



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ  
ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ**

*Γαλανού Ζ. Αικατερίνη*

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ  
ΠΟΡΩΝ»**

Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής Ν. Μαμάσης



## Πρόλογος

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία εκπονήθηκε ως μέρος του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στα πλαίσια της Α' Ροής του Προγράμματος («Υδρολογία και Περιβαλλοντική Διαχείριση Υδατικών Πόρων»). Συντονίζουσα του Προγράμματος είναι η Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., πιο συγκεκριμένα το Πρόγραμμα υπάγεται στον Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος.

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η χρονική εξέλιξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) και η σύγκρισή τους με τις συμβατικές πηγές ενέργειας αλλά και μεταξύ τους. Σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση των χρήσεων των διαφόρων ήπιων μορφών ενέργειας σε όλη τη διάρκεια της ανθρώπινης ιστορίας, το πώς αυτές εξελίχθηκαν ακολουθώντας τις ανάγκες της κοινωνίας, η συνακόλουθη τεχνολογική ανάπτυξη που υπαγορεύτηκε από τις ανάγκες αυτές, η διερεύνηση της συγκριτικής υπεροχής τους ή όχι σε σχέση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας αλλά και μεταξύ τους, καθώς και η ψηλάφηση του μέλλοντος των Α.Π.Ε.

Την τριμελή εξεταστική επιτροπή αποτέλεσαν οι κ. κ. Μαμάσης Ν., Επίκ. Καθηγητής Ε.Μ.Π., Στεφανάκος Ι., Λέκτορας Ε.Μ.Π. και Νουτσόπουλος Κ., Λέκτορας Ε.Μ.Π., με επιβλέποντα καθηγητή τον κ. Μαμάση Νικόλαο.

## Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τον αγαπητό μου καθηγητή κ. Νίκο Μαμάση, Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π., ο οποίος ήταν ανά πάσα στιγμή δίπλα μου για να με καθοδηγεί, να μου εξηγεί και να με βοηθά με ιδέες, διορθώσεις και προτάσεις. Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, κ.κ. Στεφανάκο και Νουτσόπουλο για τις ευγενικές και χρήσιμες παρατηρήσεις και συμβουλές τους. Επίσης, ένα ιδιαίτερο «ευχαριστώ» οφείλω στον Διευθυντή του Τομέα Υδατικών Πόρων, Καθηγητή αλλά και *δάσκαλο* Δημήτρη Κουτσογιάννη, ο οποίος αποτέλεσε για μένα φιγούρα έμπνευσης καθ' όλη τη διάρκεια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος, καθώς και στον Δρ. Ανδρέα Ευστρατιάδη, για την ειλικρινή και πάντα επιβοηθητική του διάθεση όσες φορές τον χρειάστηκα. Οι παραπάνω άνθρωποι συνετέλεσαν στο να αντιμετωπίσω τις σπουδές μου αυτό το διάστημα, παρά τις δυσκολίες και το επίπεδο του προγράμματος, ως κάτι παραπάνω από ευχάριστη ενασχόληση, δημιουργώντας ένα οικείο και θερμό ακαδημαϊκό περιβάλλον, τολμώ μάλιστα να θεωρώ, ότι με τη λήξη του προγράμματος φεύγω έχοντας αποκτήσει κάποιους καλούς φίλους.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για τη στήριξη που μου παρείχε στις δύσκολες στιγμές, όταν οι δυνάμεις μου με εγκατέλειπαν, τους φίλους μου και ειδικά την καλή μου φίλη Α.Σ. που ήταν εκεί όταν τη χρειαζόμουν περισσότερο.



Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη .....	viii
Abstract.....	x
1 Εισαγωγή.....	1
2 Παρουσίαση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας .....	5
2.1 Υδραυλική Ενέργεια .....	7
2.2 Αιολική Ενέργεια.....	14
2.3 Ηλιακή Ενέργεια.....	17
2.4 Γεωθερμία .....	18
2.5 Ενέργεια από Βιομάζα .....	21
2.5.1 Υπολειμματικές μορφές βιομάζας .....	22
2.5.2 Ενεργειακές καλλιέργειες.....	22
2.5.3 Βιοκαύσιμα .....	23
2.5.4 Πελλέτες (pellets).....	29
2.5.5 Εφαρμογές βιομάζας .....	31
2.6 Ενέργεια Ωκεανών.....	32
2.6.1 Κυματική Ενέργεια .....	32
2.6.2 Παλιρροιακή Ενέργεια .....	38
2.6.3 Ενέργεια Ωκεάνιων Ρευμάτων.....	41
2.6.4 Θερμική Ενέργεια Ωκεανών .....	42
2.6.5 Οσμωτική Ενέργεια.....	43
3 Χρονική Εξέλιξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	44
3.1 Υδραυλική Ενέργεια .....	50
3.2 Αιολική Ενέργεια.....	52
3.3 Ηλιακή Ενέργεια.....	57
3.3.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο .....	58
3.4 Γεωθερμία .....	62
3.5 Ενέργεια από Βιομάζα .....	68
Ελληνική μυθολογία.....	68
Σύγχρονη ιστορία .....	69
3.6 Ενέργεια Ωκεανών .....	74
3.6.1 Κυματική Ενέργεια .....	74
3.6.2 Παλιρροιακή Ενέργεια .....	75
3.6.3 Θαλασσοθερμική Ενέργεια.....	82
3.6.4 Οσμωτική Ενέργεια.....	82
4 Εξέλιξη των Τεχνολογιών Εκμετάλλευσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ...	92
4.1 Υδραυλική Ενέργεια .....	92
4.2 Αιολική Ενέργεια.....	101
4.3 Ηλιακή Ενέργεια.....	107
4.3.1 Θερμικά Ηλιακά Συστήματα .....	107
4.3.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα .....	124
4.4 Γεωθερμική Ενέργεια.....	132
4.5 Ενέργεια από Βιομάζα .....	138
4.5.1 Θερμική Επεξεργασία .....	139
4.5.2 Χημική Επεξεργασία.....	145
4.5.3 Βιολογική Επεξεργασία.....	148
4.6 Ενέργεια Ωκεανών .....	153
4.6.1 Κυματική Ενέργεια .....	153
4.6.2 Παλιρροϊκή Ενέργεια & Ενέργεια Θαλασσίων Ρευμάτων.....	164

4.6.3	Θερμική Ενέργεια Ωκεανών .....	170
4.6.4	Οσμωτική ενέργεια .....	172
5	Σύγκριση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας – Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους .....	175
5.1	Υδραυλική Ενέργεια .....	177
5.2	Αιολική Ενέργεια .....	181
5.3	Ηλιακή Ενέργεια .....	188
5.3.1	Θερμικά Ηλιακά Συστήματα .....	188
5.3.2	Φωτοβολταϊκά συστήματα .....	190
5.4	Γεωθερμική Ενέργεια .....	192
5.5	Βιομάζα .....	196
5.6	Ενέργεια Ωκεανών .....	198
5.7	Συγκεντρωτική Σύγκριση .....	200
6	Συμπεράσματα .....	203
7	Βιβλιογραφία – Πηγές .....	205

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1.1: Εκτίμηση διείσδυσης ΑΠΕ σύμφωνα με τους στόχους του Εθνικού Σχεδίου Δράσης 20-20-20. (Πηγή: ιστοσελίδα Υ.ΠΕ.Κ.Α., 2012).....	3
Εικόνα 2.1: Υδροτουρμπίνα Francis.....	7
Εικόνα 2.2: Υδροτουρμπίνα Kaplan.....	8
Εικόνα 2.3: Υδροτουρμπίνα Pelton.....	8
Εικόνα 2.4: Το φράγμα Three Gorges κατά το 2009.....	10
Εικόνα 2.5: Το φράγμα Ιταιρσι.....	10
Εικόνα 2.6: Το φράγμα Guri.....	10
Εικόνα 2.7: Το φράγμα Tucuruí.....	10
Εικόνα 2.8: Γεωγραφική κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος των ΥΗΕ (σε MW) στο διασυνδεδεμένο σύστημα (Πηγή: Πληροφοριακό Δελτίο ΛΑΓΗΕ, Ιούνιος 2012).....	11
Εικόνα 2.9: Γεωγραφική κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος των αιολικών πάρκων (σε MW) στο διασυνδεδεμένο σύστημα (Πηγή: Πληροφοριακό Δελτίο ΛΑΓΗΕ, Ιούνιος 2012).....	17
Εικόνα 2.10: Γεωγραφική κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β συστημάτων (σε MW) στο διασυνδεδεμένο σύστημα (Πηγή: Πληροφοριακό Δελτίο ΛΑΓΗΕ, Ιούνιος 2012).....	18
Εικόνα 2.11: Χρήση βιοαερίου και στερεών αποβλήτων για ηλεκτροπαραγωγή.....	28
Εικόνα 2.12: Παγκόσμιο κυματικό δυναμικό σε kW/m.....	33
Εικόνα 2.13: Κατανομή της κυματικής ενέργειας στην Ευρώπη.....	35
Εικόνα 2.14: Θέσεις με μεγάλο κυματικό και παλιρροιακό δυναμικό.....	38
Εικόνα 2.15: Ο Κόλπος Fundy στον Καναδά. Σημειώνεται η Δεξαμενή Minas όπου τεράστιος όγκος νερού εισρέει και εκρέει κάθε 6 ώρες (Πηγή: Τσουκαλά Β., Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, 2010).....	40
Εικόνα 3.1: Χρήση μυικής ενέργειας και ζωικής ενέργειας από τον άνθρωπο των προϊστορικών χρόνων.....	44
Εικόνα 3.2: Οι κάτοικοι των σπηλαίων χρησιμοποίησαν την ενέργεια που περιέχεται στη βιομάζα, μέσω της καύσης, για θέρμανση και μαγείρεμα.....	45
Εικόνα 3.3: Αναπαράσταση περσικού ανεμόμυλου κατακόρυφου άξονα.....	46
Εικόνα 3.4: Υδρόμυλος από το 12 <sup>ο</sup> αι. στο Braine-le-Château, Βέλγιο (Πηγή: Ιστοσελίδα Wikipedia, 2012).....	47
Εικόνα 3.5: Αναπαράσταση της χρήσης φακού από τον Αρχιμήδη για την καύση πλοίων κατά την πολιορκία των Συρακουσών από τον Μάρκο Κλαύδιο Μάρκελλο.....	47
Εικόνα 3.6: Αναπαράσταση της αιολόσφαιρας, της πρώτης ατμομηχανής στην ιστορία.....	48
Εικόνα 3.7: Αναπαράσταση της μηχανής εσω-τερικής καύσης του Jean J. Lenoir.....	49
Εικόνα 3.8: Αναπαράσταση της τετράχρονης μηχανής του Nicolaus Otto.....	49
Εικόνα 3.9: Αναπαράσταση του πρώτου αυτοκινήτου τριών τροχών του Karl Benz.....	49
Εικόνα 3.10: Ακριβές αντίγραφο της εφεύρεσης του Benz εν λειτουργία (Φωτογραφία Marcin Cieślak, Φρανκφούρτη, 2007).....	49
Εικόνα 3.11: Ο «Πύργος των Ανέμων» στη ρωμαϊκή Αγορά (Πηγή: Ιστοσελίδα Αρχαιολογικής Υπηρεσίας, 2012).....	53
Εικόνα 3.12: Οι ανάγλυφες απεικονίσεις των οκτώ ανέμων στις πλευρές του οικοδομήματος του «Πύργου των Ανέμων» (Πηγή: Αδαμοπούλου Μ., ΤΑ ΝΕΑ, 30/08/2012).....	55
Εικόνα 3.13: Ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel (1820 – 1891).....	58
Εικόνα 3.14: Ο Άγγλος μηχανικός Willoughby Smith (1828 – 1891).....	58
Εικόνα 3.156: Ο Πολωνός χημικός Jan Czochoalski (1885 – 1953).....	59



Εικόνα 3.16: Ο δορυφόρος Vanguard I.....	59
Εικόνα 3.17: Φωτογραφία του Reykjavik το 1932, όταν τα κτήρια θερμαίνονταν με συμβατικά καύσιμα (Πηγή: Ιστοσελίδα εταιρείας OPERAE, 2012).....	65
Εικόνα 3.18: Σήμερα, το Reykjavik είναι από η πιο καθαρή πόλη στον κόσμο, αφού το σύνολο των κτηρίων θερμαίνεται από τα γεωθερμικά νερά. Η διαφορά στην ατμόσφαιρα είναι εμφανής (Πηγή: Ιστοσελίδα εταιρείας OPERAE, 2012).....	66
Εικόνα 4.1: Αναπαράσταση υδρόμυλου: η κινητική ενέργεια του νερού που πέφτει μετατρέπεται σε περιστροφική κίνηση (μηχανική ενέργεια) η οποία μεταφέρεται από τον τροχό (αριστερά) στο μύλο (δεξιά) μέσω ενός συστήματος οδοντώσεων και γραναζιών (Πηγή: Science Photo Library, 2012).....	93
Εικόνα 4.2: Παραδοσιακή δριστεύλα.....	94
Εικόνα 4.3: Σχηματική αναπαράσταση πριονιστηρίου με χρήση υδρόμυλου.....	95
Εικόνα 4.4: Βασικές συνιστώσες ενός υδροηλεκτρικού σταθμού: Α: Φράγμα, Β: Ταμιευτήρας, Γ: Υδατοφράκτης, Δ: Αγωγός πτώσης, Ε: Τουρμπίνα, Ζ: Ηλεκτρογεννήτρια, Η: Μετασχηματιστής, Θ: Διώρυγα φυγής (Σχήμα από ιστοσελίδα Wikipedia, 2012).....	97
Εικόνα 4.5: Τυπική διάταξη τουρμπίνας – γεννήτριας (Πηγή: ιστοσελίδα Wikipedia, 2012).....	98
Εικόνα 4.6: Τυπική μορφή υδροστροβίλου Francis.....	99
Εικόνα 4.7: Τυπική μορφή υδροστροβίλου Pelton.....	100
Εικόνα 4.8: Τυπική μορφή υδροστροβίλου Pelton.....	100
Εικόνα 4.9: Οι τριπτέρυγες ανεμογεννήτριες οριζώντιου άξονα είναι η πλέον δημοφιλής διάταξη. Η παραγόμενη ενέργεια σχετίζεται με την επιφάνεια σάρωσης του αέρα από τα πτερύγια (Πηγή: Ιστοσελίδα Aquaret, 2012).....	102
Εικόνα 4.10: Διπτέρυγες ανεμογεννήτριες οριζώντιου άξονα – λιγότερο συνήθεις αλλά μπορεί να είναι πιο αποδοτικές και ευκολότερες στη συντήρηση (Πηγή: Ιστοσελίδα Aquaret, 2012).....	102
Εικόνα 4.11: Τεχνολογία ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα – οι ρότορες περιστρέφονται σε μικρότερο χώρο από τις αντίστοιχες μηχανές οριζώντιου άξονα (Πηγή: Ιστοσελίδα Aquaret, 2012).....	102
Εικόνα 4.12: Άτρακτος ανεμογεννήτριας 600 kW (Πηγή: Βοβός Ν., 2012).....	106
Εικόνα 4.13: Ηλιακός θερμοσίφωνα.....	108
Εικόνα 4.14: Διάγραμμα ηλιακού θερμοσίφωνα.....	109
Εικόνα 4.15: Ηλιακός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος στο Barstow της Καλιφόρνια (ο πύργος κατεδαφίστηκε το 2009).....	110
Εικόνα 4.16: Το ηλιοθερμικό εργοστάσιο Gemasolar στην Ισπανία (Πηγή: Ιστοσελίδα Wikipedia, 2012).....	112
Εικόνα 4.17: Η τεχνολογία της «παραβολικής σκάφης» (Πηγή: Ιστοσελίδα Wikipedia, 2012).....	113
Εικόνα 4.18: Ο ηλιακός φούρνος του Odeillo – Font – Romeau στα Γαλλικά Πυρηναία. Ο παραβολικός ανακλαστήρας είναι ιδιαίτερα αποδοτικός στη συγκέντρωση των ηλιακών ακτίνων.....	114
Εικόνα 4.19: Ηλιακός πύργος ανερχόμενου ρεύματος (Πηγή: Ιστοσελίδα Wikipedia, 2012).....	115
Εικόνα 4.20 & Εικόνα 4.21: Σχέδια του προς κατασκευή μεγαλύτερου ηλιακού πύργου ανερχόμενου ρεύματος παγκοσμίως (Πηγή: www.newsbeast.gr, 2012).....	116
Εικόνα 4.22: Ορθός προσανατολισμός παθητικών ηλιακών συστημάτων για μέγιστη απόδοση.....	118
Εικόνα 4.23: Βιοκλιματική θέρμανση και ψύξη.....	123

Εικόνα 4.24: Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα μέχρι και το 2008 (Πηγή: Κ.Α.Π.Ε., Ιούλιος 2009).	131
Εικόνα 4.25: Ο μηχανισμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω θερμών ρευστών που προέρχονται από μια γεώτρηση σε γεωθερμικό ταμειευτήρα (Πηγή: <a href="http://polyvotis.wordpress.com">http://polyvotis.wordpress.com</a> , 2012).	135
Εικόνα 4.26: Διάγραμμα ροής του συστήματος ORC (Πηγή: <a href="http://www.biomassenergy.gr">www.biomassenergy.gr</a> , 2012).	141
Εικόνα 4.27: Διαδικασία αεριοποίησης βιομάζας (Πηγή: Μαρινάκης Ι., 2012)	143
Εικόνα 4.28: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας αναερόβιας χώνευσης	150
Εικόνα 4.29: Η ενέργεια που περικλείεται στα κύματα ελαττώνεται καθώς αυτά φτάνουν στην ακτή λόγω της τριβής στον πυθμένα της θάλασσας (Πηγή: ιστοσελίδα AQUARET, 2012).	154
Εικόνα 4.30: Εξασθενητής κυματισμών (Πηγή: Ιστοσελίδα AQUARET, 2012).	155
Εικόνα 4.31: (Αξονοσυμμετρικός) Σημειακός Απορροφητής (Πηγή: Ιστοσελίδα AQUARET, 2012).	155
Εικόνα 4.32: Παλλόμενος μετατροπέας κυματικών κλυδωνισμών – OWSC (Πηγή: Ιστοσελίδα AQUARET, 2012).	156
Εικόνα 4.33: Παλλόμενη υδάτινη στήλη - ΠΥΣ (Πηγή: Ιστοσελίδα AQUARET, 2012).	157
Εικόνα 4.34: Συσκευή υπερακόντισης (Πηγή: Ιστοσελίδα AQUARET, 2012).	157
Εικόνα 4.35: Βυθιζόμενη συσκευή διαφορικής πίεσης (Πηγή: Ιστοσελίδα AQUARET, 2012).	158
Εικόνα 4.36: Διαφορά πίεσης λόγω κίνησης των κυμάτων (Πηγή: Ιστοσελίδα AQUARET, 2012).	158
Εικόνα 4.37: Εγκατάσταση ταλαντευόμενης στήλης νερού στην ακτή.	159
Εικόνα 4.38: Το πρωτότυπο Pelamis στο Orkney της Σκωτίας (2004 – 2005).	160
Εικόνα 4.39: Το προ-εγκατεστημένο AWS ισχύος 2MW πριν τη βύθισή του & αναπαράσταση πάρκου AWS όπως θα φαίνεται από το βυθό (Πηγή: <a href="http://www.waveswing.com">www.waveswing.com</a> ).	161
Εικόνα 4.40: Διάγραμμα λειτουργίας του Wave Dragon.	162
Εικόνα 4.41: Η πιλοτική εφαρμογή του Wave Dragon κοντά στις Ουαλικές ακτές (Πηγή: <a href="http://www.marineenergyptembrookshire.co.uk">www.marineenergyptembrookshire.co.uk</a> ).	162
Εικόνα 4.42: Πλάγια όψη και κάτοψη διάταξης Wave Dragon ισχύος 4kW (Πηγή: <a href="http://www.climateandfuel.com">www.climateandfuel.com</a> ).	163
Εικόνα 4.43: Απεικόνιση ενός τυπικού παλιρροιακού φράγματος (Πηγή: Μαρινάκης Ι., 2012).	166
Εικόνα 4.44: Υδροστρόβιλος οριζόντιου άξονα (Πηγή: <a href="http://mhk.pnnl.gov">http://mhk.pnnl.gov</a> , 2012).	168
Εικόνα 4.45: Υδροστρόβιλος κάθετου άξονα: υδροτουρμπίνα τύπου Davis (Πηγή: <a href="http://www.pesn.com">www.pesn.com</a> , 2012).	168
Εικόνα 4.46: Η κίνηση των θαλάσσιων ρευμάτων του πλανήτη μας (Πηγή: <a href="http://old.tehrantimes.com">http://old.tehrantimes.com</a> , 2012).	170
Εικόνα 4.47: Διάγραμμα εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση αμμωνίας (ή άλλου υγρού με χαμηλό σημείο βρασμού) και των θερμών επιφανειακών και ψυχρών βαθέων υδάτων (Πηγή: <a href="http://www.climateandfuel.com">www.climateandfuel.com</a> , 2012).	171
Εικόνα 4.48: Διάγραμμα αρχής λειτουργίας RED. Γλυκό και θαλασσινό νερό διοδεύονται μέσα από ένα σύστημα ημιπερατών μεμβρανών από τις οποίες απορροφώνται. Η κίνησή τους συνεπάγεται ηλεκτρικό ρεύμα χαμηλής τάσης (Πηγή: <a href="http://universeenergy.blogspot.gr">http://universeenergy.blogspot.gr</a> , 2012).	173
Εικόνα 4.49: Σχηματική αναπαράσταση διάταξης οσμωτικής ροής.	173
Εικόνα 5.1: Επίπεδο θορύβου ανεμογεννήτριας σε συνάρτηση με την απόσταση	185

