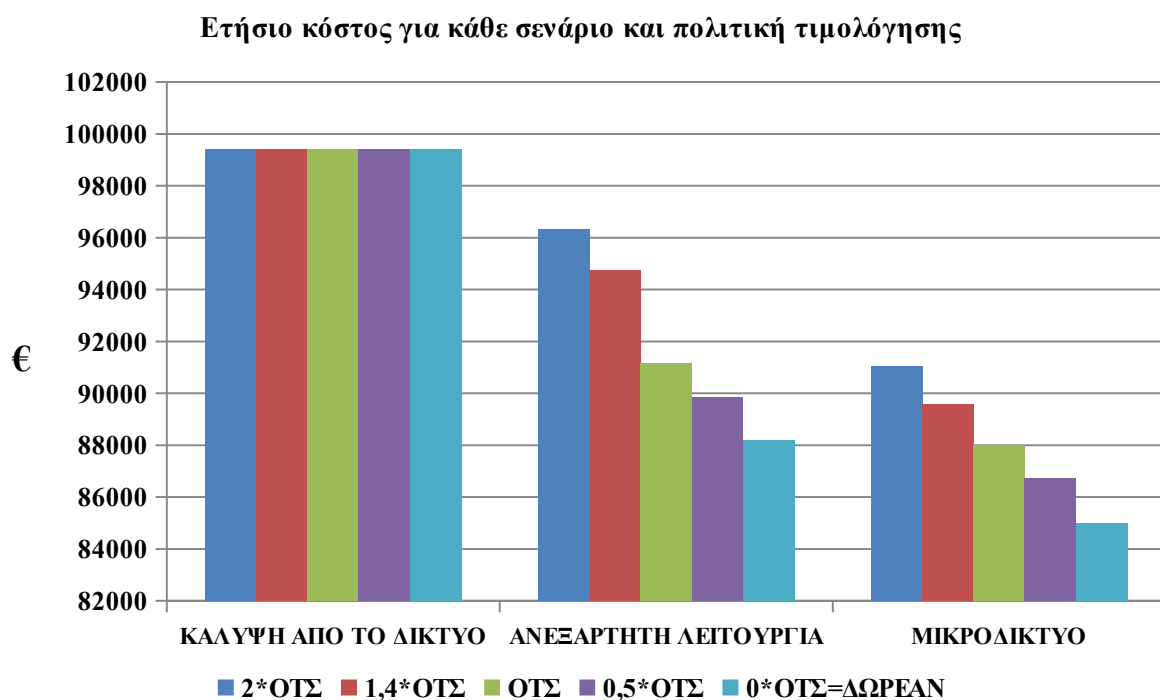
μεταφράζεται σε μείωση του κόστους κατά 4,7% μέσα σε ένα χρόνο.

Στην περίπτωση του Μικροδικτύου, το ετήσιο κόστος για τις προαναφερθείσες τιμολογήσεις της παραγωγής των ΑΠΕ είναι 89.596€ (διαφορά 5143€ σε σχέση με το Σενάριο 2).

Μεγαλύτερη μείωση του ετήσιου κόστους, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4, παρατηρείται για τη λειτουργία του Μικροδικτύου. Στην περίπτωση μάλιστα που η ανανεώσιμη παραγωγή παρέχεται δωρεάν, το ποσοστό μείωσης φτάνει το 14,48%.

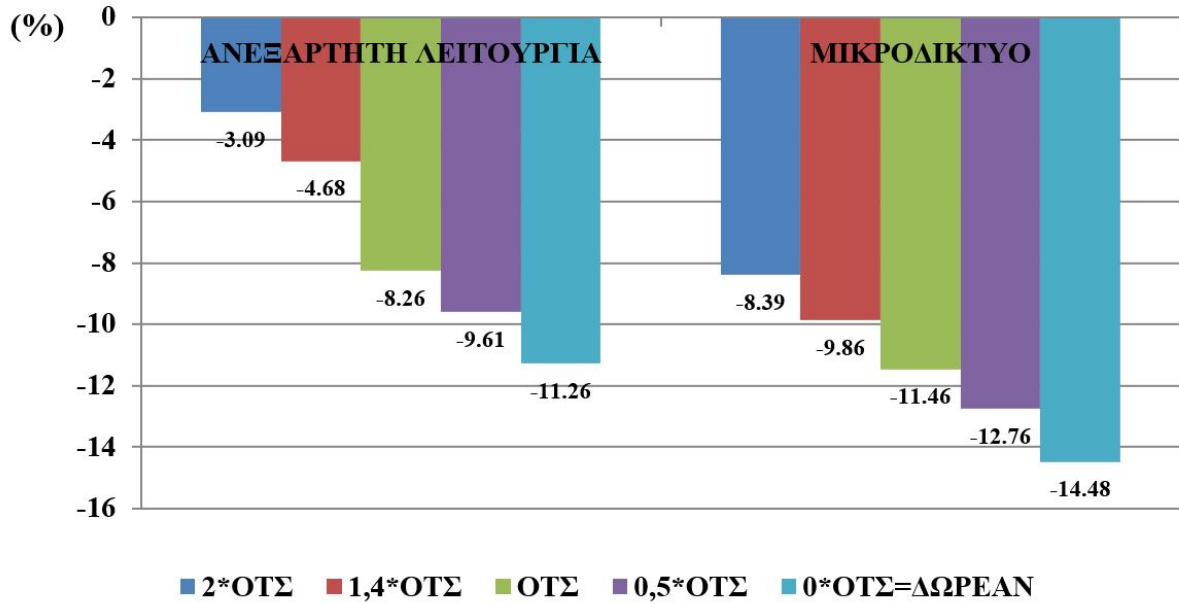
Επειδή περισσότερο ενδιαφέρει η τιμή πώλησης της ανανεώσιμης παραγωγής ίση με $1,4 \times \text{OTS}$ καθώς είναι η συμφωνημένη τιμή που ισχύει μετά το 2015 στην Ελλάδα, αν και πλέον ισχύει η καινούργια πολιτική του net metering, παρακάτω παρουσιάζεται το ποσοστό μείωσης του κόστους για αυτή την τιμή και για διάφορα επίπεδα διείσδυσης διανεμημένης παραγωγής.

Διάγραμμα 3: Άθροισμα ετήσιου λειτουργικού κόστους για τα διάφορα σενάρια λειτουργίας και για διάφορες τιμές τιμολόγησης της ανανεώσιμης πηγής παραγωγής (PV και WT) στο υπό εξέταση Μικροδίκτυο με εγκατεστημένη ισχύ μικροπηγών 108kWp



Διάγραμμα 4: Ετήσιο εκατοστιαίο ποσοστό(%) μεταβολής λειτουργικού κόστους για τα διάφορα σενάρια λειτουργίας και για διάφορες τιμές τιμολόγησης της ανανεώσιμης πηγής παραγωγής (PV και WT) στο υπό εξέταση Μικροδίκτυο με εγκατεστημένη ισχύ μικροπηγών 108kWp

**Ετήσιο ποσοστό μεταβολής κόστους σε σχέση με το Σενάριο 1
(κάλυψη από το δίκτυο)**



8.3 Σύνοψη Επίτευξης Στόχων στα Μικροδίκτυα και Μελλοντικές Μελέτες

Για το τυπικό Μικροδίκτυο που χρησιμοποιήθηκε και με τη βοήθεια του λογισμικού προσομοίωσης του κεντρικού ελεγκτή, χρησιμοποιήθηκαν ρεαλιστικές χρονοσειρές φορτίου, παραγωγής ΑΠΕ και πραγματικές χρονοσειρές τιμών για διαφορετικά επίπεδα και εποχές.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της εν λόγω εφαρμογής προκύπτει ότι η αυξημένη διείσδυση μονάδων Διεσπαρμένης Παραγωγής (π.χ. Φωτοβολταϊκά, Αιολικά, Συστήματα Συμπααραγωγής, Μικροτουρμπίνες, Κυψέλες Καυσίμου Υδρογόνου κ.τ.λ.) στα δίκτυα χαμηλής τάσης μέσω των Μικροδικτύων οδηγεί σε σημαντικά οικονομικά πλεονεκτήματα.