<i>Εικόνα 5.2: Ακουστική όχληση ανεμογεννητριών σε σχέση με άλλες πηγές θορύβου</i>	.186
<i>Εικόνα 5.3: Οπτική όχληση ανεμογεννητριών</i>	.....186
<i>Εικόνα 5.4: Σύγκρουση πουλιών με ανεμογεννήτρια</i>	.....187

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1.1: Εγκατεστημένη ισχύς ηλεκτρικής ενέργειας (MW) στην Ελλάδα μέχρι το 2009 (Πηγή: 5η Εθνική Έκθεση για το επίπεδο διεύθυνσης της ανανεώσιμης ενέργειας το έτος 2010).	4
Πίνακας 2.1: Στοιχεία των τεσσάρων μεγαλύτερων φραγμάτων του κόσμου (Πηγή: Μαμάσης Ν., Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, 2011, ιστοσελίδα Wikipedia, 2012).	9
Πίνακας 2.2: ΥΗΕ της Ελλάδος (Πηγή: Μαμάσης Ν., Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, 2011).	13
Πίνακας 2.3: Απόδοση ενεργειακών καλλιεργειών για την παραγωγή βιοντίζελ (Πηγή: ιστοσελίδα Υ.ΠΕ.Κ.Α., 2012).	26
Πίνακας 2.4: Μερικές από τις τοποθεσίες με το υψηλότερο εύρος παλίρροιας παγκοσμίως (Πηγή: Τσουκαλά Β., Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, 2010).	41
Πίνακας 3.1: Τα σημαντικότερα ορόσημα στην ιστορία της εξέλιξης των φωτοβολταϊκών.	61
Πίνακας 3.2: Τα σημαντικότερα βήματα στην εξέλιξη της χρήσης βιομάζας τα νεότερα χρόνια.	71
Πίνακας 3.3: Ιστορική εξέλιξη και ορόσημα στη χρήση των διαφόρων μορφών ενέργειας.	84
Πίνακας 4.1: Τυπικές διαστάσεις ανεμογεννητριών ισχύος 0.5 και 3 MW.	104
Πίνακας 4.2: Χαρακτηριστικά ατράκτου ανεμογεννήτριας 600 kW (Πηγή: Βοβός Ν., 2012).	107
Πίνακας 5.1: Σύγκριση εστιακού πύργου και παραβολικών συλλεκτών σκάφης ως προς ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά (Πηγή: Αλεξόπουλος Σ., 2008, ιστοσελίδα Wikipedia, 2012).	189
Πίνακας 5.2: Κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε μορφής ενέργειας.	200
Πίνακας 5.3: Σύγκριση των διάφορων μορφών ενέργειας ως προς το βαθμό απόδοσης, τη διάρκεια ζωής, τις επιπτώσεις στο περιβάλλον και το κόστος.	202

## Περίληψη

Η ανά χείρας μεταπτυχιακή εργασία ασχολείται με το θέμα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) και πιο συγκεκριμένα, με τη χρονική τους εξέλιξη στο πέρασμα του χρόνου καθώς και με τη σύγκρισή τους με τις συμβατικές μορφές ενέργειας (ορυκτά καύσιμα) αλλά και μεταξύ τους.

Αναλυτικότερα, στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το σύγχρονο ενεργειακό καθεστώς και οι λόγοι που οδήγησαν σε αυτό. Γίνεται μια εισαγωγή στην έννοια των Α.Π.Ε., της παραγωγής ενέργειας από Α.Π.Ε. και τον ορισμό αυτών βάσει της Ελληνικής Νομοθεσίας. Επεξηγείται ο στόχος που έχει τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (20 – 20 – 20) στα κράτη – μέλη για μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, διείσδυση των Α.Π.Ε. στο ενεργειακό ισοζύγιο κάθε χώρας και εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

Το δεύτερο κεφάλαιο αποτελεί μια παρουσίαση των διαφόρων εναλλακτικών μορφών ενέργειας: υδραυλική, αιολική, ηλιακή, γεωθερμική, ενέργεια προερχόμενη από βιομάζα και ωκεάνια (κυματική, παλιρροιακή, θερμική, οσμωτική) ενέργεια. Κάθε μία από τις παραπάνω μορφές εξηγείται αναλυτικά, από τον ορισμό και την προέλευσή τους μέχρι τους αντιπροσωπευτικούς σύγχρονους τρόπους εκμετάλλευσής τους και το ρόλο που διαδραματίζουν στο σκηνικό της εγχώριας ή/και παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας.

Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται μια εκτενής αναδρομή στο ιστορικό της ενέργειας και υποδεικνύεται η άρρηκτη σχέση που συνέδεσε την αξιοποίηση των διάφορων πηγών ενέργειας, παραδοσιακών και εναλλακτικών, με την ανάπτυξη της ανθρώπινης κοινωνίας. Επισημαίνονται τα σημαντικότερα βήματα, οι καινοτόμες ιδέες και τα γεγονότα – ορόσημα που σημάδεψαν την εξελικτική αυτή πορεία από τα προϊστορικά χρόνια και την ανακάλυψη της φωτιάς (πρώτη χρήση βιομάζας) έως το σήμερα.

Αντίστοιχη αναφορά γίνεται και στο τέταρτο κεφάλαιο, με έμφαση στην τεχνολογική πρόοδο που συντελέστηκε με το πέρασμα των αιώνων. Γίνεται μια καταγραφή των τεχνολογικών επιτευγμάτων κάθε εποχής που σκόπευαν στη δέσμευση της ενέργειας από το εσωτερικό της γης, την κίνηση του νερού, τον άνεμο, τον ήλιο, την καύσιμη ύλη και τους ωκεανούς, για τη διευκόλυνση της καθημερινότητας αλλά και –κατά τα πρόσφατα χρόνια– την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

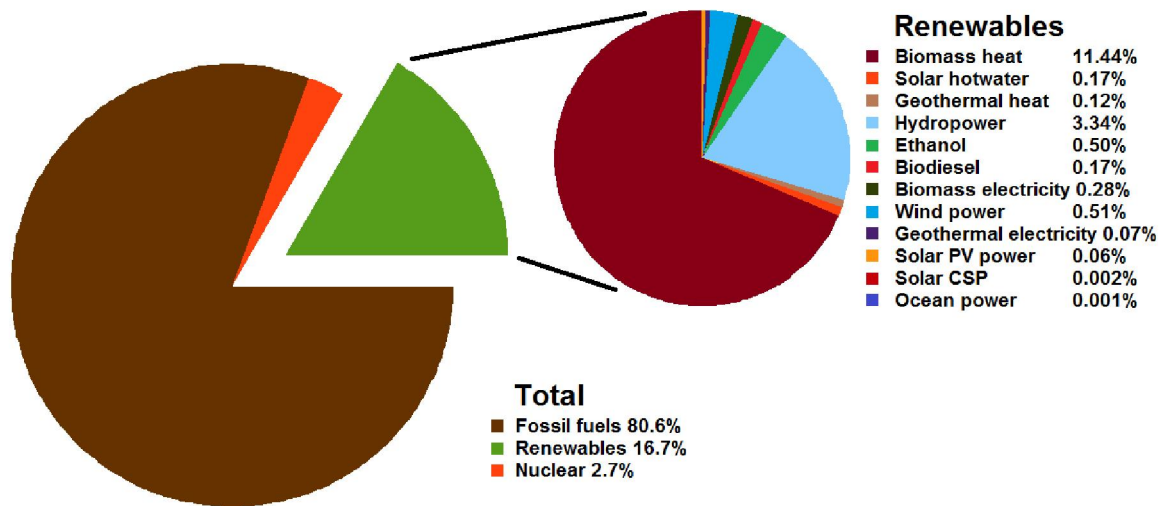
Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνολογιών εκμετάλλευσης κάθε μιας από τις ήπιες πηγές ενέργειας που εξετάστηκαν προηγουμένως και καταρρίπτονται μύθοι που συνοδεύουν κάποιες από αυτές. Ακόμα, επιχειρείται μια σύγκριση ανάμεσα στις διαφορετικές τεχνολογίες των Α.Π.Ε. και των συμβατικών μορφών ενέργειας με κύριους άξονες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, το κόστος επένδυσης και συντήρησής τους, το βαθμό απόδοσης που παρουσιάζουν και την εκτιμώμενη διάρκεια ζωής των εγκαταστάσεων. Η σύγκριση έχει σκοπό κατ' αρχήν τον προβληματισμό, με την παράθεση δεδομένων, αλλά και την ανάδειξη της καταλληλότερης μορφής ενέργειας σε ατομικό ή κοινωνικό επίπεδο αναλογιζόμενοι τις επιπτώσεις, τους ενδεχόμενους κινδύνους και μια σειρά από κριτήρια που διαφοροποιούνται κατά περίπτωση.

Τα συμπεράσματα που εξάγονται συγκεντρώνονται στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας.

## Abstract

This postgraduate thesis engages in the presentation and thorough examination of what we nowadays call Renewable Energy Sources (R.E.S.) as well as their history. We live in a world dominated by oil, a commodity whose true costs are rising every day. Renewable energy sources have been a natural resource used by man from a very early point in history. The discovery of fire, timed back as long as a good 770,000 years, is considered the very first use of a renewable resource (wood, part of biomass) in human history.

Chapter 1 demonstrates the current energy trends and the reasons that contributed in this setting. The term Renewable Energy Source is explained, along with the current Greek legislation that regulates all relevant aspects, and the goal set by European Union (20 – 20 – 20) in order for its member nations to reduce greenhouse gases, augment R.E.S. usage and save primal energy. The total world energy consumption at 2010, sorted by source, is shown in **Figure 1**:



**Figure 1:** Total world energy consumption (2010) by source (Source: Wikipedia, 2012).

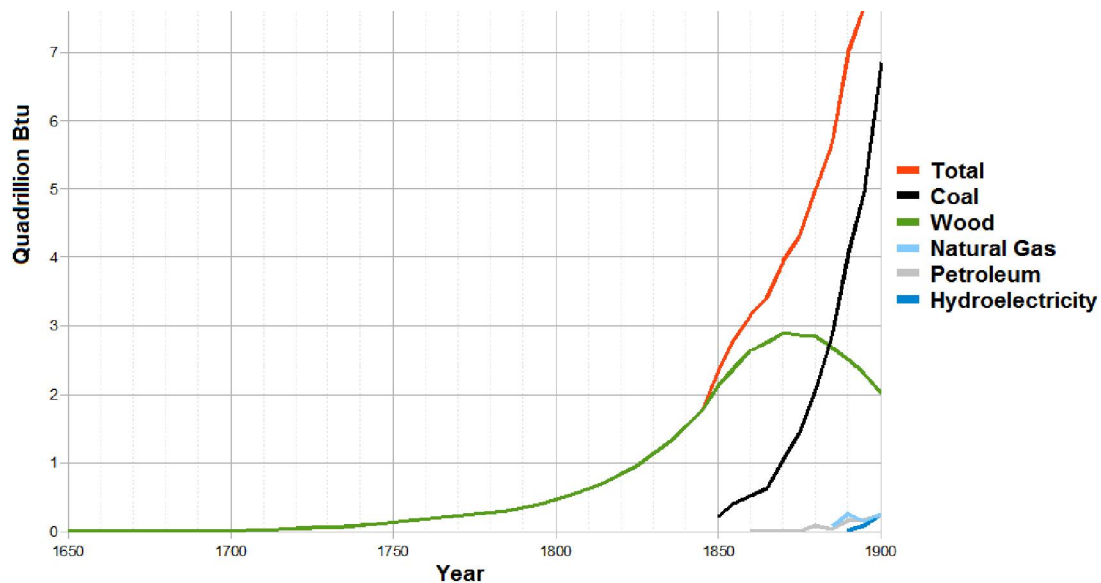
In Chapter 2, the various forms of renewable energy sources are briefly explained while some useful statistics are given.

- **hydraulic energy** is the energy derived from falling water stored in reservoirs, where it has a gravitational potential energy
- **wind energy** is the energy stored in large, moving air masses, which nowadays can be harvested through the use of wind turbines

- **solar energy** is the radiant energy produced by the Sun arriving at Earth's surface
- **geothermal energy** is defined as the thermal energy stored in the Earth's inner layers from the time of its formation or is created by tectonic activity
- **biomass energy** is the energy embodied, in the form of chemical bonds, in practically all biological matter and fuels produced from biomass (biofuels)
- **oceanic energy** is the energy contained in ocean masses and comes in various forms (wave, tide, current and osmotic energy)

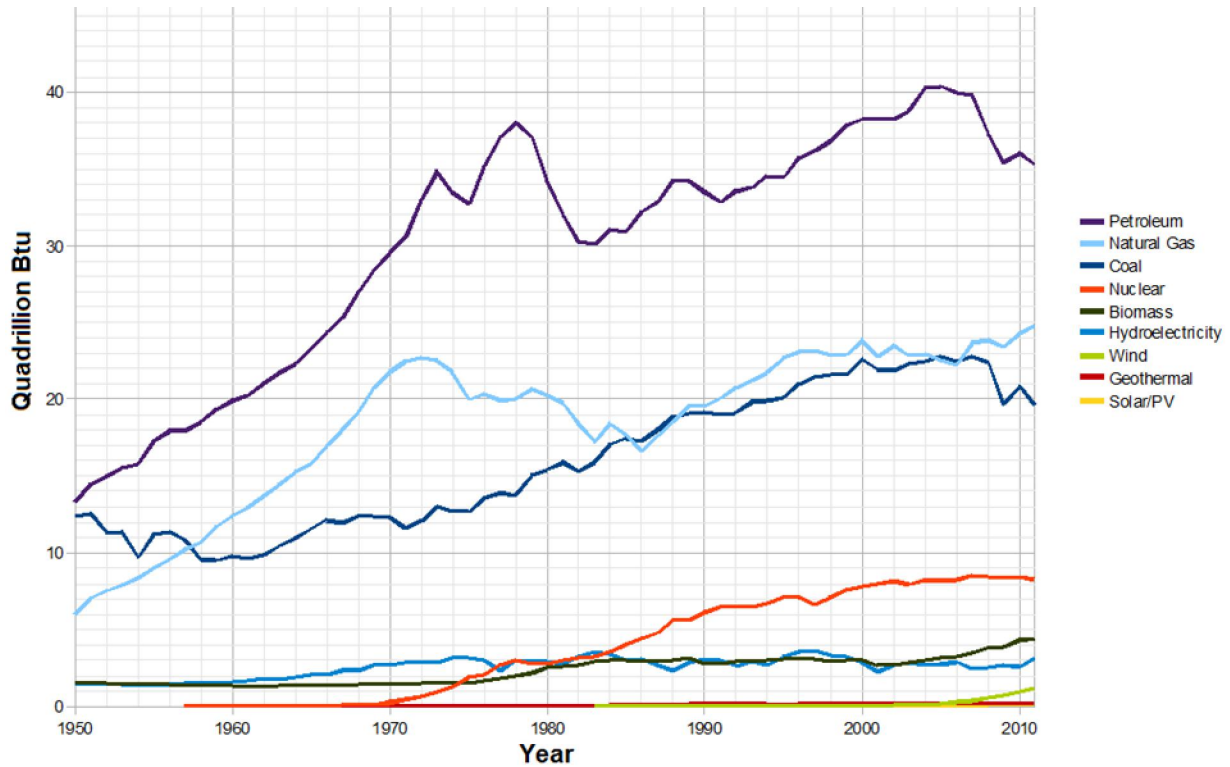
Chapter 3 delineates the history of R.E.S. usage throughout the centuries while it points out that the use of energy, traditional and renewable, has been a linked to the development of human society by helping it to control and adapt to the environment. It also highlights the key – points and milestones that marked the path of this evolution from prehistoric times up to the present.

Likewise, Chapter 4 presents the technological achievements that depict human ingenuity and resourcefulness through which man was able to capture the natural forces and use them in his favor. Prior to the development of coal – based industry during the 18<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> century, all energy used was renewable with the primary sources being (aside from human and animal labor) water used to power watermills, wind for grinding grain and firewood. As a matter of fact, in the U.S.A., oil and natural gas held, more or less, the same role in the 1900s (**Figure 2**) as wind and solar power did in 2010 (**Figure 3**).



**Figure 2:** U.S. energy consumption by source from 1650 to 1900 (Source: Wikipedia, 2012).





**Figure 3:** U.S. energy consumption by source from 1950 to 2010 (Source: Wikipedia, 2012).

Chapter 5 lists the advantages and drawbacks of each and every type of renewable energy mentioned earlier; it attempts to shake down certain myths that accompany R.E.S. and to compare and contrast them, with concentrated charts as a result of this procedure posted in the end of the chapter. The comparison lands in three main axes: environmental impacts, investment and running costs, efficiency rates and life expectancy of the works. Conclusions that were drawn sum up in the last Chapter of the dissertation.

## 1 Εισαγωγή

Η προσπάθεια για κάλυψη των τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας που απαιτούνται από το σύγχρονο τρόπο ζωής της ανθρώπινης κοινωνίας έχουν οδηγήσει σε εντονότερες παρεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον με πολλαπλές και συχνά μη αναστρέψιμες συνέπειες. Από την παραγωγή αγαθών έως τη θέρμανση, την ηλεκτροδότηση και τις μεταφορές – τομείς απαραίτητους για κάθε χώρα – οι δραστηριότητες του ανθρώπου σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με την κατανάλωση ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια έχει προκύψει μια συνειδητοποίηση του πεπερασμένου των ορυκτών καυσίμων σε συνδυασμό με μια ευαισθητοποίηση για τις περιβαλλοντικές συνέπειες της αλόγιστης χρήσης αυτών με ορόσημο τη βιομηχανική επανάσταση στα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα. Η αναζήτηση της ανθρωπότητας για λύσεις στο χειροπιαστό, πλέον, ενεργειακό πρόβλημα επέφερε μια στροφή προς τις λεγόμενες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Α.Π.Ε. (αλλιώς *ήπιες μορφές ενέργειας* ή *νέες πηγές ενέργειας* ή *πράσινη ενέργεια*).

Ως ΑΠΕ θεωρούμε τις μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δηλαδή την αιολική, την ηλιακή και τη γεωθερμική ενέργεια, την ενέργεια κυμάτων, την παλιρροϊκή ενέργεια, την υδραυλική ενέργεια, τα αέρια τα εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής, από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και τα βιοαέρια, όπως ορίζει η ΟΔΗΓΙΑ 2001/77/ΕΚ. Ωστόσο, ο όρος «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, δεδομένου ότι κάποιες από αυτές τις μορφές ενέργειας, όπως για παράδειγμα η γεωθερμική, δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών.

Σύμφωνα με τον Ν 2773/1999 παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ είναι η ηλεκτρική ενέργεια η προερχόμενη από:

1. Την εκμετάλλευση Αιολικής ή Ηλιακής Ενέργειας ή βιομάζας ή Βιοαερίου.
2. Την εκμετάλλευση Γεωθερμικής Ενέργειας, εφόσον το δικαίωμα εκμετάλλευσης του σχετικού Γεωθερμικού Δυναμικού έχει παραχωρηθεί στον ενδιαφερόμενο, σύμφωνα με τις ισχύουσες κάθε φορά διατάξεις.
3. Την εκμετάλλευση της Ενέργειας από την Θάλασσα.
4. Την εκμετάλλευση Υδάτινου Δυναμικού με Μικρούς Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς μέχρι 15MW.

5. Συνδυασμό των ανωτέρω.
6. Τη Συμπαράγωγή, με χρήση των Πηγών Ενέργειας, των 1 και 2 και συνδυασμό τους.

Τελευταία, από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη.

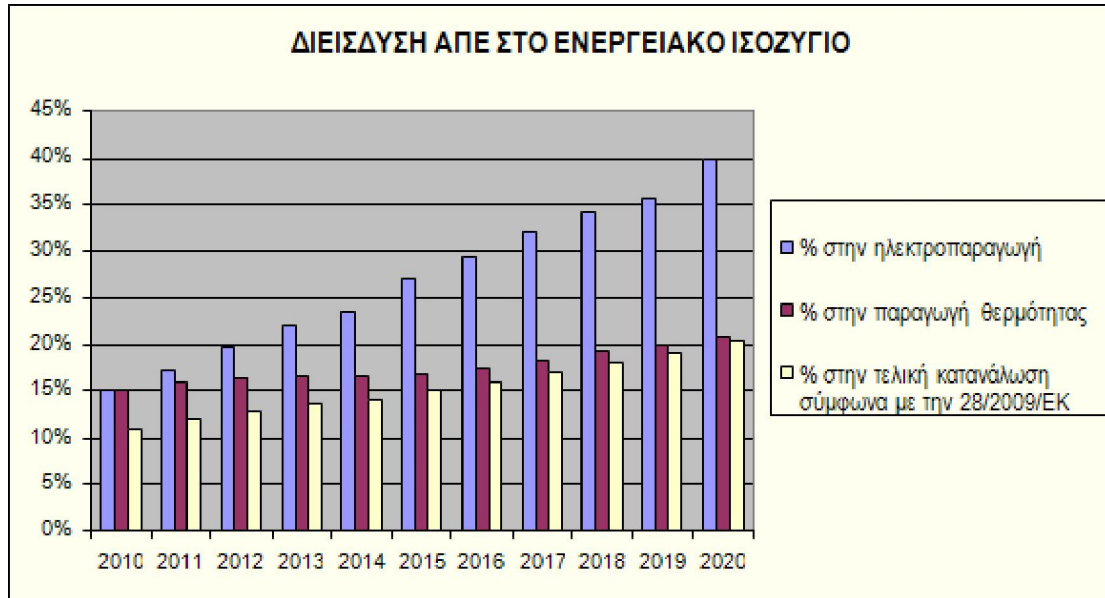
Η Έκθεση του Εθνικού Σχεδίου Δράσης για την επίτευξη της συμβολής των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20% έως το 2020, απορρέει από την Οδηγία 2009/28/ΕΚ, και περιλαμβάνει εκτιμήσεις για την εξέλιξη του ενεργειακού τομέα και τη διείσδυση των τεχνολογιών των ΑΠΕ έως το 2020 (Εικ. 1.1).

Ειδικότερα για το σύνολο των Κρατών – Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το 2020, προβλέπεται:

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

Ειδικά για την Ελλάδα, ο στόχος για τις εκπομπές αερίων ρύπων του θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός εμπορίας σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, και 18% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση (Πηγή: **Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Επιτροπή 20-20-20, 2010**).

Η επένδυση κεφαλαίου στις ΑΠΕ θεωρητικά ακολουθεί τις αρχές της οικονομίας κλίμακας, υπό την έννοια ότι το μέσο κόστος μειώνεται με την αύξηση του παραγόμενου όγκου. Με άλλα λόγια, όσο περισσότερη ενέργεια παράγεται από ανανεώσιμες πηγές, τόσο χαμηλότερο θα είναι το κόστος ανά μονάδα της ενέργειας αυτής.



*Εικόνα 1.1: Εκτίμηση διείσδυσης ΑΠΕ σύμφωνα με τους στόχους του Εθνικού Σχεδίου Δράσης 20-20-20. (Πηγή: ιστοσελίδα Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2012).*

Ωστόσο, τα περισσότερα έργα ΑΠΕ – ειδικά όσον αφορά την ηλιακή, αιολική και γεωθερμική ενέργεια – απαιτούν ιδιαίτερα υψηλά αρχικά κεφάλαια, αποτρέποντας τους επενδυτές. Με την πραγματοποίηση της αρχικής επένδυσης όμως, τα απαιτούμενα υλικά είναι ως επί το πλείστον δωρεάν. Ως εκ τούτου, τα μόνα έξοδα που σχετίζονται με την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας είναι αυτά της συντήρησης, των εργατικών και των φόρων λειτουργίας.

Στον ακόλουθο πίνακα (**Πίν. 1.1**) δίνεται η εγκατεστημένη ισχύς ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από ΑΠΕ στον ελλαδικό χώρο μέχρι το 2009.

Εκτός από την ανησυχία για την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας, η βασική αιτία πίσω από την επένδυση στις ΑΠΕ είναι η ανερχόμενη τιμή του πετρελαίου. Καθώς το πετρέλαιο ακριβαίνει, η ιδέα της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές φαντάζει όλο και πιο ελκυστική. Για παράδειγμα, ο σταθμισμένος μέσος όρος της τιμής της αιολικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των φόρων παραγωγής, το 2009 ήταν περί τα 0,044 USD / kWh – τιμή που είναι άμεσα ανταγωνίσιμη εκείνης της ενέργειας που παράγεται από τα ορυκτά καύσιμα.

**Πίνακας 1.1:** Εγκατεστημένη ισχύς ηλεκτρικής ενέργειας (MW) στην Ελλάδα μέχρι το 2009 (Πηγή: 5η Εθνική Έκθεση για το επίπεδο διείσδυσης της ανανεώσιμης ενέργειας το έτος 2010).

Τεχνολογία ΑΠΕ	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
ΜΥΗΣ	42	45	45	50	59	64	>77	95	158	180
Φωτοβολταϊκά	0	1	1	1	1	1	5	9	12	37
Αιολικά	226	270	287	371	472	491	749	846	1.022	1.140
Βιομάζα	1	22	22	22	24	24	24	39	40	41
Σύνολο	269	338	335	444	556	581	855	989	1.232	1.398

Πολλοί επίσης επισημαίνουν ότι η βιομηχανία των ΑΠΕ αποτελεί μια νέα, καινοτόμα αγορά, τη στιγμή που η βιομηχανία ορυκτών καυσίμων είναι πλέον πολύ γηρασμένη.

Η βιομηχανία είναι καθ' όλα κατάλληλη για ανάπτυξη των αγορών, καθώς η παραγωγή και διανομή ορυκτών καυσίμων αποδεικνύεται ιδιαίτερα δαπανηρή σε περιπτώσεις χωρών που δε διαθέτουν την απαραίτητη υποδομή. Επιπλέον, η κατασκευή τέτοιων έργων σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες έχει βοηθήσει στην ανακούφιση από τη φτώχεια, παρέχοντας την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία των επιχειρήσεων και κατ' επέκταση, αυξάνοντας τις θέσεις εργασίας.

Κλείνοντας αυτή τη σύντομη παρουσίαση των ΑΠΕ, θα πρέπει να αναφερθεί ότι με την παρούσα τεχνολογία δεν είναι δυνατή η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας. Καθίσταται επομένως επιτακτική η προώθηση και η ανάπτυξη της ενεργειακής τεχνολογίας σε συνδυασμό με την παύση της υφιστάμενης κατασπατάλησης ενέργειας, η οποία σαφώς και δεν είναι απαραίτητη για το καλό βιοτικό επίπεδο των λαών.

## 2 Παρουσίαση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Μια από τις πιο γνωστές μορφές ήπιας ενέργειας είναι η **υδραυλική**, δηλαδή η ενέργεια που φέρει το νερό λόγω θέσης του σε κάποιο υψόμετρο. Αποτελεί μια ανανεώσιμη και αποκεντρωμένη πηγή ενέργειας που υπηρέτησε και υπηρετεί πιστά τον άνθρωπο στο δρόμο της ανάπτυξης. Η υδραυλική ενέργεια αποτελεί στην ουσία αποταμιευμένη δυναμική ενέργεια μέσα σε βαρυτικό πεδίο λόγω μιας υψομετρικής διαφοράς η οποία αποδίδεται ως κινητική μέσω της υδατόπτωσης. Η υδροηλεκτρική ενέργεια δύναται να καλύψει σημαντικό μέρος των ενεργειακών αναγκών σε ώρες αιχμής, όταν η αντίστοιχη παραγωγή των παραδοσιακών σταθμών έχει υψηλότερο κόστος, ενώ παράλληλα εξυπηρετούν υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες των κατάντη περιοχών. Υπολογίζεται ότι στη χώρα μας, με ολοκληρωμένη ανάπτυξη των υδροηλεκτρικών έργων, μπορούμε να επιτύχουμε κάλυψη των ηλεκτροενεργειακών μας αναγκών της τάξης του 20%.

Η **ηλιακή** ενέργεια είναι μια δευτέρα σημαντική μορφή ΑΠΕ ιδιαίτερα στη χώρα μας, όπου παρουσιάζεται συχνή και μεγάλη ηλιοφάνεια. Οι κύριες εφαρμογές εκμετάλλευσής της αφορούν τις θερμικές χρήσεις παρότι υπάρχουν και εκεί σημαντικά περιθώρια τεχνολογικής ανάπτυξης. Ωστόσο, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία, πεδίο στο οποίο η υπάρχουσα τεχνολογία είναι ακόμα αρκετά αντιοικονομική.

Μια επίσης πολύ διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας είναι η **αιολική**. Με τον όρο αιολική ενέργεια εννοούμε την κινητική ενέργεια των τεράστιων αερίων μαζών η οποία αποκτάται λόγω της διαφορικής θέρμανσής τους από την ηλιακή ακτινοβολία. Η δέσμευση της αιολικής ενέργειας και η μετατροπή της σε ηλεκτρική πραγματοποιείται μέσω ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, τις γνωστές σε όλους μας ανεμογεννήτριες. Στην Ελλάδα είναι οικονομικά συμφέρουσα η εγκατάσταση ανεμογεννητριών στο νησιωτικό τμήμα όπου παρουσιάζεται και το υψηλότερο αιολικό δυναμικό.

Η **γεωθερμική** αποτελεί μια ίσως όχι και τόσο οικεία μορφή «πράσινης» ενέργειας. Η εκμετάλλευσή της αφορά τη χρήση του θερμού νερού και ατμού που προέρχονται από το εσωτερικό της γης για σκοπούς θέρμανσης και ηλεκτροπαραγωγής και

σχετίζεται με τη γεωλογία της κάθε περιοχής. Στη χώρα μας υπάρχουν ορισμένες δυνατότητες και για θερμική παραγωγή, αλλά και (λιγότερες) για ηλεκτρική παραγωγή.

Η *ενέργεια βιομάζας*, δηλαδή η αποθηκευμένη στους φυτικούς ιστούς μέσω φωτοσύνθεσης, ηλιακή ενέργεια, είναι μία ακόμα μορφή ανανεώσιμης ενέργειας. Με την ευρεία έννοια του όρου ωστόσο, βιομάζα αποτελεί οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς. Οικονομικά είναι εξεταστέα κατά περίπτωση η αξιοποίησή της, ενώ περιβαλλοντικά έχει και αρνητικά (π.χ. καύση και ρύπανση ατμόσφαιρας), αλλά και θετικά (π.χ. διευκόλυνση απόρριψης σκουπιδιών).

Τέλος, στα πλαίσια των ΑΠΕ θα πρέπει να αναφερθεί η *κυματική* και *παλιρροϊκή* ενέργεια καθώς και η *θερμική ενέργεια των ωκεανών*. Οι μεγάλες υδάτινες μάζες που καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα του πλανήτη μας είναι μια τεράστια αποθήκη ενέργειας. Τα θαλάσσια κύματα, τα παλιρροϊκά κύματα καθώς και τα θαλάσσια ρεύματα φέρουν τεράστιες ποσότητες μηχανικής ενέργειας, ενώ μεγάλα αποθέματα θερμικής ενέργειας υπάρχουν στα νερά των ωκεανών. Το πρόβλημα είναι ότι αυτές οι μεγάλες ποσότητες ενέργειας είναι αρκετά διασκορπισμένες. Η ενέργεια των θαλάσσιων ρευμάτων, των κυμάτων και των ωκεανών προέρχεται αποκλειστικά από την ηλιακή ακτινοβολία. Αντίθετα, η ενέργεια των παλιρροϊκών κυμάτων προέρχεται από τη βαρυτική έλξη που ασκούν η σελήνη και ο ήλιος στις υδάτινες μάζες του πλανήτη μας.

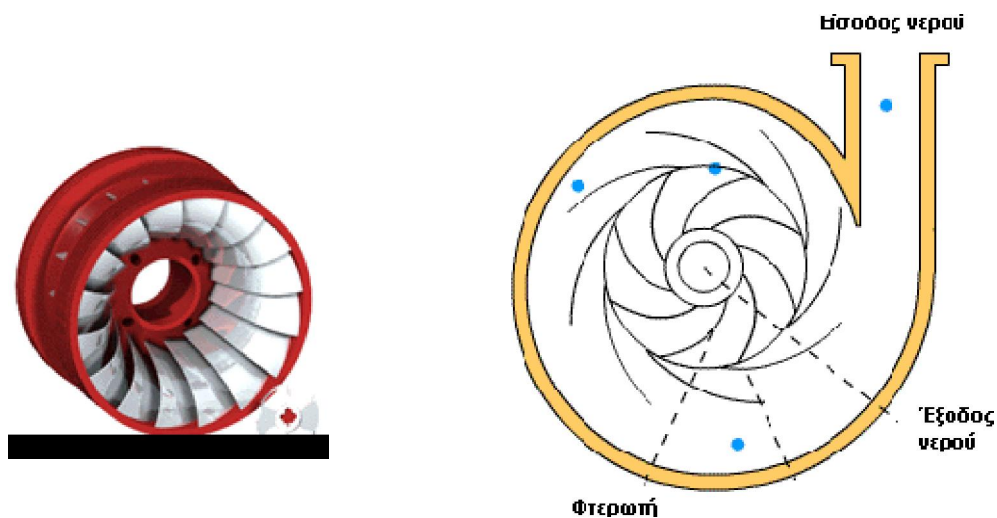
## 2.1 Υδραυλική Ενέργεια

Η υδραυλική, ή όπως είναι πλέον γνωστή, υδροηλεκτρική ενέργεια (Υ/Ε) είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι υδροηλεκτρικές μονάδες δαμάζουν την ενέργεια του νερού και χρησιμοποιώντας μια απλή μέθοδο μετατρέπουν την ενέργεια αυτή σε ηλεκτρικό ρεύμα σε δύο βασικά βήματα:

1. μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε μηχανική
2. μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική

Οι περισσότερες υδροηλεκτρικές μονάδες χρησιμοποιούν ένα φράγμα το οποίο συγκρατεί μια μεγάλη ποσότητα νερού δημιουργώντας έτσι μια μεγάλη δεξαμενή. Κάποιες θύρες στο φράγμα ανοίγουν και λόγω της βαρύτητας το νερό περνάει σε έναν αγωγό ο οποίος το οδηγεί σε μια τουρμπίνα. Καθώς αυτό περνάει από τον αγωγό δημιουργεί μεγάλη πίεση. Το νερό πέφτει πάνω στις φτερωτές της τουρμπίνας και την περιστρέφει. Η περιστροφική αυτή κίνηση μεταφέρεται στην γεννήτρια η οποία είναι συνδεδεμένη με την τουρμπίνα με ένα άξονα.

Ο πιο συνηθισμένος τύπος τουρμπίνας για υδροηλεκτρικές μονάδες είναι η τουρμπίνα Francis (**Εικ 2.1**)

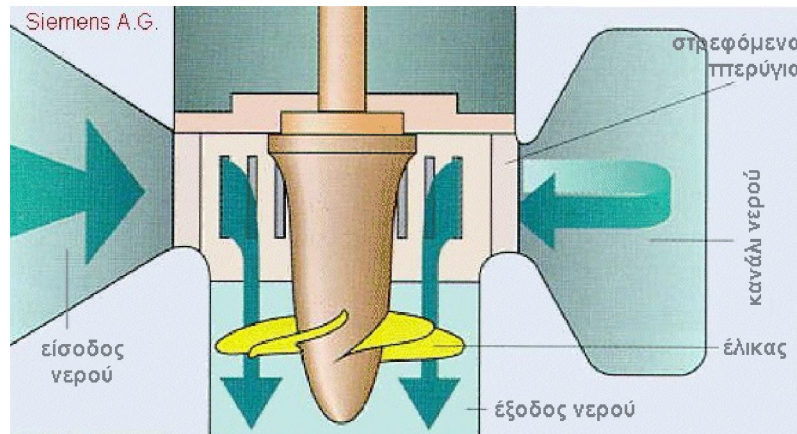


**Εικόνα 2.1:** Υδροτουρμπίνα Francis.

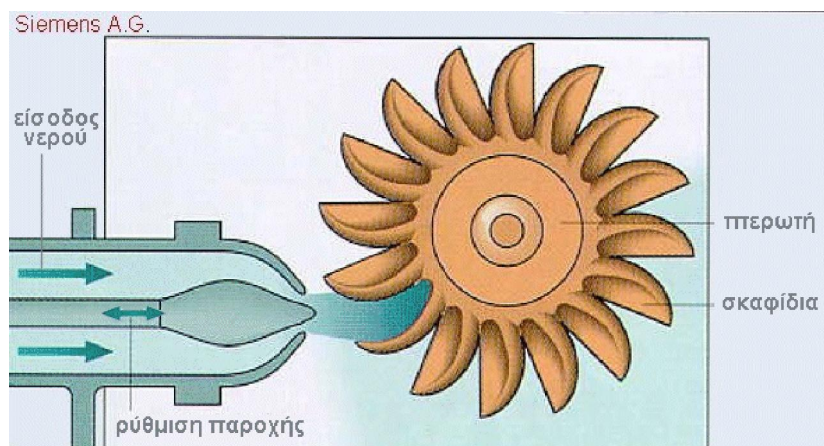


Μια τέτοια τουρμπίνα μπορεί να ζυγίζει μέχρι 172 τόνους και να κάνει 90 περιστροφές το λεπτό (Μαρινάκης Ι.).

Άλλοι γνωστοί τύποι τουρμπίνας που χρησιμοποιούνται στην εκμετάλλευση της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι οι Kaplan και Pelton (Εικ. 2.2 και 2.3).



Εικόνα 2.2: Υδροτουρμπίνα Kaplan.



Εικόνα 2.3: Υδροτουρμπίνα Pelton.

Καθώς οι φτερωτές της τουρμπίνας περιστρέφονται, περιστρέφουν τους μαγνήτες της γεννήτριας γύρω από ένα πηνίο θέτοντας σε κίνηση ηλεκτρόνια και δημιουργώντας έτσι εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα.

Ο μετασχηματιστής παίρνει το εναλλασσόμενο ρεύμα και το μετατρέπει σε ρεύμα υψηλής τάσης. Έξω από κάθε υδροηλεκτρική μονάδα υπάρχουν τέσσερα καλώδια: οι

τρεις φάσεις του ρεύματος που δημιουργούνται ταυτόχρονα συν η ουδέτερη ή γείωση και για τις τρεις.

Το σύνολο των έργων και εξοπλισμού μέσω των οποίων γίνεται η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική, ονομάζεται Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ).

Σήμερα υπάρχουν πολλά και εντυπωσιακά Υ/Ε σε ολόκληρο τον πλανήτη, τα μεγαλύτερα από τα οποία (κατά φθίνουσα σειρά εγκατεστημένης ισχύος) παρουσιάζονται ακολούθως (Πίν. 2.1 και Εικ. 2.4 – 2.7).

**Πίνακας 2.1:** Στοιχεία των τεσσάρων μεγαλύτερων φραγμάτων του κόσμου (Πηγή: Μαμάσης Ν., Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, 2011, ιστοσελίδα Wikipedia, 2012).