Επίσης, από την παραπάνω ανάλυση είναι φανερό ότι ο συντονισμένος έλεγχος των Μικροδικτύων μπορεί να μειώσει το κόστος ενέργειας για τους τελικούς χρήστες εφαρμόζοντας την πολιτική του «καλού πολίτη». Η μείωση είναι τόσο μεγαλύτερη όσο υψηλότερες είναι οι τιμές της εξωτερικής αγοράς. Με τον τρόπο αυτό, οι πολίτες που θα είναι μέλη του Μικροδικτύου μπορούν να προστατευθούν από υψηλότερες τιμές αγοράς ακόμη κι αν οι ίδιοι δεν είναι κάτοχοι μονάδας Διεσπαρμένης Παραγωγής.

Ειδικά για την περίπτωση των Φ/Β που λειτουργούν σε περιβάλλον Μικροδικτύου εξετάστηκαν διάφορα σενάρια εγγυημένων τιμών πώλησης-επιδόησης (feed in tariff) στην προσπάθεια να προσομοιωθούν μελλοντικές πολιτικές για την περαιτέρω ενσωμάτωση των Φ/Β. Γενικά τέτοιες πολιτικές ενδέχεται να είναι περισσότερο προσοδοφόρες αρκεί να παραχθεί συνολικά μικρότερη ποσότητα ενέργειας μέσα στο έτος καταναμημένη στις ώρες υψηλών τιμών.

Αναφορικά με τα ζητήματα επάρκειας του Μικροδικτύου η αξιοπιστία κάλυψης των αναγκών αυξάνει. Επειδή ο υλοποιούμενος αλγόριθμος εξετάζει εάν είναι εφικτό να ικανοποιήσουν οι διαθέσιμες μικροπηγές τη συνολική ζήτηση του Μικροδικτύου, όσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση των μονάδων αυτών, τόσο συχνότερα το δίκτυο μπορεί να είναι στατικά ασφαλές, και τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσοστιαία οικονομική επίπτωση από την υιοθέτηση τέτοιου περιορισμού.

Σαν μελλοντική εφαρμογή προτείνεται η μελέτη της συντονισμένης λειτουργίας του Μικροδικτύου όσον αφορά τη μείωση των εκπαιρόμενων ρύπων. Είναι τεχνικά εφικτό να συντονιστούν οι παραγωγοί υπό τις εντολές του MGCC και αντί να αναζητείται η οικονομικά βέλτιστη λειτουργία, να επιδιώκεται η περιβαλλοντικά βέλτιστη λειτουργία ως προς κάποιον επιλεγμένο ρύπο. Έτσι περιβαλλοντικά ευαισθητοποιημένοι πολίτες μπορούν ευκολότερα να συμβάλλουν στη μείωση των γενικών ρύπων στη ατμόσφαιρα που οφείλεται στην κατανάλωση ενέργειάς τους. Είναι σαφές ότι τα οικονομικά οφέλη για ένα Μικροδίκτυο μπορούν να αυξηθούν αν αντί της οικονομικής λειτουργίας και του επιπλέον εισοδήματος από την αποφυγή ρύπων, επιζητηθεί κοινή τους βελτιστοποίηση μέσω μεταβολής της αντικειμενικής συνάρτησης που καλείται να βελτιστοποιήσει ο προσομοιωτής λειτουργίας του MGCC.

Τέλος, η αξιοποίηση των προβλέψεων φορτίου και παραγωγής ΑΠΕ γίνεται ολοένα και πιο κρίσιμη για την εύρυθμη και οικονομική λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλή διείσδυση παραγωγής από ΑΠΕ. Δεδομένης της σημαντικής αύξησης εγκαταστάσεων ΑΠΕ σε Μικροδίκτυα και αυτόνομα ΣΗΕ, απαιτείται όσο το δυνατόν καλύτερη αξιοποίηση της πληροφορίας που μπορούν να προσφέρουν τα σύγχρονα μοντέλα πρόβλεψης. Αυτό θα οδηγήσει και σε ακριβέστερη οικονομική αποτίμηση των αποτελεσμάτων