Όνομα	Χώρα	Έτος ολοκλήρωσης κατασκευής	Συνολική ισχύς (MW)	Μέγιστη ετήσια ηλεκτροπαραγωγή (TWh)	Επιφάνεια ταμιευτήρα (km <sup>2</sup> )
Three Gorges Dam	Κίνα	2012	22.500	84,37	632
Itaipu	Βραζιλία / Παραγουάη	2003	14.000	94,7	1.350
Guri (Simón Bolívar)	Βενεζουέλα	1986	10.200	53,41	4.250
Tucuruí	Βραζιλία	1984	8.370	41,43	3.014



*Εικόνα 2.4: Το φράγμα Three Gorges κατά το 2009.*



*Εικόνα 2.5: Το φράγμα Itaipu.*



*Εικόνα 2.6: Το φράγμα Guri.*



*Εικόνα 2.7: Το φράγμα Tucuruí.*

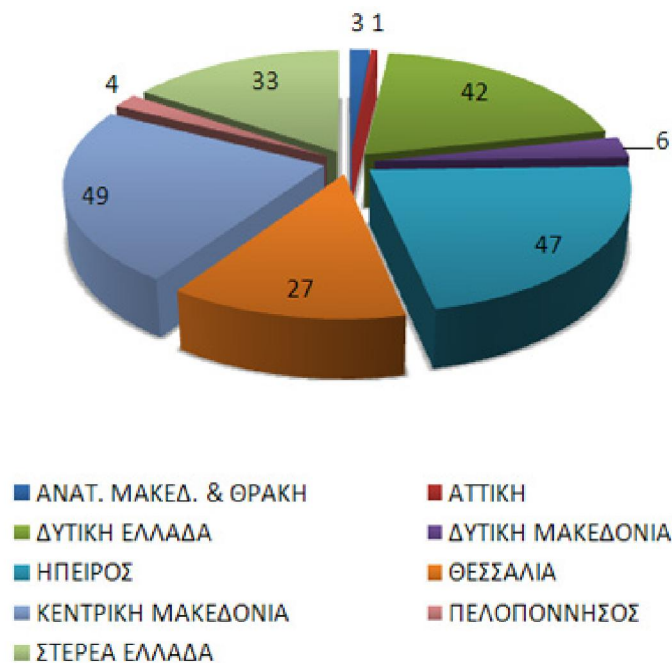
Η δέσμευση / αποθήκευση ποσοτήτων ύδατος σε φυσικές ή τεχνητές λίμνες, για ένα Υδροηλεκτρικό Σταθμό, ισοδυναμεί πρακτικά με αποταμίευση υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η προγραμματισμένη αποδέσμευση αυτών των ποσοτήτων ύδατος και η εκτόνωσή τους στους υδροστροβίλους οδηγεί στην ελεγχόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ποσότητα του ηλεκτρισμού που παράγεται καθορίζεται από αρκετούς παράγοντες. Δυο από αυτούς είναι ο όγκος του νερού που ρέει και η ποσότητα της υδραυλικής κεφαλής. *Υδραυλική κεφαλή* είναι η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του νερού και της τουρμπίνας. Όσο αυξάνεται ο όγκος του νερού και της υδραυλικής κεφαλής τόσο αυξάνεται και το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Το μέγεθος της υδραυλικής κεφαλής εξαρτάται από την ποσότητα του νερού της δεξαμενής.

Οι περισσότερες υδροηλεκτρικές μονάδες λειτουργούν με αυτόν τον τρόπο. Όμως υπάρχει και ένας άλλος τύπος υδροηλεκτρικής μονάδας. Σε μια συμβατική υδροηλεκτρική μονάδα το νερό από την δεξαμενή περνάει από την τουρμπίνα και

καταλήγει πάλι στο ποτάμι. Οι νέες υδροηλεκτρικές μονάδες χρησιμοποιούν δύο δεξαμενές. Την ανώτερη δεξαμενή η οποία συγκεντρώνει το νερό που συγκρατεί το φράγμα και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Την κατώτερη δεξαμενή η οποία συγκεντρώνει το νερό που φεύγει από τις τουρμπίνες, αντί να γυρίζει πίσω στο ποτάμι. Μια αντίστροφη τουρμπίνα διοχετεύει αυτό το νερό πάλι πίσω στην ανώτερη δεξαμενή. Επιστρέφοντας το νερό πίσω, η μονάδα έχει περισσότερο νερό για χρήση σε περιόδους αιχμής.

Τα Μικρής κλίμακας Υδροηλεκτρικά έργα (ΜΥΗΕ) είναι κυρίως «συνεχούς ροής», δηλαδή δεν περιλαμβάνουν σημαντική περισυλλογή και αποταμίευση ύδατος, και συνεπώς ούτε κατασκευή μεγάλων φραγμάτων και ταμιευτήρων. Γι' αυτό το λόγο γίνεται συνήθως και ο διαχωρισμός μεταξύ μικρών και μεγάλων υδροηλεκτρικών.

Στην Ελλάδα, η χωρική κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος στο διασυνδεδεμένο σύστημα φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί (Εικ. 2.8).



**Εικόνα 2.8:** Γεωγραφική κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος των ΥΗΕ (σε MW) στο διασυνδεδεμένο σύστημα (Πηγή: Πληροφοριακό Δελτίο ΛΑΓΗΕ, Ιούνιος 2012).

Ο ορισμός των ΜΥΗΕ ποικίλει από χώρα σε χώρα. Θα πρέπει αρχικά να διευκρινισθεί ότι από πλευράς αρχής λειτουργίας, τόσο στη μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική και στη μετατροπή της τελευταίας σε ηλεκτρική,

ένα μικρό ΥΗΕ δεν διαφέρει από ένα μεγάλο. Επίσης, δε διαφέρουν ως προς το πλήθος και το είδος των επί μέρους έργων – τμημάτων από τα οποία απαρτίζεται ένα ΥΗΕ. Ο χαρακτηρισμός ενός ΥΗΕ ως «μικρό» δεν αναφέρεται αποκλειστικά στην εγκατεστημένη ισχύ ή στις διαστάσεις των μονάδων αλλά σε ένα σύνολο χαρακτηριστικών, πολλά από τα οποία δεν είναι μετρήσιμα, δηλαδή οι διαφορές μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΕ δεν είναι μόνο ποσοτικές αλλά κυρίως ποιοτικές (**Μαρινάκης, Ι.**). Στα μεγάλα ΥΗΕ ο χαρακτηρισμός τους ως «μεγάλων» παραλείπεται ως εννοούμενος. Σε ορισμένες χώρες το όριο διάκρισης μεταξύ μικρών και μεγάλων ΥΗΕ ορίζεται στα 5MW. Το ότι το όριο διάκρισης δεν είναι ιδιαίτερα σαφές οφείλεται στο ότι οι διαφορές τους δεν είναι τόσο ποσοτικές όσο ποιοτικές και αφορούν την επιλογή του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, την διαμόρφωση και την εκμετάλλευση του ΥΗΕ.

Η Ελληνική Νομοθεσία από το 2011 ορίζει ως μικρούς τους σταθμούς με ισχύ μικρότερη των 15 MW.

Κάτω από προϋποθέσεις είναι δυνατή και ανάληψη σχετικής μικροϋδροηλεκτρικής δράσης και για μικρά έργα ισχύος μεταξύ 2MW και 5MW.

Στην Ελλάδα λειτουργούν 16 μεγάλα και 11 μικρά ΥΗΕ με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 3.060 MW. Κάθε χρόνο παράγουν κατά μέσο όρο περί τις 4.000 – 5.000 GWh συνεισφέροντας σε ποσοστό 8 – 10% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής της χώρας μας και καλύπτοντας τα ηλεκτρικά φορτία αιχμής. Παρ' ό,τι υπάρχει μεγάλη δυνατότητα περαιτέρω ανάπτυξης υδροηλεκτρικών σταθμών, η ΔΕΗ δεν προγραμματίζει την κατασκευή νέων μεγάλων ΥΗΕ και το ενδιαφέρον των ιδιωτών επενδυτών παραμένει ακόμα περιορισμένο.

Στον πίνακα που ακολουθεί (**Πιν. 2.2**) γίνεται μια καταγραφή των ΥΗΕ της χώρας μας.

Πίνακας 2.2: ΥΗΕ της Ελλάδος (Πηγή: Μαμάσης Ν., Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, 2011).

ΜΕΓΑΛΑ			ΜΙΚΡΑ	
Τοποθεσία	Έτος ένταξης	Ωφέλιμος όγκος ταμιευτήρα (hm <sup>3</sup> )	Τοποθεσία	Έτος ένταξης
Λούρος	1954	0,035	Γλαύκος	1927
Άγρας	1954	3,8	Βέρμιο	1929
Λάδωνας	1955	46,2	Αγιά Κρήτης	1929
Πλαστήρας	1960	300	Αλμυρός Κρήτης	1931
Κρεμαστά	1966	2.805	Αγ. Ιωάννης Σερρών	1931
Καστράκι	1969	53	Γκιώνα	1988
Εδεσσαίος	1969	0,46	Στράτος II	1988
Πολύφυτο	1974	1020	Μακροχώρι	1992
Πουρνάρι	1981	303	Αγ .Βαρβάρα Αλιάκμονα	2008
Ασώματα	1985	10	Σμόκοβο	2008
Σφηκιά	1985	16	Παπαδιά	2010
Στράτος	1989	11		
Πηγές Αώου	1990	145		
Θησαυρός	1997	570		
Πουρνάρι II	1999	3,6		
Πλατανόβρυση	1999	12		

Οι πολύ υψηλοί βαθμοί απόδοσης των υδροστροβίλων, που μερικές φορές υπερβαίνουν και το 90%, και η πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής των υδροηλεκτρικών έργων, που μπορεί να υπερβαίνει και τα 100 έτη, αποτελούν δύο χαρακτηριστικούς δείκτες για την ενεργειακή αποτελεσματικότητα και την τεχνολογική ωριμότητα των υδροηλεκτρικών σταθμών

Ένας μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός αποτελεί ένα έργο απόλυτα συμβατό με το περιβάλλον, καθώς το σύνολο των επιμέρους παρεμβάσεων στην περιοχή εγκατάστασης του έργου μπορεί να ενταχθεί αισθητικά και λειτουργικά στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας τους τοπικούς πόρους.

Με δεδομένη την ύπαρξη κατάλληλων υδάτινων πόρων και τον επαρκή εφοδιασμό τους με τις απαραίτητες βροχοπτώσεις, η Υ/Ε καθίσταται μια σημαντικότερη εναλλακτική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας.

## 2.2 Αιολική Ενέργεια

Οι άνεμοι, δηλαδή οι μεγάλες μάζες αέρα που μετακινούνται με ταχύτητα από μία περιοχή σε κάποια άλλη, οφείλονται στην ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης από την ηλιακή ακτινοβολία. Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου από τον άνθρωπο αποτελεί μία πρακτική που βρίσκει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας είναι τα ιστιοφόρα και οι ανεμόμυλοι. Τα σύγχρονα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας αφορούν κυρίως μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια και ονομάζονται «ανεμογεννήτριες» (Α/Γ).

Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια με τρόπο παρόμοιο με αυτόν των υδροηλεκτρικών έργων: η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανική, θέτοντας σε κίνηση την πτερωτή της ανεμογεννήτριας, η οποία στη συνέχεια μεταφέρει μέσω άξονα την κίνηση σε γεννήτρια όπου και γίνεται η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια.

Αν υπήρχε η δυνατότητα, με τη σημερινή τεχνολογία, να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό αιολικό δυναμικό της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες της ανθρωπότητας στο

ίδιο διάστημα (**Αιολική ενέργεια, Κ.Α.Π.Ε., 1998**). Υπολογίζεται ότι στο 25 % της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1 m/s, σε ύψος 10m πάνω από το έδαφος. Όταν οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα. Άλλωστε το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει την «πρώτη» περίοδο ωριμότητας, καθώς είναι πλέον ανταγωνιστική των συμβατικών μορφών ενέργειας (**Καμπάνη Θ., 2012**).

Η σημαντικότερη οικονομικά εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η σύνδεσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο μιας χώρας. Στην περίπτωση αυτή, ένα αιολικό πάρκο, δηλαδή μία συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, εγκαθίσταται και λειτουργεί σε μία περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύει το σύνολο της παραγωγής του στο ηλεκτρικό σύστημα. Υπάρχει, βέβαια, και η δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται, μηχανικής ενέργειας για χρήση σε αντλιοστάσια, καθώς και θερμότητας. Όμως, η ισχύς που παράγεται σε εφαρμογές αυτού του είδους είναι περιορισμένη, το ίδιο και η οικονομική τους σημασία.

Η χώρα μας διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό και η αιολική ενέργεια μπορεί να γίνει σημαντικός μοχλός ανάπτυξης της. Από το 1982, οπότε εγκαταστάθηκε από τη ΔΕΗ το πρώτο αιολικό πάρκο στην Κύθνο, μέχρι και σήμερα έχουν κατασκευασθεί στην Άνδρο, στην Εύβοια, στη Λήμνο, Λέσβο, Χίο, Σάμο και στην Κρήτη εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο συνολικής ισχύος πάνω από 30MW (**Εκπαιδευτικό πρόγραμμα: Ενέργεια και Περιβάλλον, 2012**). Μεγάλο ενδιαφέρον επίσης εκδηλώνει και ο ιδιωτικός τομέας για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, ιδιαίτερα στην Κρήτη, όπου το Υπουργείο Ανάπτυξης έχει εκδώσει άδειες εγκατάστασης για νέα αιολικά πάρκα συνολικής ισχύος δεκάδων MW.

Οι Α/Γ χρησιμοποιούνται για την πλήρη κάλυψη ή και τη συμπλήρωση των ενεργειακών αναγκών. Το παραγόμενο από τις ανεμογεννήτριες ηλεκτρικό ρεύμα είτε καταναλώνεται επιτόπου, είτε εγχέεται και διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να καταναλωθεί αλλού. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις Α/Γ, όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση, συχνά αποθηκεύεται για να



χρησιμοποιηθεί αργότερα, όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή. Η αποθήκευση σήμερα γίνεται με δύο οικονομικά βιώσιμους τρόπους, ανάλογα με το μέγεθος της παραγόμενης ενέργειας. Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες) είναι η πλέον γνωστή και διαδεδομένη μέθοδος αποθήκευσης Η/Ε, η οποία χρησιμοποιείται για μικρής κλίμακας παραγωγικές μη διασυνδεδεμένες στο κεντρικό δίκτυο μονάδες. Η άντληση ύδατος με χρήση Η/Ε παραγόμενης από Α/Γ και η ταμίευσή του σε τεχνητές λίμνες κατασκευασμένες σε υψόμετρο το οποίο είναι ικανό να τροφοδοτήσει υδροηλεκτρικό σταθμό, είναι η μέθοδος αποθήκευσης που χρησιμοποιείται όταν η παραγόμενη Η/Ε είναι μεγάλη.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις του Παγκόσμιου Συμβουλίου Αιολικής Ενέργειας (**Global Wind Energy Council – GWEC**), η εγκατεστημένη ισχύς της αιολικής ενέργειας το 2009 αυξήθηκε κατά 31%, με το ένα τρίτο της αύξησης να έχει γίνει στη Κίνα. Σήμερα, η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς από αιολική ενέργεια είναι της τάξης των 150GW. Σύμφωνα με τη ίδια πηγή, περισσότεροι από 500.000 άνθρωποι εργάζονται στη βιομηχανία της αιολικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο. Μόνο στην Ευρώπη το 2009, οι επενδύσεις στον τομέα των αιολικών έφτασαν τα 13 δις €.

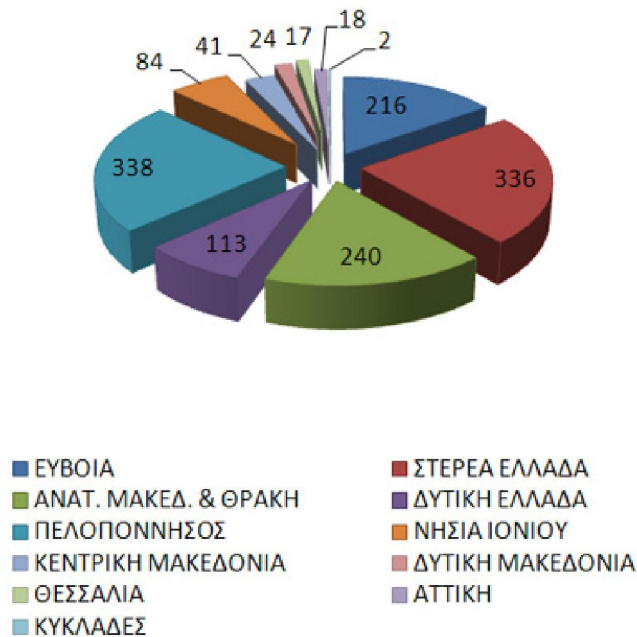
Η Ισπανία, η Γερμανία, η Ιταλία, η Γαλλία και η Αγγλία, που προηγούνται στην Ευρώπη, αλλά και άλλες χώρες με λιγότερη εγκατεστημένη ισχύ, έχουν οδηγήσει την Ευρωπαϊκή ένωση στο να παράγει το 2009 περί τις 160TWh, το 4,8% των συνολικών της αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η Ελλάδα διαθέτει εξαιρετικό αιολικό δυναμικό, κυρίως στις περιοχές του Αιγαίου όπου οι άνεμοι φυσούν πολύ συχνά με εντάσεις των 7 – 8 μποφόρ αλλά και στις περιοχές της Κρήτης, της Πελοποννήσου και της Ευβοίας όπου και συναντώνται τα περισσότερα αιολικά πάρκα. Ωστόσο, δεν έχει υπάρξει μεγάλη ανάπτυξη, κυρίως λόγω τοπικών αντιδράσεων και αδυναμιών του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Παρ' όλα αυτά, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια σημαντική πρόοδος στον τομέα αυτό.

Η κατανομή στον ελλαδικό χώρο της εγκατεστημένης ισχύος στο διασυνδεδεμένο σύστημα παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (**Εικ. 2.9**).

Η αιολική ενέργεια είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Η εκμετάλλευση του υψηλού της δυναμικού στη χώρα μας, σε συνδυασμό με τη ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών που ενσωματώνεται στις σύγχρονες αποδοτικές ανεμογεννήτριες,

έχει τεράστια σημασία για τη βιώσιμη ανάπτυξη, την εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.



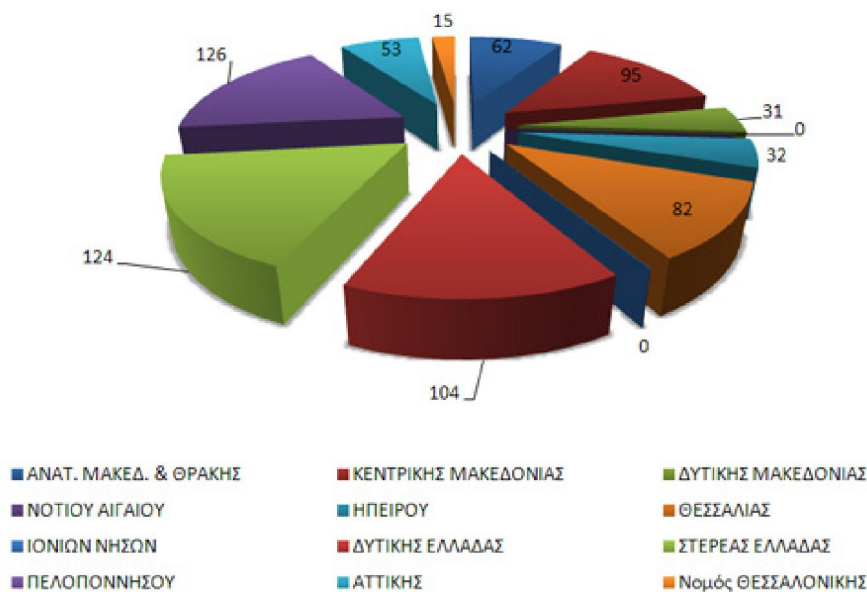
**Εικόνα 2.9:** Γεωγραφική κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος των αιολικών πάρκων (σε MW) στο διασυνδεδεμένο σύστημα (Πηγή: Πληροφοριακό Δελτίο ΛΑΓΓΗΕ, Ιούνιος 2012).

### 2.3 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που παράγεται στον ήλιο. Φτάνει σχεδόν αμετάβλητη στο ανώτατο στρώμα της ατμόσφαιρας του πλανήτη μας, διαμέσου του διαστήματος, και στη συνέχεια κατά τη διέλευσή της από την ατμόσφαιρα υπόκειται σε σημαντικές αλλαγές, που οφείλονται στην σύσταση της ατμόσφαιρας. Γενικά, με το όρο ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζουμε το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο, δηλαδή το φως (ή φωτεινή ενέργεια), τη θερμότητα (ή θερμική ενέργεια) καθώς και διάφορες ακτινοβολίες (ή ενέργεια ακτινοβολίας). Η ηλιακή ενέργεια σε ένα έτος είναι περίπου 14.000 φορές μεγαλύτερη από την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας (ηλιακή σταθερά  $1367 \text{ W/m}^2$ ). Επιπλέον, στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Η

ηλιακή ενέργεια που ακτινοβολείται, απορροφάται από στοιχεία και ενώσεις στη Γη και μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας. Εκτός των άλλων η ενέργεια αυτή: (α) απορροφάται από τη γη και μετατρέπεται σε θερμότητα διατηρώντας τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, (β) συντηρεί τον υδρολογικό κύκλο (εξάτμιση – βροχόπτωση), (γ) συντηρεί την κατακόρυφη μεταφορά (αιολική ενέργεια, ρεύματα), και (δ) συντηρεί την φωτοσύνθεση (Μαμάσης Ν., 2011) Η τεχνολογία σήμερα αξιοποιεί ένα μηδαμινό ποσοστό της καταφθάνουσας στην επιφάνεια του πλανήτη μας ηλιακής ενέργειας με τριών ειδών συστήματα: τα ενεργητικά ηλιακά, τα παθητικά ηλιακά και τα φωτοβολταϊκά συστήματα που θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

Στο ακόλουθο διάγραμμα (Εικ. 2.10) παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος στο διασυνδεδεμένο σύστημα:



**Εικόνα 2.10:** Γεωγραφική κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β συστημάτων (σε MW) στο διασυνδεδεμένο σύστημα (Πηγή: Πληροφοριακό Δελτίο ΛΑΓΗΕ, Ιούνιος 2012).

## 2.4 Γεωθερμία

Όπως προκύπτει από τα ηφαίστεια, τις θερμές πηγές και από μετρήσεις σε γεωτρήσεις, το εσωτερικό της γης βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία, η οποία υπερβαίνει τους 5000°C στον πυρήνα. Γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμφανίζεται με τη μορφή

θερμού νερού ή ατμού. Η ενέργεια αυτή σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Η θερμότητα αυτή που περιέχεται στο εσωτερικό της γης είναι τόσο μεγάλη, ώστε μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ανεξάντλητη μορφή ενέργειας για τα ανθρώπινα μέτρα.

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί, με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες, να καλύψει ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η γεωθερμία προσφέρει ενέργεια χαμηλού κόστους, ενώ δεν επιβαρύνει έντονα το περιβάλλον με εκπομπές βλαβερών ρύπων.

Όσο προχωράμε βαθύτερα από την επιφάνεια της γης προς τον πυρήνα, παρατηρούμε αύξηση της θερμοκρασίας με το βάθος η οποία ονομάζεται *γεωθερμική βαθμίδα*. Κοντά στην επιφάνεια της γης η γεωθερμική βαθμίδα έχει μέση τιμή περίπου 30°C / km. Σε μερικές περιοχές, είτε λόγω ηφαιστειότητας σε πρόσφατη γεωλογική περίοδο, είτε λόγω ανόδου ζεστού νερού από μεγάλα βάθη μέσω ρηγμάτων, η γεωθερμική βαθμίδα είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τη μέση γήινη. Όταν στην περιοχή αυτή υπάρχει ταμιευτήρας νερού με ικανό στεγανό κάλυμμα για την αποφυγή διάχυσης της θερμότητας, αυτός θερμαίνεται με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός *γεωθερμικού πεδίου* (η περιοχή που φιλοξενεί τα θερμά ρευστά), όπου η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας είναι εξαιρετικά συμφέρουσα και πραγματοποιείται μέσω της απόληψής του από τις φυσικές θερμές πηγές. Τα θερμικά αυτά ρευστά εκτός της εμφάνισής τους στην επιφάνεια με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού, όπως προαναφέρθηκε, δύνανται να αντλούνται με γεώτρηση, και αφού χρησιμοποιηθεί η θερμική τους ενέργεια, γίνεται επανέγχυση του ρευστού στο έδαφος με δεύτερη γεώτρηση. Έτσι ενισχύεται η μακροβιότητα του ταμιευτήρα και αποφεύγεται η θερμική ρύπανση του περιβάλλοντος. Παρά ταύτα, οικονομικά ενδιαφέροντες γεωθερμικοί ταμιευτήρες φιλοξενούνται και σε περιοχές μακριά από πρόσφατη ηφαιστειότητα, σε περιοχές όπου έντονη ενεργή εφελκυστική τεκτονική δημιουργεί, με τη λέπτυνση του φλοιού και τα μεγάλα – βαθιά ρήγματα, ανώμαλες θερμικά συνθήκες και επιτρέπει την ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων.

Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή ατμού, ποικίλει από περιοχή σε περιοχή, ενώ συνήθως κυμαίνεται από 25°C μέχρι 360°C. Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150°C), η γεωθερμική ενέργεια

χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοιες περιοχές στη χώρα μας είναι τα ηφαιστειακά νησιά του Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη, Λέσβος, Σαμοθράκη, κ.ά.), πολλές περιοχές στη Μακεδονία και τη Θράκη (Νιγρίτα, Σιδηρόκαστρο, Νέο Εράσμιο, Νέα Κεσσάνη, Τυχερό Έβρου κ.ά.), καθώς και στη γειτονιά κάθε μιας από τις 56 θερμές πηγές που υπάρχουν στη χώρα μας.

Η κυριότερη θερμική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας παγκοσμίως αφορά στη θέρμανση θερμοκηπίων. Χρησιμοποιείται ακόμα στις υδατοκαλλιέργειες, όπου εκτρέφονται υδρόβιοι οργανισμοί αλλά και για τηλεθέρμανση, δηλαδή θέρμανση συνόλου κτηρίων, οικισμών, χωριών ή και πόλεων.

Σήμερα στην Ελλάδα, η εκμετάλλευση της γεωθερμίας γίνεται ως επί το πλείστον για χρήση της σε θερμικές εφαρμογές, οι οποίες είναι εξίσου σημαντικές με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ακόμα, λόγω του πλούσιου σε γεωθερμική ενέργεια υπεδάφους της χώρας μας, μπορεί να έχει ευρεία εφαρμογή για τη θερμική αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με στόχο την απόληψη πόσιμου, κυρίως στις άνυδρες νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές. Μία τέτοια εφαρμογή έχει χαμηλότερο κόστος από εκείνο που απαιτείται για τον εφοδιασμό των περιοχών αυτών με πόσιμο νερό, μέσω υδροφόρων πλοίων.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία και περιλαμβάνουν:

- ηλεκτροπαραγωγή ( $T > 90^{\circ}\text{C}$ )
- θέρμανση χώρων (με καλοριφέρ για  $T > 60^{\circ}\text{C}$ , με αερόθερμα για  $T > 40^{\circ}\text{C}$ , με ενδοδαπέδιο σύστημα ( $T > 25^{\circ}\text{C}$ ))
- ψύξη και κλιματισμό (με αντλίες θερμότητας απορρόφησης για  $T > 60^{\circ}\text{C}$ , ή με υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας για  $T < 30^{\circ}\text{C}$ )
- θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών επειδή τα φυτά αναπτύσσονται γρηγορότερα και γίνονται μεγαλύτερα με τη θερμότητα ( $T > 25^{\circ}\text{C}$ ), ή και για αντιπαγετική προστασία
- ιχθυοκαλλιέργειες ( $T > 15^{\circ}\text{C}$ ) επειδή τα ψάρια χρειάζονται ορισμένη θερμοκρασία για την ανάπτυξή τους
- βιομηχανικές εφαρμογές όπως αφαλάτωση θαλασσινού νερού ( $T > 60^{\circ}\text{C}$ ), ξήρανση αγροτικών προϊόντων, κλπ

- θερμά λουτρά για  $T = 25 - 40^{\circ}\text{C}$

Εκτός από τα γεωθερμικά πεδία, η σημερινή τεχνολογία επιτρέπει την εκμετάλλευση της θερμότητας πετρωμάτων μικρού βάθους, καθώς και υπόγειων ή και επιφανειακών υδάτων χαμηλής θερμοκρασίας για θέρμανση και κλιματισμό. Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει σωλήνα μεγάλου μήκους και μικρής διαμέτρου τοποθετημένης εντός του εδάφους, είτε εντός γεωτρήσεων και η οποία αποτελεί τον υπόγειο εναλλάκτη θερμότητας, σε συνδυασμό με υδρόψυκτη αντλία θερμότητας η οποία παρέχει θέρμανση ή ψύξη στο κτήριο. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας καταναλώνουν το  $\frac{1}{4}$  του ηλεκτρικού ρεύματος από μια ηλεκτρική αντίσταση και το  $\frac{1}{2}$  από ένα κλιματιστικό. Εάν υπολογιστεί το κόστος ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του συστήματος, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας στοιχίζουν λιγότερο από ένα σύστημα που καταναλώνει πετρέλαιο ή φυσικό αέριο.

Μελλοντικά, η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας θα γίνεται από θερμά ξηρά πετρώματα, τα οποία βρίσκονται παντού σε βάθη από 3 – 5km, μέσω τεχνητής κυκλοφορίας νερού θερμοκρασίας έως  $150^{\circ}\text{C}$ .

## 2.5 Ενέργεια από Βιομάζα

*Βιομάζα* είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων που προέρχονται από τη γεωργία, (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τις συναφείς βιομηχανίες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, όπως ορίζει η **Οδηγία 2001/77/ΕΚ**.

Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά περιλαμβάνεται σε αυτήν οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο βιομάζα εννοούμε τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, καθώς επίσης και τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, της αγροτικής βιομηχανίας και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων.

Ειδικότερα, η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς, περιλαμβάνει κάθε τύπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών και / ή αέριων καυσίμων. Στην πράξη υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας. Πρώτον, οι υπολειμματικές μορφές (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα) και δεύτερον η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες.

### 2.5.1 Υπολειμματικές μορφές βιομάζας

Βιομάζα γεωργικής προέλευσης: Η γεωργική βιομάζα που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας διακρίνεται στη βιομάζα των υπολειμμάτων των γεωργικών καλλιεργειών (στελέχη, κλαδιά, φύλλα, άχυρο, κλαδοδέματα κ.λπ.) και στη βιομάζα των υπολειμμάτων επεξεργασίας γεωργικών προϊόντων (υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, πυρηνόξυλο, πυρήνες φρούτων κ.λπ.).

Βιομάζα ζωικής προέλευσης: Το διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας ζωικής προέλευσης, περιλαμβάνει κυρίως απόβλητα εντατικής κτηνοτροφίας από πτηνοτροφεία, χοιροστάσια, βουστάσια και σφαγεία. Η εκτροφή προβάτων, αιγών κι αρνιών είναι εκτατική (η οποία είναι επί το πλείστον ποιμενικής μορφής) και τα παραγόμενα απόβλητα διασκορπίζονται σε όλο το βοσκότοπο.

Βιομάζα δασικής προέλευσης: Η βιομάζα δασικής προέλευσης που αξιοποιείται ή μπορεί να αξιοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς συνίσταται στα καυσόξυλα, στα υπολείμματα καλλιέργειας των δασών (αραιώσεων, υλοτομιών), στα προϊόντα καθαρισμών για την προστασία τους από πυρκαγιές καθώς και στα υπολείμματα επεξεργασίας του ξύλου.

Αστικά απόβλητα: Το οργανικό τμήμα των αστικών αποβλήτων.

### 2.5.2 Ενεργειακές καλλιέργειες

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι παραδοσιακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (όπως θα εξηγήσουμε παρακάτω) είτε φυτά που δεν καλλιεργούνται, προς το παρόν, εμπορικά όπως ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα και το καλάμι που το τελικό προϊόν τους προορίζεται για

την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων. Οι ενεργειακές καλλιέργειες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι:

- 1) Ετήσιες: σακχαρούχο ή γλυκό σόργο (*Sorghum bicolor* L . Moench), ινώδες σόργο (*Sorghum bicolor* L . Moench), κενάφ (*Hibiscus cannabinus* L .), ελαιοκράμβη (*Brassica napus* L .), βρασσική η αιθίοπια (*Brassica carinata* L . Braun)
- 2) Πολυετείς:
  - Γεωργικές: Αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus*), καλάμι (*Arundo donax* L.), μίσχανθος (*Miscanthus x giganteus*), switchgrass (*Panicum virgatum*)
  - Δασικές: Ευκάλυπτος ( *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. & *E. globulus* Labill.), ψευδακακία ( *Robinia pseudoacacia* ).

### 2.5.3 Βιοκαύσιμα

Βιοκαύσιμα είναι υγρά ή αέρια καύσιμα κίνησης τα οποία παράγονται από βιομάζα, όπως ορίζει η **Οδηγία 2009/28/ΕΚ**. Επί της ουσίας, βιομάζα είναι η πρώτη ύλη και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, βιοκαύσιμο είναι το καύσιμο στο οποίο μετατρέπεται η βιομάζα μετά από κατάλληλη κατεργασία, και βιοενέργεια καλείται η ηλεκτρική ή θερμική ή κινητική ενέργεια, η οποία παράγεται από την κατεργασία αυτή. Εάν θα μπορούσε να υπάρξει μία παρατήρηση στο σημείο αυτό, ο διαχωρισμός των βιοκαυσίμων από τη βιοενέργεια είναι δίχως νόημα καθώς και στις δυο περιπτώσεις γίνεται λόγος για την αειφόρο παραγωγή ενέργειας από βιομάζα. Η ανάγκη για τη χρήση εναλλακτικών και ανανεώσιμων καυσίμων έναντι του πετρελαίου και των προϊόντων του έχει αρχίσει να παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στον ανεπτυγμένο κόσμο, τόσο για περιβαλλοντικούς όσο και για οικονομικούς και διαχειριστικούς λόγους. Η Ευρωπαϊκή Ένωση και ασφαλώς η Ελλάδα εξαρτώνται σημαντικά από μεγάλες εισαγωγές ορυκτών καυσίμων. Έτσι, σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας, υπάρχει ανάγκη προώθησης όλων των εναλλακτικών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών και όχι μόνο. Η Ευρωπαϊκή ένωση προτείνει ποσοστό συμμετοχής των βιοκαυσίμων στην αγορά καυσίμων μέχρι 20% έως το 2012.

Ειδικότερα, όπως ορίζει ο **N3468/2006**, βιοκαύσιμα θεωρούνται και τα ακόλουθα καύσιμα:



1. Βιοντίζελ (πετρέλαιο βιολογικής προέλευσης) είναι οι μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων (ΜΛΟ – FAME) που παράγονται από φυτικά ή ζωικά έλαια και λίπη και είναι ποιότητας πετρελαίου ντίζελ
2. Βιοαιθανόλη είναι η αιθανόλη που παράγεται από βιομάζα (σακχαρούχα ή αμυλούχα φυτά) ή από βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα αποβλήτων
3. Βιοαέριο είναι το καύσιμο αέριο που παράγεται από βιομάζα ή βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, το οποίο μπορεί να καθαριστεί και να αναβαθμιστεί σε ποιότητα φυσικού αερίου, για χρήση ως βιοκαύσιμο, ή το ξυλαέριο
4. Βιομεθανόλη είναι η μεθανόλη που παράγεται από βιομάζα
5. Βιο-ETBE είναι ο αιθυλο-τριτοταγής-βουτυλαιθέρας (ETBE) που παράγεται από βιοαιθανόλη. Το κατ' όγκο ποσοστό Βιο-ETBE που υπολογίζεται ως βιοκαύσιμο είναι 47% επί του συνόλου του.
6. Βιο-MTBE είναι ο μεθυλο-τριτοταγής-βουτυλαιθέρας (MTBE) που παράγεται από μεθανόλη. Το κατ' όγκο ποσοστό Βιο-MTBE που υπολογίζεται ως βιοκαύσιμο είναι 36% επί του συνόλου του.

Τα πιο συνηθισμένα υγρά βιοκαύσιμα του εμπορίου είναι το **βιοντίζελ** (μεθυλ/προπυλ/εθυλ-εστέρας, FAME, fatty acid methyl ester) ο οποίος παράγεται κυρίως από ελαιούχους σπόρους (ηλίανθος, ελαιοκράμβη, κ.ά.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μόνο του ή σε μίγμα με πετρέλαιο κίνησης σε πετρελαιοκινητήρες λόγω της παραπλήσιας χημικής του σύστασης με το ορυκτό ντίζελ και η **βιοαιθανόλη** η οποία παράγεται από σακχαρούχα, κυτταρινούχα κι αμυλούχα φυτά (σιτάρι, καλαμπόκι, σόργο, τεύτλα, κ.ά.) και χρησιμοποιείται είτε ως έχει σε βενζινοκινητήρες που έχουν υποστεί μετατροπή, είτε σε μίγμα με βενζίνη σε κανονικούς βενζινοκινητήρες, είτε για να μετατραπεί σε ETBE (πρόσθετο βενζίνης).

### 2.5.3.1 Βιοντίζελ

Ένα υποσχόμενο βιοκαύσιμο, παραπλήσιο και άριστο υποκατάστατο του συμβατικού ντίζελ, είναι όπως είπαμε, το βιοντίζελ, το οποίο προέρχεται από φυσικοχημική

επεξεργασία της βιομάζας. Ειδικότερα, παράγεται μέσω της μετεστεροποίησης των τριγλυκεριδίων (TGs) ή της εστεροποίησης των ελευθέρων λιπαρών οξέων (FFAs) με αλκοόλες μικρού μοριακού βάρους. Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε όλη την Ευρώπη, ενώ στις Η.Π.Α. η χρήση του είναι συνεχώς αυξανόμενη. Θεωρείται ως το πλέον διαδεδομένο βιοκαύσιμο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο αυτούσιο όσο και σε διάφορες αναλογίες σε μίγματα με το συμβατικό ντίζελ. Στην Ευρώπη είχε προγραμματιστεί η χρήση βιοκαυσίμων στα καύσιμα κίνησης σε ποσοστό τουλάχιστον 2% από το έτος 2006 με στόχο την αύξησή τους σε ποσοστό 5,75% μέχρι το έτος 2010, με βάση την **Οδηγία 2003/30/ΕΚ** της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτό σημαίνει ότι το βιοντίζελ θα έπρεπε να προστεθεί στο ντίζελ κίνησης τουλάχιστον στα ποσοστά αυτά, αφού είναι πρακτικά το μόνο χρησιμοποιούμενο βιοκαύσιμο που προσφέρεται για ανάμιξη με το συμβατικό ντίζελ.

Σε αντίθεση με το πετρελαϊκό ντίζελ, το βιοντίζελ είναι βιοαποικοδομήσιμο, μη τοξικό, έχει υψηλότερο σημείο ανάφλεξης, σχεδόν μηδενική περιεκτικότητα σε θείο και επιπρόσθετα αυξάνει τη λιπαντική ικανότητα του ντίζελ. Το πετρελαϊκό ντίζελ εξαιτίας της βαθιάς υδρογονοαποθείωσης που υφίσταται με σκοπό την μείωση του περιεχομένου σε αυτό θείου, χάνει την λιπαντικότητά του. Αυτή επαναφέρεται με προσθήκη βιοντίζελ ακόμη και σε μικρά ποσοστά (~ 1% κ.β.). Το κύριο πλεονέκτημα του βιοντίζελ είναι η μείωση των εκπομπών κατά την καύση του λόγω του ότι είναι ένα οξυγονούχο καύσιμο (περιέχει περίπου 10% κ.β. οξυγόνο). Οι εκπομπές ρύπων εμφανίζονται περίπου 40 – 50 % χαμηλότερες από αυτές του συμβατικού ντίζελ με μόνη εξαίρεση τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου.

Οι νεώτερης τεχνολογίας ντιζελοκινητήρες, ανάλογα με τις προδιαγραφές της χώρας, μπορεί να είναι σχεδιασμένοι και για καύση αυτούσιου βιοντίζελ, αλλά καλό είναι αυτό να επιβεβαιώνεται από τον κατασκευαστή. Υπάρχουν χώρες στις οποίες διατίθεται αυτούσιο βιοντίζελ, κανονικά, ως προϊόν, σε πρατήρια υγρών καυσίμων.

Τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα, το βιοντίζελ είναι προαναμεμιγμένο σε ένα μικρό ποσοστό σε όλες ανεξαιρέτα τις ποσότητες του διατιθέμενου στη χώρα πετρελαίου κίνησης. Από τις αρχές του 2010 το ποσοστό αυτό έχει ανέλθει στο 6,5 % κατ' όγκο. Υποχρέωση των πωλητών λιανικής για επισήμανση του ποσοστού ανάμειξης στο πετρέλαιο κίνησης υπάρχει μόνο όταν το ποσοστό αυτό υπερβαίνει το 7 %, βάσει των

ορίων των περιβαλλοντικών προδιαγραφών για οχήματα που φέρουν ντιζελοκινητήρες για την κίνησή τους.

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πιν. 2.3) παρουσιάζεται η απόδοση ορισμένων ενεργειακών καλλιεργειών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοντίζελ.

**Πίνακας 2.3:** Απόδοση ενεργειακών καλλιεργειών για την παραγωγή βιοντίζελ (Πηγή: ιστοσελίδα Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2012).

ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ								
ΕΙΔΟΣ Α' ΥΛΗΣ	(κιλά σπόρου/ /στρέμμα)		(κιλά καυσίμου/ /στρέμμα)		(λίτρα καυσίμου/ /στρέμμα)		(κιλά καυσίμου/ /κιλό σπόρου)	(λίτρα καυσίμου/ /κιλό σπόρου)
	min	max	min	max	min	max		
Ηλίανθος	180	350	60	116	70	135	0,33	0,39
Ελαιοκράμβη	180	350	60	116	70	135	0,33	0,39
Βαμβάκι	120	160	17	23	20	27	0,14	0,17
Σόγια	160	240	27	41	32	48	0,17	0,20

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ**

Οι ελάχιστες (min) και οι μέγιστες (max) τιμές των στρεμματικών αποδόσεων του πίνακα, αφορούν ακραίες περιπτώσεις άγονων μη ποτιστικών & εύφορων ποτιστικών αγροτεμαχίων. Ποσότητα 1000 λίτρων βιοντίζελ ζυγίζει 860 κιλά. (Το Ειδικό Βάρος για το βιοντίζελ λαμβάνεται: 0,86 kg/lit)

Παραγωγή βιοντίζελ από Μικροάλη

Τα μικροάλη είναι υδρόβιοι φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί. Όπως και τα φυτά της στεριάς, τα μικροάλη χρησιμοποιούν ενέργεια από τον ήλιο για τη φωτοσύνθεση, δηλαδή τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε αποθηκευμένη χημική ενέργεια. Τα μικροάλη είναι αποτελεσματικοί μετατροπείς της ηλιακής ενέργειας λόγω της απλής κυτταρικής τους δομής. Παρουσιάζουν ενδιαφέρον για την παραγωγή βιοντίζελ λόγω του ότι αναπτύσσονται πολύ γρήγορα, αντέχουν σε μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες και το περιεχόμενό τους σε έλαια είναι μεγάλο. Το έλαιό τους μπορεί να αποσπαστεί και να μετατραπεί σε βιοντίζελ. Έχουν απομονωθεί είδη αλγών που το περιεχόμενό τους σε έλαια ανέρχεται έως και στο 50%, πολύ περισσότερο από οποιοδήποτε χερσαίο φυτό. Οι αποδόσεις των αλγών ανά εκτάριο προβλέπεται ότι είναι μεγαλύτερες από οποιοδήποτε είδος χερσαίου φυτού (π.χ. οι φοίνικες αποδίδουν 6000 λίτρα ελαίου ανά εκτάριο, τα άλη 9000 λίτρα ελαίου ανά εκτάριο). Το πλεονέκτημα της αλγοκαλλιέργειας έναντι των χερσαίων καλλιεργειών

βιοκαυσίμων είναι ότι δεν απαιτεί μείωση στην παραγωγή των τροφίμων, αφού δεν γίνεται χρήση καλλιεργήσιμης γης. Πολλά είδη αλγών αναπτύσσονται σε υφάλμυρα ύδατα ή στο θαλάσσιο νερό και δεν γίνεται υπερεκμετάλλευση των αποθεμάτων γλυκού νερού.

### 2.5.3.2 Βιοαιθανόλη

Το πρώτο καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε ως υποκατάστατο της βενζίνης σε κινούμενα οχήματα είναι η βιοαιθανόλη. Η βιοαιθανόλη παράγεται κυρίως από την αλκοολική ζύμωση της ζάχαρης. Μπορεί επίσης να συντεθεί βιομηχανικά από την χημική αντίδραση του αιθυλενίου με ατμό.

Οι κύριες πηγές ζάχαρης που απαιτούνται για την παραγωγή αιθανόλης προέρχονται από ενεργειακές καλλιέργειες, δηλαδή από καλλιέργειες που αναπτύσσονται ειδικά για ενεργειακούς σκοπούς. Οι καλλιέργειες αυτές μπορεί να είναι το σόργο, τα τεύτλα, το καλαμπόκι, το σιτάρι, τα άχυρα, το ξύλο ιτιάς και άλλων δέντρων, το πριονίδι, ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα και άλλες. Παράλληλα, βρίσκονται σε εξέλιξη έρευνες σχετικά με την αξιοποίηση των δημοτικών στερεών αποβλήτων για την παραγωγή βιοαιθανόλης.

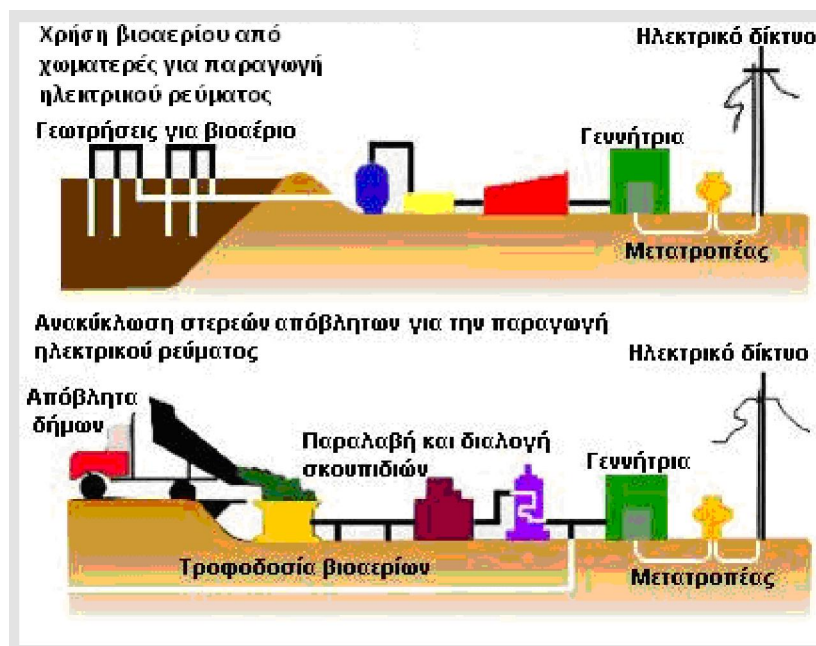
Η αιθανόλη ή αιθυλική αλκοόλη είναι ένα άχρωμο διαυγές υγρό. Είναι βιοαποικοδομήσιμη, χαμηλής τοξικότητας και προκαλεί πολύ μικρή περιβαλλοντική μόλυνση αν διαρρεύσει στο περιβάλλον. Κατά την τέλεια καύση της παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Η αιθανόλη είναι ένα καύσιμο υψηλού αριθμού οκτανίων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο αύξησης του αριθμού οκτανίου της βενζίνης. Με τη ανάμιξή της με τη βενζίνη επιτυγχάνουμε επίσης τον εμπλουτισμό του καυσίμου μίγματος σε οξυγόνο, με αποτέλεσμα μια πιο ολοκληρωμένη καύση, άρα και μειωμένες εκπομπές επικίνδυνων καυσαερίων.

Μίγματα καυσίμου αιθανόλης με βενζίνη πωλούνται ευρύτατα στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Το πιο συνηθισμένο μίγμα είναι αυτό που αποτελείται από 10% αιθανόλη και 90% βενζίνη. Οι κινητήρες των συμβατικών οχημάτων δεν απαιτούν μετατροπή για να κινηθούν με το εν λόγω μίγμα, και επιπλέον η χρήση του δεν έχει καμία επίπτωση στην εγγύηση του οχήματος. Μόνο ευέλικτα οχήματα μπορούν να κινηθούν με καύσιμο μίγμα 85% αιθανόλης και 15% βενζίνης

### 2.5.3.3 Βιοαέριο

Το βιοαέριο παράγεται από την αναερόβια χώνευση της απόβλητης και υπολειμματικής βιομάζας κτηνοτροφικών μονάδων, όπως είναι τα λύματα βουστασίων, χοιροστασίων, πτηνοτροφείων, καθώς και άλλων αγροτοβιομηχανικών μονάδων, αλλά και από λύματα μονάδων βιολογικών καθαρισμών, καθώς και από διάφορα οργανικά κλάσματα απορριμμάτων που μπορούν να βιοαποικοδομηθούν. Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα με περιεκτικότητες 55 – 70% και 30 – 45% αντίστοιχα ενώ περιέχει ελάχιστες ποσότητες άλλων αερίων, όπως άζωτο, υδρογόνο, αμμωνία, υδρατμούς και υδρόθειο. Η θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου κυμαίνεται από 5,5 έως 7,0 kWh / m<sup>3</sup>.

Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται για τη διεργασία αυτή δυνητικά περιέχει επιβαρυντικούς χημικούς καθώς και μολυσματικούς βιολογικούς παράγοντες. Ο εργαστηριακός ποιοτικός έλεγχος του οργανικού φορτίου που προορίζεται ως πρώτη ύλη στον αναερόβιο βιοαντιδραστήρα είναι επιβεβλημένος ώστε να εξασφαλιστεί η ασφαλής περαιτέρω αξιοποίηση του οργανικού κλάσματος ως λίπασμα σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό 1069/2009 που καθορίζει τους κανόνες υγιεινής και θέτει τα μέτρα που πρέπει να εφαρμόζονται π.χ. στα ζωικά υποπροϊόντα, ώστε να μπορούν αυτά να υποβληθούν σε επεξεργασία στις εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου. Στην ακόλουθη εικόνα (Εικ. 2.11) παρίσταται η εκμετάλλευση του βιοαερίου για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω γεωτρήσεων.



Εικόνα 2.11: Χρήση βιοαερίου και στερεών αποβλήτων για ηλεκτροπαραγωγή  
(Πηγή: Μαρινάκης Ι., 2012)

Το βιοαέριο μπορεί να τροφοδοτήσει Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (Μ.Ε.Κ.), καυστήρες αερίου ή και αεριοστρόβιλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μεταφορών, αφού προηγηθεί ένα στάδιο καθαρισμού / αναβάθμισής του.

#### Παραγωγή βιοαερίου από Μακροάλγη

Η αναερόβια χώνευση είναι μια φυσική διεργασία μέσω της οποίας οι μικροοργανισμοί διασπών τη βιοδιασπώμενη ύλη απουσία οξυγόνου. Από τη διεργασία αυτή παράγεται «βιοαέριο» που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (50% – 80%) και διοξείδιο του άνθρακα (20% – 50%). Το μεθάνιο είναι το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου, το οποίο χρησιμοποιείται σε όλη την Ευρώπη για θέρμανση, μαγείρεμα και σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού. Εάν η διεργασία αυτή λάβει χώρα σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον ώστε να είναι δυνατή η συλλογή και αποθήκευση του προκύπτοντος αερίου, παράγεται μεθάνιο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μία πηγή ανανεώσιμου καυσίμου. Κατά τη διάρκεια της διεργασίας της αναερόβια χώνευσης παράγονται υποπροϊόντα που είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως λίπασμα στη γεωργία.

Μέσω της αναερόβιας χώνευσης είναι δυνατή η επεξεργασία σχεδόν κάθε οργανικής ύλης, π.χ. βιοδιασπώμενα απορρίμματα, όπως απορρίμματα χαρτιού, κομμένα χόρτα, αποφάγια, αστικά λύματα, ζωικά απόβλητα και μακροάλγη (θαλάσσια φύκια). Ένα πλεονέκτημα που έχει η χρήση της θαλάσσιας άλγης ως πρώτης ύλης έναντι των χερσαίων φυτών είναι ότι δεν υπάρχει αντικατάσταση των εδώδιμων καλλιεργειών με καλλιέργειες βιοκαυσίμων αφού η θαλάσσια άλγη δεν χρειάζεται ούτε γη ούτε και γλυκό νερό.

#### **2.5.4 Πελλέτες (pellets)**

Οι πελλέτες είναι αποτέλεσμα συμπίεσης της απόβλητης και υπολειμματικής στερεής βιομάζας, η οποία αρχικά θρυμματίζεται, ξηραίνεται και μετατρέπεται σε πριονίδι. Οι πελλέτες είναι ιδιαίτερα φιλικές προς το περιβάλλον, γιατί δεν χρησιμοποιούνται χημικά πρόσθετα για την παρασκευή τους και η καύση τους είναι σχεδόν τέλεια,

παράγοντας πολύ μικρή ποσότητα στάχτης και καπνού. Επιπλέον, για την παρασκευή τους δεν χρειάζεται να κοπεί ούτε ένα δέντρο, γιατί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή τους χρησιμοποιούνται υπολείμματα και απόβλητα επεξεργασίας δασικού ξύλου και αγροτικών καλλιεργειών, καθώς και ενεργειακά φυτά που καλλιεργούνται ειδικά για το σκοπό αυτό.

Οι πελλέτες έχουν σχήμα κυλινδρικό, μήκος 1 – 4 εκατοστών και διάμετρο 6 – 10 χιλιοστών. Η θερμογόνος δύναμη των πελλετών είναι τουλάχιστον 4,2 kWh/kg πελλετών και κατά μέσο όρο 4,7 kWh/kg καυσίμου. Στην τυπική περίπτωση όπου η πυκνότητα των πελλετών είναι της τάξης των 650 kg/m<sup>3</sup>, το ενεργειακό περιεχόμενό τους, ανά μονάδα όγκου, είναι 3.055 kWh / m<sup>3</sup>. Σε γενικές γραμμές, 2 kg πελλετών έχουν την ίδια θερμидική απόδοση με 1lt πετρελαίου.

Οι πελλέτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε ειδικές συσκευές καύσης, που μπορεί να είναι σόμπες θέρμανσης του αέρα ή καυστήρες / λέβητες που συνδέονται με το καλοριφέρ ή ενεργειακά τζάκια. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πελλέτες δεν οδηγούνται απευθείας στα κοινά τζάκια ή τις κοινές σόμπες, παρά μόνο σε συσκευές καύσης πελλετών. Ειδικότερα για τις σόμπες και τα τζάκια πελλετών, αυτά δρουν συμπληρωματικά σε ένα κεντρικό σύστημα θέρμανσης και τροφοδοτούνται χειροκίνητα με πελλέτες, οι οποίες βρίσκονται συσκευασμένες σε σάκους.

Αντίστοιχα, οι καυστήρες / λέβητες πελλετών αποτελούν πλήρως αυτοματοποιημένες εγκαταστάσεις για την παραγωγή θερμότητας και ζεστού νερού. Τροφοδοτούνται από τα σιλό αποθήκευσης, όπου το καύσιμο βρίσκεται σε χύμα μορφή, είτε μέσω ενός ατέρμονος κοχλία ή με πνευματικό σύστημα αναρρόφησης. Αν και το κόστος εγκατάστασης των καυστήρων βιομάζας είναι περίπου 30% υψηλότερο από τα συμβατικά συστήματα, το σημαντικά χαμηλότερο κόστος του καυσίμου καθιστά την επένδυση προσοδοφόρα. Από αντίστοιχη έρευνα στη Δανία, προέκυψε ότι το κόστος είναι χαμηλότερο ως και 50%.

Ενδιαφέρον έχει να γίνει μια αναφορά στην πρόοδο που έχει κάνει η συγκεκριμένη τεχνολογία των καυστήρων βιομάζας. Η καύση των pellets γίνεται σε σύγχρονους λέβητες υψηλής τεχνολογίας, με αυτόματη τροφοδοσία καυσίμου και ηλεκτρονικά ελεγχόμενη παροχή αέρα, οι οποίοι είναι σε θέση να αποδώσουν περισσότερο από το 90% της ενέργειας που περιέχεται στο ξύλο για θέρμανση. Τα πιο εξελιγμένα μάλιστα συστήματα διαθέτουν αυτόματο σύστημα καθαρισμού των επιφανειών και αυτόματη

απομάκρυνση της στάχτης, ενώ ορισμένα μοντέλα συμπιέζουν τις στάχτες, ώστε το καθάρισμα να είναι αναγκαίο μόνο δύο φορές το χρόνο. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι πελλέτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κεντρικές εγκαταστάσεις συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, όπως επίσης σε θερμοκήπια και σε δίκτυα τηλεθέρμανσης οικισμών.

### 2.5.5 Εφαρμογές βιομάζας

Οι κύριες εφαρμογές με καύσιμο βιομάζα είναι:

Θέρμανση θερμοκηπίων: Σε περιοχές της χώρας όπου υπάρχουν μεγάλες ποσότητες διαθέσιμης βιομάζας, χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε κατάλληλους λέβητες για τη θέρμανση θερμοκηπίων.

Θέρμανση κτηρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς / κεντρικούς λέβητες: Σε ορισμένες περιοχές της Ελλάδας χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση κτηρίων ατομικοί / κεντρικοί λέβητες πυρηνόξυλου.

Παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες: Βιομάζα για παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιείται από γεωργικές βιομηχανίες στις οποίες η βιομάζα προκύπτει σε σημαντικές ποσότητες σαν υπόλειμμα ή υποπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας και έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε θερμότητα. Εκκοκκιστήρια, πυρηνελαιουργεία, βιομηχανίες ρυζιού καθώς και βιοτεχνίες κονσερβοποίησης καίνε τα υπολείμματά τους (υπολείμματα εκκοκκισμού, πυρηνόξυλο, φλοιοί και κουκούτσια, αντίστοιχα) για την κάλυψη των θερμικών τους αναγκών ή/και μέρος των αναγκών τους σε ηλεκτρική ενέργεια.

Παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου: Τα υπολείμματα βιομηχανιών επεξεργασίας ξύλου (πριονίδι, πούδρα, ξακρίδια κλπ) χρησιμοποιούνται για τη κάλυψη των θερμικών αναγκών της διεργασίας καθώς και για την θέρμανση των κτηρίων.

Τηλεθέρμανση: είναι η προμήθεια θέρμανσης χώρων καθώς και θερμού νερού χρήσης σε ένα σύνολο κτηρίων, έναν οικισμό, ένα χωριό ή μια πόλη, από έναν κεντρικό σταθμό παραγωγής θερμότητας. Η θερμότητα μεταφέρεται με προμονωμένο δίκτυο αγωγών από το σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτήρια.



Παραγωγή ενέργειας σε Μονάδες Βιολογικού Καθαρισμού και Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ): Το βιοαέριο που παράγεται από την αναερόβια χώνευση των υγρών αποβλήτων σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού, και των απορριμμάτων σε ΧΥΤΑ καίγεται σε μηχανές εσωτερικής καύσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα μπορεί να αξιοποιείται η θερμική ενέργεια των καυσαερίων και του ψυκτικού μέσου των μηχανών για να καλυφθούν ανάγκες τις διεργασίας ή/και άλλες ανάγκες θέρμανσης (π.χ. θέρμανση κτηρίων).

## 2.6 Ενέργεια Ωκεανών

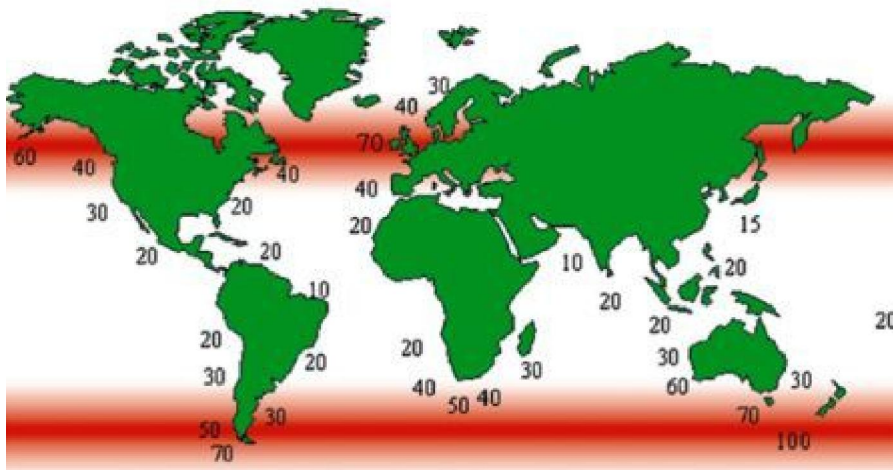
Οι μορφές θαλάσσιας ενέργειας είναι κυρίως δύο ειδών: μηχανική (από τα κύματα, τα ρεύματα και τις παλίρροιες) και θερμική (οφείλεται στην θερμότητα του ήλιου). Η θαλάσσια ενέργεια αποτελεί μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας και μπορεί να ληφθεί με διάφορους τρόπους. Δεδομένου ότι η πυκνότητα του νερού είναι 832 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του αέρα η κινητική ενέργεια από ένα θαλάσσιο ρεύμα 5 knots (2,36 m/s) ισοδυναμεί με αυτήν που παράγεται από ρεύμα αέρα με ταχύτητα 270 km/h.

### 2.6.1 Κυματική Ενέργεια

Η ενέργεια του θαλάσσιου κυματισμού είναι, όπως όλες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ανεξάντλητη. Υπολογίζεται ότι η αξιοποίηση του 1% του κυματικού δυναμικού του πλανήτη μας θα κάλυπτε στο τετραπλάσιο την παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση (Λεμονής Γ., 2012). Παρουσιάζει μεταξύ των ανανεώσιμων την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα. Για παράδειγμα, σε ημερήσια βάση, η ενέργεια κυματισμού ύψους 1 μέτρου μπορεί -σε μέτωπο πλάτους μόλις ενός μέτρου- να ξεπεράσει τις 300 kWh. Από την ενέργεια αυτή θα μπορούσε να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό τουλάχιστον το 5 – 10%, δηλ. περίπου 15 – 30 kWh ημερησίως. Συγκριτικά αναφέρεται ότι μία τετραμελής οικογένεια καταναλώνει κατά μέσον όρο 10 kWh ημερησίως (Πηγή: ιστοσελίδα Green Dream, 2012).