Βιβλιογραφία

- [1] Δ. Λαμπρίδης, Π. Ντοκόπουλος, and Γ. Παπαγιάννης, *Συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας*, Νέα αναθ. έκδ. Θεσσαλονίκη: Ζήτη, 2007.
- [2] Γ. Β. Γιαννακόπουλος and Ν. Α. Βοβός, *Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας*. Θεσσαλονίκη: Ζήτη, 2008.
- [3] Δ. Κατσαπρακάκης, *Σύνθεση ενεργειακών συστημάτων*. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, 2015.
- [4] Π. Γεωργιάκης, *Σύγχρονα συστήματα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας*. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, 2015.
- [5] T. Sato *et al.*, *Smart Grid Standards: Specifications, Requirements, and Technologies*. John Wiley & Sons, 2015.
- [6] L. L. Grigsby and CRC Press, Eds., *Electric power generation, transmission, and distribution*, Third. Boca Raton: CRC Press, 2012.
- [7] “Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα (ΜΥΗΕ) - Alteren, Ενεργειακή και Περιβαλλοντική Ανάλυση - Σχεδιασμός.” [Online]. Available: <http://www.alteren.gr/frontend/articles.php?cid=96>. [Accessed: 08-Dec-2016].
- [8] “Ελληνικός Σύνδεσμος Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων (Ε.Σ.Μ.Υ.Ε).” .
- [9] Φ. Ι. Ε, *Φωτοβολταϊκά συστήματα Ι. Ε. Φραγκιαδάκης*, 2η έκδ. Ζήτη, 2006.
- [10] M. Beaudin, H. Zareipour, A. Schellenberglobe, and W. Rosehart, “Energy storage for mitigating the variability of renewable electricity sources: An updated review,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 14, no. 4, pp. 302–314, Dec. 2010.
- [11] International Electrotechnical Commission, *Electrical energy storage: white paper*. 2011.
- [12] P. Fairley, “2017 Is the Make-or-Break Year for Tesla’s Gigafactory,” *IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News*, 30-Dec-2016. [Online]. Available: <http://spectrum.ieee.org/transportation/advanced-cars/2017-is-the-makeorbear-year-for-teslas-gigafactory>. [Accessed: 30-Dec-2016].
- [13] “Electropaedia, Energy Sources and Energy Storage, Battery and Energy Encyclopaedia and History of Technology.” [Online]. Available: <http://www.mpoweruk.com/index.htm>. [Accessed: 19-Jan-2017].
- [14] “Nickel–cadmium battery,” *Wikipedia*. 11-Jan-2017.
- [15] B. M. Buchholz and Z. Styczynski, *Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks*. Springer, 2014.
- [16] European Technology Platform on SmartGrids, *Vision and Strategy for Europe’s Electricity Networks of the Future*. 2006.
- [17] N. Hatziargyriou, Ed., *Microgrids: Architectures and Control*, 1 edition. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley-IEEE Press, 2014.
- [18] Z. M. Fadlullah and N. Kato, *Evolution of Smart Grids*. Springer, 2015.
- [19] International Electrotechnical Commission, *Microgrids for disaster preparedness and recovery: with electricity continuity plans and systems*. 2014.
- [20] “Περιγραφή Συστήματος Μεταφοράς | ΑΔΜΗΕ.” [Online]. Available: <http://www.admie.gr/to-systima-metaforas/dedomena-stoicheia-systimatos/perigrifi-systimatos-metaforas/>. [Accessed: 03-Feb-2017].
- [21] “Μηνιαία Πληροφοριακά Δελτία | ΔΕΗ Α.Ε.” [Online]. Available: <https://www.dei.gr/el/miniaia-pliroforiaka-deltia>. [Accessed: 03-Feb-2017].
- [22] “Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά: ΑΝΑΔΡΑΣΗ, αυτονομα, υβριδικα, φωτοβολταικα, συστηματα, εγκαταστάσεις, εξοπλισμό, φωτοβολταικων, εγκατασταση, ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ.” [Online]. Available: <http://www.anadrasi.com/aftonoma-fotovoltaika.php>. [Accessed: 02-Mar-2017].
- [23] “IEC.” [Online]. Available: <http://www.iec.ch>. [Accessed: 07-Jan-2017].
- [24] “About the IEC - What we do > White Papers.” [Online]. Available:

- <http://www.iec.ch/whitepaper/>. [Accessed: 28-Jan-2017].
- [25] “German Combined Power Plant Demonstrates Real-Time Integration of Renewables - Industry Market Trends - ThomasNet News.” [Online]. Available: <http://news.thomasnet.com/imt/2011/06/27/german-combined-power-plant-demonstrates-real-time-integration-of-renewables>. [Accessed: 17-Mar-2017].
- [26] IEEE, *IEEE Smart Grid Newsletter Compendium 2015 - Smart Grid: The next decade*. Qmags, 2015.
- [27] PVsyst 5.06, Software for photovoltaic systems,. www.pvsyst.com.
- [28] Αντώνιος Γ. Τσικαλάκης. "Συμβολή στον Προγραμματισμό Λειτουργίας Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας με Μεγάλη Διείσδυση Διεσπαρμένης και Ανανεώσιμης Παραγωγής και Συσκευών Αποθήκευσης". Διδακτορική Διατριβή. Αθήνα, Ιούλιος 2008.
- [29] The Energy Lab (NETL). www.netl.doe.gov/smartgrid/.
- [30] Anne-Marie Borbely, and Jan E. Kreider. "Distributed Generation: The paradigm of the new millenium". CRC Press LLC, 2001.
- [31] Hatziargyriou, Nikos. "Microgrids: The secret to unlock the power of distributed energy sources". Eneritech'09, 4th International Conference. 23-24 October 2009.
- [32] Nikos D. Hatziargyriou, Anestis Anastasiadis, Julija Vasiljevska, and Antonis G. Tsikalakis. "Quantification of Economic, Environmental and Operational Benefits of Microgrids". "More Microgrids" EU Contract No. SES6-019864.
- [33] Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). www.dei.gr.
- [34] Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας της Ελλάδας: www.lagie.gr.
- [35] Μιχ. Π., Παπαδόπουλος. "Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές". Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997.
- [36] Golden Valley Electric Association (GVEA) Fairbank’s Battery Energy Storage System (BESS), διαθέσιμο <http://www.gvea.com/about/bess/>
- [37] Δικτυακός τόπος Energy Storage Association www.energystorage.org
- [38] Φ.Δ. Κανέλλος, «Συμβολή στην Προσομοίωση και Αναγνώριση Ανεμογεννητριών με Ασύγχρονη Γεννήτρια για τη Δημιουργία Μειωμένης Τάξης Ισοδύναμων Μοντέλων», Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π., Οκτώβριος 2003
- [39] Σ.Α. Παπαθανασίου, «Συμβολή στην Ανάλυση Ανεμογεννητριών Μεταβλητών Στροφών με Ασύγχρονη Γεννήτρια για την επιλογή του Ηλεκτρικού Σχήματος», Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π., Φεβρουάριος 1997
- [40] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) <http://aims.cres.gr/grwind150/viewer.htm>
- [41] Jenkins N, Allan R, Crossley P, Kirschen D and Strbac G, *Embedded Generation*, The Institution of Electrical Engineers, London, UK, 2000.
- [42] “Ελληνικός Σύνδεσμος Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας”, Διαθέσιμο: www.hachp.gr.
- [43] Orlando J. A., “Cogeneration Design Guide”, Atlanta, USA: ASHRAE; 1996. Simader G. R., Krawinkler R., Trnka G., “Micro CHP Systems: State-Of-the-Art”, A technical report of green lodges project (EIE/04/252/S07.38608); 2006.
- [44] Wu D.W., Wang R.Z., “Combined Cooling, Heating and Power: A Review”, *Progress in Energy and Combustion Science* 2006; 32:459-95. Π. Ν. Μπότσαρης, “Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας”, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2003.
- [45] Εργαστήριο Μεταφοράς Θερμότητας και Μηχανικής Περιβάλλοντος Α.Π.Θ., “Συμπααραγωγή Θερμότητας-Ηλεκτρισμού”, Σημειώσεις, Κεφάλαιο 7, 2009.
- [46] Π. Ν. Μπότσαρης, “Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας”, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2003.