Μεταξύ των διάφορων μορφών κυματισμού, τα ανεμογενή κύματα, που δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση του ανέμου με τη θαλάσσια επιφάνεια, παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για ενεργειακή εκμετάλλευση.

Τα υψηλότερα επίπεδα κυματικής ενέργειας στον πλανήτη μας εμφανίζονται στις περιοχές που αφ' ενός βρίσκονται μεταξύ του 30<sup>ου</sup> και 60<sup>ου</sup> παράλληλου και στα δύο ημισφαίρια και αφ' ετέρου αποτελούν αχανή επιφάνεια ωκεανού. Οι δυτικές ακτές των απέραντων ωκεανών Ατλαντικού και Ειρηνικού είναι σίγουρα προνομιούχες. Στις δυτικοευρωπαϊκές ακτές επικρατεί ιδιαίτερα ισχυρός κυματισμός με μέση ισχύ της τάξης των 40 – 70 kW ανά μέτρο μετώπου κύματος (η συνήθης μονάδα μέτρησης των επιπέδων κυματικής ισχύος είναι η μέση ετήσια ισχύς ανά μέτρο πλάτους της κορυφής του κύματος που είναι παράλληλη στην ακτή). Το κυματικό δυναμικό της χώρας μας είναι το υψηλότερο της Μεσογείου, με μέση ισχύ η οποία σε ορισμένες περιοχές του Αιγαίου ξεπερνάει τα 15 kW/m. Στην **Εικόνα 2.12** φαίνεται το παγκόσμιο κυματικό δυναμικό σε kW/m.



*Εικόνα 2.12: Παγκόσμιο κυματικό δυναμικό σε kW/m.*

Η τεχνικά εκμεταλλεύσιμη ενέργεια από τα κύματα για τα κράτη της Ε.Ε. υπολογίζεται συνολικά σε 150 – 230 TWh/έτος, από τα οποία περίπου 5 TWh/έτος αντιστοιχούν στις ελληνικές θάλασσες. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί περίπου στο 10% της κατανάλωσης ηλεκτρισμού στη χώρα μας.

Ένα σύστημα κυματικής ενέργειας μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε σημείο στον ωκεανό και να παράγει ενέργεια, μπορεί να είναι αγκυροβολημένο στο πυθμένα ή πλωτό ανοιχτά της θάλασσας, ή σύστημα εγκατεστημένο στα παράλια ή στα ρηχά νερά. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί επίσης να είναι ολικά βυθισμένο στο νερό ή να είναι τοποθετημένο πάνω από τη θαλάσσια επιφάνεια σε μια πλωτή πλατφόρμα.

Η αισθητική επίδραση ενός συστήματος στο περιβάλλον εξαρτάται από τον τύπο που θα υιοθετηθεί, έτσι ένα σύστημα μερικώς βυθισμένο ή τοποθετημένο λίγα χιλιόμετρα μακριά δεν επηρεάζει την εναρμόνιση του συστήματος στο περιβάλλον. Αντίθετα, συστήματα κυματικής ενέργειας τοποθετημένα στις ακτές μπορεί να επιδράσουν αρνητικά στην όλη αισθητική και να μετατρέψουν ένα φυσικό περιβάλλον σε άκρως βιομηχανικό.

Ο πρώτος και πλέον φανερός παράγοντας όσον αφορά στην υλοποίηση της κυματικής ενέργειας είναι φυσικά ο ίδιος ο πόρος, ο οποίος έχει άμεση σχέση με τον προσανατολισμό της ακτής προς την ανοιχτή θάλασσα καθώς και με το γεωγραφικό πλάτος της θέσης. Η εκμετάλλευση της ενέργειας μπορεί να γίνει σε οικονομικά συμφέρουσα βάση όταν τα επίπεδα αυτής είναι μεγαλύτερα από 15~20 kW/m. Η ενέργεια της πραγματικής κατάστασης της θάλασσας μετράται χρησιμοποιώντας στατικά χαρακτηριστικά των κυμάτων, συγκεκριμένα το ύψος και το μήκος του κύματος. Η κοινή παράμετρος που εκφράζει το αντιπροσωπευτικό ύψος κύματος μιας πραγματικής, ακανόνιστης κατάστασης της θάλασσας είναι το αντιπροσωπευτικό ύψος κύματος ( $H_s$ ). Η τιμή αυτή είναι το μέσο ύψος του ανώτερου ενός τρίτου των κυμάτων σε μια συγκεκριμένη περίοδο, συνήθως 30 λεπτά της ώρας, και αντιστοιχεί κατά προσέγγιση με τις εκτιμήσεις έμπειρων ναυτικών. Παράλληλα με την περίοδο αιχμής ( $T$ ) ή την ενεργειακή περίοδο ( $T_e$ ), η μέση ενέργεια μιας συγκεκριμένης κατάστασης της θάλασσας που χαρακτηρίζεται από τις  $H_s$  και  $T$  ή  $T_e$ , υπολογίζεται συνήθως από τον τύπο:

$$E = \frac{1}{8} \rho \cdot g \cdot H_s^3$$

όπου:

$E$ : ο μέσος όρος της ενέργειας σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα

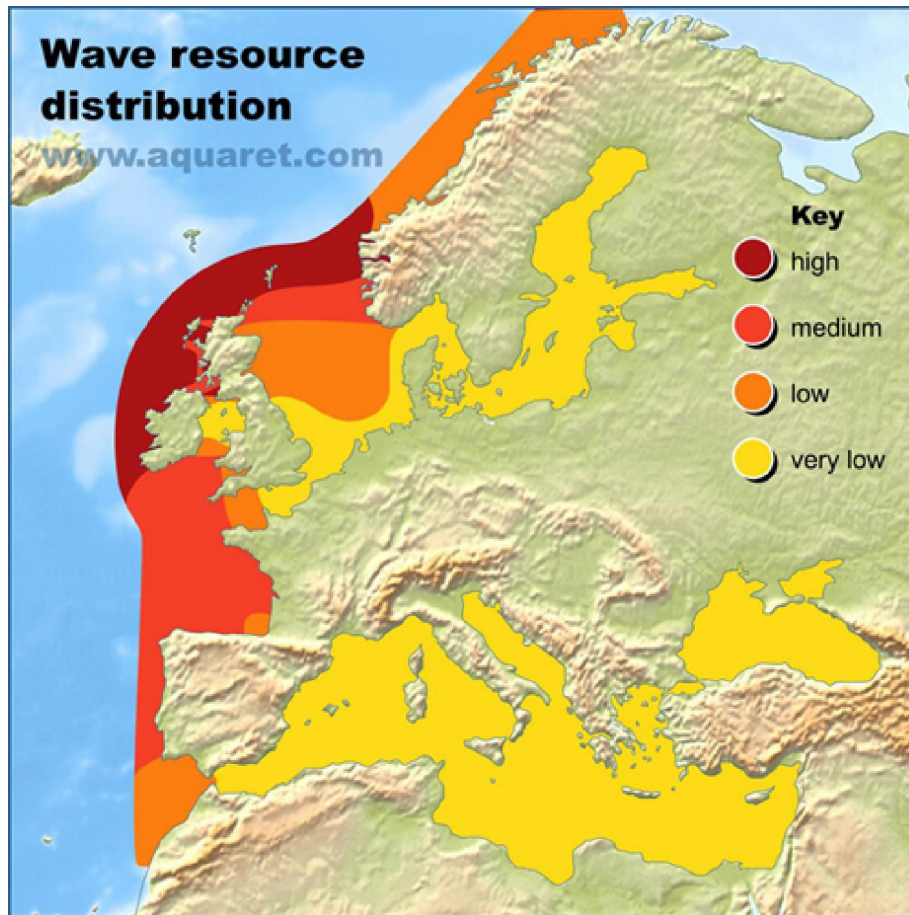
$\rho$ : η πυκνότητα του θαλάσσιου νερού

$g$ : η σταθερά της βαρύτητας

$H_s$ : το σημαντικό ύψος κύματος

Για τον υπολογισμό του επιπέδου της κυματικής ενέργειας μιας ορισμένης περιοχής, λαμβάνεται η ετήσια μέση τιμή όλων των καταστάσεων της θάλασσας. Ο παράγοντας

αυτός είναι σημαντικός γιατί οι εποχιακές μεταβολές μπορεί να είναι μεγάλες. Ο παρακάτω χάρτης (Εικ. 2.13) καταδεικνύει το μέγεθος του πόρου σε όλη την Ευρώπη.



Εικόνα 2.13: Κατανομή της κυματικής ενέργειας στην Ευρώπη

(Πηγή: Ιστοσελίδα AQUARET, 2012).

Υπάρχουν δύο γεωγραφικά πλάτη όπου ο πρωταρχικός πόρος κυματικής ενέργειας εμφανίζει τις μέγιστες τιμές του. Ανάλογα με τον προσανατολισμό της ακτογραμμής ως προς την ανοικτή θάλασσα και το γεωγραφικό πλάτος, ορισμένες χώρες βρίσκονται σε καλή θέση για μετατροπή της ωκεάνιας κυματικής ενέργειας, ενώ άλλες δεν έχουν σχεδόν καθόλου δυναμικό κατά το αρχικό στάδιο.

Οι χώρες που βρίσκονται σε καλύτερη θέση όσον αφορά τη μετατροπή ωκεάνιας κυματικής ενέργειας είναι η Μεγάλη Βρετανία, η Ιρλανδία και η Νορβηγία, η Νέα Ζηλανδία και η νότια Αυστραλία, καθώς και η Χιλή ακολουθούμενες από την

Ισπανία και την Πορτογαλία, τις ακτές της Βορείου και Νοτίου Αμερικής και τη Νότια Αφρική.

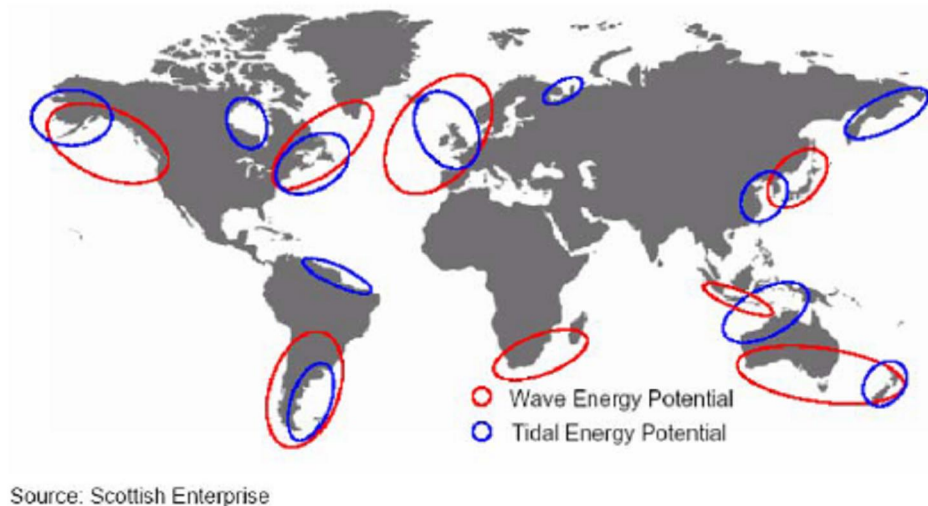
Ανάλογα με τον προσανατολισμό της ακτογραμμής, ιδίως στα νησιά, και των σημαντικών καταστάσεων της θάλασσας (π.χ. καιρικές συνθήκες στο σημείο δημιουργίας των κυμάτων), τα κύματα μπορεί να φτάσουν στην περιοχή προορισμού υπό διαφορετικές συνθήκες. Στις ακτές της δυτικής Ευρώπης, ιδιαίτερα της Πορτογαλίας, Ισπανίας και Γαλλίας, οι θερινοί μήνες (π.χ. Ιούνιος – Σεπτέμβριος και ιδίως Ιούλιος – Αύγουστος) μπορεί να είναι εξαιρετικά φτωχοί σε κυματικούς πόρους. Εκτός από τη σημασία της όσον αφορά τη συμβατότητα των γενικών επιπέδων κυματικής ενέργειας μεταξύ διαφορετικών περιοχών, η ετήσια μέση ενέργεια μπορεί να οδηγήσει σε παραπλανητικά αποτελέσματα εάν δεν ερμηνευθεί σε συνδυασμό με την εποχιακή της διαφοροποίηση. Οι ετήσιες μέσες τιμές μπορεί να βασίζονται σε υψηλά επίπεδα ενέργειας, τα οποία δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αλλά ενδέχεται να έχουν καταστροφικές εντάσεις σε σύντομα χρονικά διαστήματα, καθώς και μεγάλα χρονικά διαστήματα με σχεδόν καθόλου εκμεταλλεύσιμο πόρο. Είναι σημαντικό η περιοδικότητα αυτή να μην είναι δυσανάλογη με την τοπική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, εάν πρόκειται να συμβάλλει σημαντικά η κυματική ενέργεια στον εφοδιασμό της περιοχής με ηλεκτρική ενέργεια.

Ένας αποφασιστικός παράγοντας, όσον αφορά την καταλληλότητα της ακτογραμμής, είναι τα βαθυμετρικά της χαρακτηριστικά (π.χ. η κλίση και η μορφή του πυθμένα της). Σε αντίθεση με τα υπεράκτια αιολικά, οι τεχνολογίες κυματικής ενέργειας γενικά δεν έχουν κάποια οπτική επίπτωση στην ακτογραμμή, πράγμα που καθιστούν προτιμότερη την εγκατάσταση πάρκων πλησιέστερα στην ακτή. Αυτό θα σήμαινε σημαντική μείωση του κόστους καλωδιώσεων και εγκατάστασης, ενώ παράλληλα η εποπτεία και η συντήρηση μπορεί να γίνει με αποτελεσματικότερο τρόπο. Το καταλληλότερο εύρος βάθους για τις συσκευές κυματικής ενέργειας είναι τα 50 μέτρα, λαμβάνοντας υπόψη την εξισορρόπηση της διαθέσιμης ενέργειας και των δαπανών προσλιμενισμού καθώς και την απόσταση από τη στεριά.

Περιοχές με οξεία βαθυμετρία (π.χ. απότομη υφαλοκρηπίδα, βαθιά νερά κοντά στην ακτή), όπως για παράδειγμα η Πορτογαλία, έχουν πλεονέκτημα όσον αφορά τις εφαρμογές κυματικής ενέργειας. Οι συνθήκες του βυθού δεν αποτελούν τον κρισιμότερο παράγοντα αφού οι περισσότερες τεχνολογίες είναι πλωτού τύπου. Για τη διέλευση των καλωδίων προς την ακτή, γενικά προτιμούνται οι αμμώδεις

πυθμένες. Όσον αφορά τις συνθήκες στη στεριά, είναι σημαντικό ο επίγειος σταθμός ή/και υποσταθμός που παρέχει τη διεπαφή με το χερσαίο δίκτυο να βρίσκεται όσο πιο κοντά γίνεται στις μονάδες παραγωγής, ενώ, εάν είναι πιο μέσα στην ενδοχώρα, το έδαφος και η τοπογραφία να επιτρέπουν την τοποθέτηση των καλωδίων σε λογικό κόστος. Είναι ρεαλιστικό να περιμένει κανείς ότι άλλες ανάγκες σε υποδομές θα αποτελέσουν σημαντικό γεωγραφικό παράγοντα για την υλοποίηση αυτού του τεχνολογικού κλάδου. Σε μερικές περιοχές, η ανάγκη για δημιουργία τοπικής βιομηχανίας θα οδηγήσει την ανάπτυξη, ενώ σε άλλες περιοχές, η ύπαρξη συμπληρωματικών βιομηχανιών (π.χ. ναυπηγεία, χαλυβουργεία, υπεράκτιες δραστηριότητες, εργολάβοι ναυτιλιακών εργασιών, κλπ.) θα στηρίξει σημαντικά την ανάπτυξη μιας βιομηχανίας κυματικής ενέργειας.

Σε έργα μεγάλης κλίμακας, το σημαντικότερο εμπόδιο θα είναι η δυνατότητα και η διαθεσιμότητα του δικτύου διανομής. Αυτό διότι οι ευνοϊκοί πόροι κυματικής ενέργειας μπορεί να βρίσκονται σε περιοχές με σχετικά αδύνατο δίκτυο, ακόμη και εντός Ευρώπης. Το μέλλον της υλοποίησης της κυματικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα θα καθοριστεί εν μέρει από το βαθμό στον οποίο οι θαλάσσιοι ανανεώσιμοι ενεργειακοί πόροι αποτελούν προτεραιότητα σε διακρατικό επίπεδο. Δεν επαρκεί η επιτυχία στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και, στα πλαίσια μεμονωμένων εθνικών πρωτοβουλιών, η ενσωμάτωση μεγάλης κλίμακας θαλάσσιας ανανεώσιμης ενέργειας στο δίκτυο, αλλά θα χρειαστεί να γίνουν μεγάλες επενδύσεις σε διεθνές επίπεδο στην δικτυακή υποδομή, τόσο επάκτια όσο και υπεράκτια, καθώς και μεταξύ διαφορετικών χωρών (π.χ. το Ευρωπαϊκό Διακρατικό Δίκτυο). Η πρόταση SUPERGRID που έγινε από την Airtricity, μια επιχείρηση κοινής ωφέλειας, εισηγείται τη δημιουργία ισχυρών πλεγμάτων υπεράκτιων διεθνών δικτύων για τη σύνδεση των πολλών πάρκων θαλάσσιας ανανεώσιμης ενέργειας που θα εγκατασταθούν στην περιοχή. Μολονότι η πρόταση αυτή εστιάζεται στα υπεράκτια αιολικά, η μαζική εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας μπορεί με τον ίδιο τρόπο να ωφεληθεί από τέτοιες υποδομές. Προφανώς, λόγω του υψηλού κόστους ανάπτυξης της τεχνολογίας της υπεράκτιας ανανεώσιμης ενέργειας, θα είναι αδύνατη η ενσωμάτωση τέτοιων θεμάτων σχετικών με τα δίκτυα στον προϋπολογισμό του τομέα που αναπτύσσει την τεχνολογία. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο θα απαιτηθούν επιπλέον προσπάθειες στο πεδίο αυτό.



*Εικόνα 2.14: Θέσεις με μεγάλο κυματικό και παλιρροιακό δυναμικό.*

## 2.6.2 Παλιρροιακή Ενέργεια

Με τον όρο *παλίρροια* ορίζεται το φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο η στάθμη της θάλασσας ανυψώνεται και υποχωρεί δύο φορές την ημέρα. Η ανύψωση καλείται *πλημμυρίδα* και η ανώτατη στάθμη του θαλάσσιου νερού κατά την πλημμυρίδα καλείται *πλήμμη*. Αντίστοιχα, η υποχώρηση καλείται *άμπωτις* και η κατώτατη στάθμη του θαλάσσιου νερού κατά την αμπώτιδα καλείται *ρηχία*. Αφού το φαινόμενο ολοκληρωθεί, επαναλαμβάνεται από την αρχή. Η διαφορά των επιπέδων πλημμυρίδας και αμπώτιδας ονομάζεται *εύρος της παλίρροιας* και είναι ακριβώς το φαινόμενο που αξιοποιούν οι παλιρροιακοί σταθμοί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Το φαινόμενο της παλίρροιας οφείλει την ύπαρξή του στην έλξη που ασκούν στην υδρόσφαιρα η Σελήνη και ο Ήλιος, η μεν Σελήνη λόγω μικρής απόστασης από τη Γη και ο Ήλιος λόγω της μεγάλης μάζας του. Ειδικότερα λόγω της Σελήνης, κατά τη διάρκεια της πανσελήνου ή της νέας Σελήνης το εύρος παλίρροιας είναι μέγιστο, δηλαδή παρουσιάζεται η μεγαλύτερη πλήμμη και η μικρότερη ρηχία. Οι παλίρροιας αυτές ονομάζονται *παλίρροιας συζυγίας*. Αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια του πρώτου και τελευταίου τετάρτου της Σελήνης, το εύρος της παλίρροιας είναι ιδιαίτερα μικρό και οι παλίρροιας καλούνται *παλίρροιας τετραγωνισμού*. Η διαφορά στο εύρος των παλιρροιών συζυγίας και τετραγωνισμού είναι γνωστή με τον όρο *ανισότητα φάσης*.

Αν το φαινόμενο της παλίρροιας οφειλόταν μόνο στην επίδραση της Σελήνης και η κάλυψη της γήινης επιφάνειας με νερό ήταν ομοιόμορφη, τότε θα έπρεπε σε κάθε τόπο να υπήρχε ανύψωση των νερών κατά την άνω και κάτω μεσημβρινή διάβαση της Σελήνης, δηλαδή όταν η Σελήνη βρίσκεται στο επίπεδο του μεσημβρινού του τόπου. Στην περίπτωση αυτή κατά τη διάρκεια μιας ημέρας θα υπήρχαν δύο ανυψώσεις και δύο καταπτώσεις της επιφάνειας της θάλασσας. Στην πραγματικότητα όμως, αφ' ενός μεν λόγω των δυνάμεων τριβής και αδράνειας, αφ' ετέρου δε λόγω του ότι το φαινόμενο της παλίρροιας οφείλεται και στην επίδραση του Ηλίου, η μέγιστη ανύψωση της επιφάνειας της θάλασσας σε ένα τόπο δε συμβαίνει κατά το χρόνο της μεσημβρινής διαβάσεως της Σελήνης από τον τόπο αυτό. (**Υδρογραφική Υπηρεσία, 2008**).

Είναι γνωστό ότι τον γήινο χρόνο τον μετράμε με τη φαινόμενη κίνηση του Ήλιου, η οποία ολοκληρώνεται σε 24 ηλιακές ώρες. Με άλλα λόγια, ο Ήλιος μεσουρανάει σε κάποιο δεδομένο μεσημβρινό ενός τόπου κάθε 24 ηλιακές ώρες. Η Σελήνη όμως μεσουρανάει στον ίδιο μεσημβρινό κάθε 24 ώρες και 50 λεπτά. Αυτό το χρονικό διάστημα το ονομάζουμε *σεληνιακή μέρα*. Επομένως, η Σελήνη μεσουρανάει σε κάποιο δεδομένο μεσημβρινό ενός συγκεκριμένου τόπου, 50 λεπτά αργότερα κάθε ηλιακή μέρα, με την ίδια δηλαδή χρονική υστέρηση με την εμφάνιση της πλήμμης και της ρηχίας στον τόπο αυτό. Η χρονική διαφορά μεταξύ της μεσουράνησης της Σελήνης σε ένα τόπο και της εμφάνισης της αμέσως επόμενης πλήμμης είναι σταθερά του συγκεκριμένου τόπου και καλείται *σεληνοπαλιρροιακό διάλειμμα* (**Δουκάκης, 1998**).

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η θέση της Σελήνης δεν επηρεάζει μόνο το χρόνο εμφάνισης της παλίρροιας αλλά και το εύρος της, καθώς επίσης και τις θαλάσσιες μάζες που δημιουργούν τα παλιρροιακά ρεύματα. Το εύρος παλίρροιας ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή, από μερικά εκατοστά μέχρι και 20m. Οι παλίρροιες στον κόλπο του Fundy στον Καναδά παρουσιάζουν εύρος γύρω στα 16m και είναι παγκοσμίως γνωστές (**Εικ. 2.15**). Ο κόλπος παρουσιάζει το μεγαλύτερο παλιρροιακό δυναμικό της Β. Αμερικής: 100 δις τόνοι νερού εισρέουν και εκρέουν από τη Δεξαμενή Minas κάθε 6 ώρες (**Τσουκαλά Β., 2012**).





*Εικόνα 2.15: Ο Κόλπος Fundy στον Καναδά. Σημειώνεται η Δεξαμενή Minas όπου τεράστιος όγκος νερού εισρέει και εκρέει κάθε 6 ώρες (Πηγή: Τσουκαλά Β., Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, 2010).*

Στην Ευρώπη, το εύρος των παλιρροιών είναι ιδιαίτερα μεγάλο στο νησί Mont Saint Michel της Βόρειας Γαλλίας, έξω από τις ακτές της Νορμανδίας. Το νησί αυτό κατακλύζεται από λάσπη με ύψος παλίρροιας περίπου 14m κατά τη διάρκεια των συζυγιών και 7m κατά τη διάρκεια των τετραγωνισμών, αλλά μπορεί να προσεγγιστεί και οδικώς κατά τη διάρκεια της ρηχίας. Άλλες αξιοσημείωτες τοποθεσίες παλιρροιών ανά τον κόσμο είναι ο κόλπος του Río Gallegos στην Αργεντινή και ο κόλπος του Mezen στη Λευκή Θάλασσα, όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί (Πιν. 2.4).

Καμία ακτή δεν στερείται παλιρροιών, καθότι η περιοδική ανύψωση και υποχώρηση της θαλάσσιας επιφάνειας είναι ένα παγκόσμιο φαινόμενο. Συχνά η κίνηση είναι τόσο μικρή που επισκιάζεται από την επίδραση του ανέμου και του καιρού, αλλά εξίσου συχνές είναι οι περιπτώσεις που η θαλάσσια στάθμη φτάνει θεαματικά ύψη της τάξης των 15m πάνω από το κανονικό επίπεδο της στάθμης.

**Πίνακας 2.4:** Μερικές από τις τοποθεσίες με το υψηλότερο εύρος παλίρροιας παγκοσμίως (Πηγή: Τσουκαλά Β., Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία, 2010).

Χώρα	Τοποθεσία	Εύρος παλίρροιας (m)
Καναδάς	Bay of Fundy	16,2
Αγγλία	Severn Estuary	14,5
Γαλλία	Port of Ganville	14,7
Γαλλία	La Rance	13,5
Αργεντινή	Puerto Rio Gallegos	13,3
Ρωσία	Bay of Mezen (White Sea)	10
Ρωσία	Penzhinskaya Guba (Sea of Okhotsk)	13,4

Η μεγάλη σημασία του φαινομένου της παλίρροιας είναι αδιαμφισβήτητη, καθώς οι εναλλαγές της θαλάσσιας στάθμης έχουν μια σημαντική επίδραση στη ζωή και την οικονομία των παράκτιων περιοχών (Δουκάκης, 1998).

### 2.6.3 Ενέργεια Ωκεάνιων Ρευμάτων

Εκτός από τα παλιρροιακά ρεύματα που προκαλούνται από τη βαρυτική έλξη της σελήνης και του ηλίου, υπάρχουν και τα ωκεάνια ρεύματα. Αντίθετα με τα παλιρροιακά ρεύματα, τα ωκεάνια ρεύματα ρέουν μόνο προς μία κατεύθυνση και παραμένουν, σχετικά, σταθερά. Τα ωκεάνια ρεύματα είναι μεγάλα και σύνθετα κυκλοφορικά συστήματα. Ορισμένα από τα ρεύματα αυτά ρέουν σε ωκεάνια κλίμακα, ενώ άλλα, όπως η παγκόσμια ζώνη μεταφοράς υδάτων, διαπλέουν ολόκληρο τον πλανήτη. Η κυκλοφορία τους οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως: την ενέργεια του ανέμου στην επιφάνεια των υδάτων, τη θέρμανση του νερού από τον ήλιο στις περιοχές του ισημερινού, τις διακυμάνσεις αλατότητας και πυκνότητας και την επίδραση της περιστροφικής κίνησης της γης (τη δύναμη Coriolis). Παραδείγματα ωκεάνιων ρευμάτων είναι το ρεύμα του βορείου Ατλαντικού, το ρεύμα του κόλπου και το ρεύμα των στενών της Φλόριντα.

#### 2.6.4 Θερμική Ενέργεια Ωκεανών

Η θερμική ενέργεια των ωκεανών πηγάζει από το γεγονός ότι ο ήλιος θερμαίνει την επιφάνεια του νερού περισσότερο απ' ό,τι τα μεγαλύτερα βάθη και σε αυτή τη διαφορά θερμοκρασίας οφείλεται η θερμική ενέργεια. Υπό αυτή την έννοια, τα ωκεάνια ρεύματα που δημιουργούνται από τις διαφορές θερμοκρασίας ανάμεσα στους ωκεανούς είναι το αποτέλεσμα θερμικής ενέργειας, αλλά επειδή αυτή παράγεται από την κίνηση θαλασσίων μαζών (τα ρεύματα) μπορεί επίσης να θεωρηθεί μηχανική ενέργεια.

Η θαλασσοθερμική ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα. Η διαφορά αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον 3,5°C.

Η φιλοσοφία της νέας τεχνολογίας επικεντρώνεται στη διαφορά της θερμοκρασίας που έχουν τα νερά στην επιφάνεια της θάλασσας με εκείνα στα μεγάλα βάθη, κοντά στον πυθμένα. Η διαφορά της θερμοκρασίας, ανάλογα με το σημείο του ωκεανού, μπορεί να φθάνει ή να ξεπερνά τους 10°C. Τα επιφανειακά νερά που κυκλοφορούν σε βάθος μέχρι 100 μέτρων, όπου φθάνουν οι ακτίνες του ήλιου ενεργοποιώντας τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης από διάφορους οργανισμούς όπως το πλαγκτόν, μπορεί να έχουν θερμοκρασία περίπου 15°C ή και μεγαλύτερη αν πρόκειται για κλειστή θάλασσα όπως η Μεσόγειος. Τα βαθύτερα ύδατα έχουν θερμοκρασία περί τους 5°C.

Στις τροπικές περιοχές ο ήλιος θερμαίνει το νερό στην επιφάνεια της θάλασσας μέχρι και τους 25°C, που αντιστοιχεί σε μεγάλες ποσότητες θερμότητας. Ένας από τους πιθανούς τρόπους εκμετάλλευσης θα ήταν να χρησιμοποιηθεί η θερμότητα του νερού, για να μετατρέψει μια ουσία (για παράδειγμα, αμμωνία) από την υγρή στην αέρια κατάσταση της. Στη συνέχεια με την αντίστροφη μετατροπή θα μπορούσαμε να αξιοποιήσουμε την ενέργεια. Η υγρή αμμωνία, καθώς θα θερμαίνεται από το νερό του ωκεανού, θα μετατρέπεται σε αέριο. Η αμμωνία σε αέρια μορφή πλέον, θα κινεί μια γεννήτρια. Στη συνέχεια θα ξαναμετατρέπεται σε υγρή αμμωνία σε έναν συμπυκνωτή στο βάθος του ωκεανού, όπου η θερμοκρασία του νερού είναι πολύ χαμηλή.

### 2.6.5 Οσμωτική Ενέργεια

Η διαφορά της συγκέντρωσης του νατρίου και καλίου κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης δημιουργεί μια ηλεκτροχημική κλίση γνωστή ως δυναμικό των μεμβρανών. Σήμερα έχουν γίνει πολλά πειράματα και δοκιμές προκειμένου να εκμεταλλευτούμε την ενέργεια αυτή και υπάρχουν αρκετές διατάξεις έτοιμες να κυκλοφορήσουν στο εμπόριο.

Η νέα τεχνολογία στηρίζεται στην αρχή της όσμωσης, και συγκεκριμένα στη διάχυση του νερού διαμέσου μίας ημιπερατής μεμβράνης. Γλυκό νερό και θαλασσινό νερό οδηγούνται σε ξεχωριστά δοχεία τα οποία διαχωρίζονται μέσω μίας τεχνητής μεμβράνης. Το γλυκό νερό διαπερνά τη μεμβράνη και «πιέζει» το θαλασσινό νερό. Η πίεση αυτή μπορεί να οδηγηθεί σε τουρμπίνα για την παραγωγή ενέργειας.

Θα μπορούσε να είναι κατάλληλη μορφή παραγωγής ενέργειας για μεγάλες πόλεις, κοντά σε εκβολές ποταμών ώστε να μην χρειάζεται μεταφορά γλυκού νερού από άλλη πηγή. Μία εγκατάσταση για την παραγωγή 25MW έχει τις διαστάσεις ενός γηπέδου ποδοσφαίρου (Τσουκαλά Β., 2012).

### 3 Χρονική Εξέλιξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην πραγματικότητα δεν αποτελεί και τόσο νέα υπόθεση. Ο άνθρωπος "τροφοσυλλέκτης" των προϊστορικών χρόνων στηριζόταν αποκλειστικά στη **μυική του ενέργεια** (δύναμη) για να βρίσκει την τροφή του και να φτιάχνει τα καταφύγιά του. Με την πάροδο των ετών χρησιμοποίησε πιο αποδοτικά τη μυική του ενέργεια φτιάχνοντας τα πρώτα απλά εργαλεία από ξύλο, πέτρα και κόκαλα. Αξιοποίησε επίσης τη **μυική ενέργεια των ζώων** είτε για τη μεταφορά επιβατών και αντικειμένων είτε για όργωμα και άντληση νερού σε συνδυασμό με εργαλεία (π.χ. αλέτρι) και απλές μηχανές. Οι σημαντικότεροι σταθμοί στην ιστορία του ανθρώπου υπήρξαν αναμφισβήτητα η ανακάλυψη και χρήση της φωτιάς και η επινόηση του τροχού.



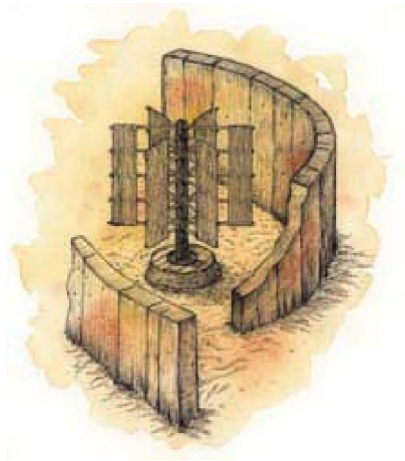
*Εικόνα 3.1: Χρήση μυικής ενέργειας και ζωικής ενέργειας από τον άνθρωπο των προϊστορικών χρόνων.*

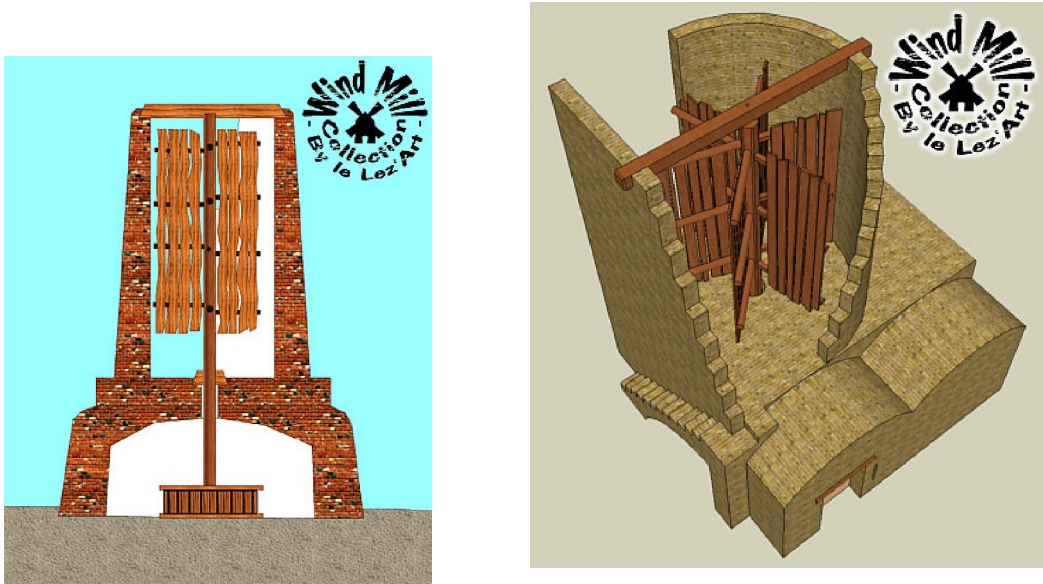
Από τη λίθινη ακόμη εποχή γνωρίζουμε ότι οι κάτοικοι των σπηλαιών χρησιμοποίησαν την ενέργεια της φωτιάς αρχικά για το φωτισμό, τη θέρμανση και τη μαγειρική και με το πέρασμα των χιλιετιών για τη μεταλλουργία και την υαλουργία. Τα πρώτα καύσιμα ήταν τα ξερά χόρτα, το ξύλο, η κοπριά και στη συνέχεια το φυτικό και ζωικό λίπος (**βιομάζα**).



*Εικόνα 3.2: Οι κάτοικοι των σπηλαίων χρησιμοποίησαν την ενέργεια που περιέχεται στη βιομάζα, μέσω της καύσης, για θέρμανση και μαγείρεμα.*

Αργότερα ανακάλυψε τη δύναμη του ανέμου (*αιολική ενέργεια*) την οποία μετέτρεψε σε μηχανική ενέργεια για την ύδρευση και άρδευση, άλεση δημητριακών και υδάτινες μεταφορές. Ήδη από την 4<sup>η</sup> χιλιετηρίδα π.Χ., ο άνθρωπος χρησιμοποίησε την ενέργεια του ανέμου στα ιστιοφόρα πλοία, ενώ οι πρώτοι ανεμόμυλοι εμφανίστηκαν στην Περσία περίπου το 950 μ.Χ. και στην Ευρώπη, στη Γαλλία συγκεκριμένα, το 1180 μ.Χ.





*Εικόνα 3.3: Αναπαράσταση περσικού ανεμόμυλου κατακόρυφου άξονα.*

Με την ανακάλυψη των δύο κύριων εξαρτημάτων του νερόμυλου (τροχός του νερού και οδοντωτά γρανάζια) από τους Έλληνες περίπου τον 3<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ., αξιοποιείται η ενέργεια του νερού που έρρεε ή έπεφτε, για την άλεση των σπόρων (*υδραυλική ενέργεια*) που πλέον έχει εξελιχθεί στον σύγχρονο υδροστρόβιλο για την παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος.

Βλέπουμε λοιπόν ότι ο πρωτόγονος άνθρωπος αξιοποίησε και αυτός τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χιλιάδες χρόνια πριν.



*Εικόνα 3.4: Υδρόμυλος από το 12<sup>ο</sup> αι. στο Braine-le-Château, Βέλγιο (Πηγή: Ιστοσελίδα Wikipedia, 2012).*

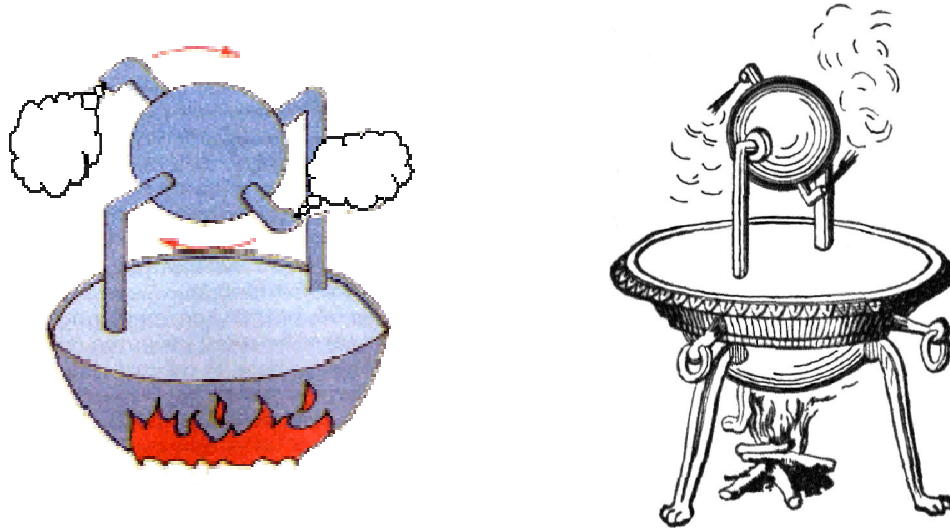
Οι πρώτες προσπάθειες κατασκευής και χρήσης πιο πολύπλοκων μηχανών που απαλλάσσουν τον άνθρωπο από επίπονες εργασίες και αξιοποιούν τις πιο πάνω πηγές ενέργειας, εμφανίζονται περί το 300 π.Χ.. Ο Αρχιμήδης αναφέρεται ανάμεσα στους πρώτους εφευρέτες, καθώς το 212 π.Χ. με τα κοίλα κάτοπτρα που κατασκευάζει, εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια και κατακαίει τα ρωμαϊκά πλοία κατά την πολιορκία των Συρακουσών (**Εικ. 3.5**).



*Εικόνα 3.5: Αναπαράσταση της χρήσης φακού από τον Αρχιμήδη για την καύση πλοίων κατά την πολιορκία των Συρακουσών από τον Μάρκο Κλαύδιο Μάρκελλο.*



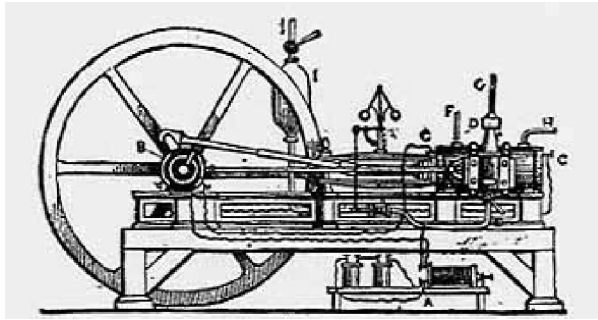
Ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς το 130 π.Χ. κατασκευάζει την πρώτη ατμομηχανή στην ιστορία (Εικ. 3.6). Η αιολόσφαιρα ή ατμοστρόβιλος ήταν μια θερμική μηχανή που αποτελείτο από μια περιστρεφόμενη σφαίρα με δύο ακροφύσια και εκμεταλλευόταν τη δύναμη του ατμού.



*Εικόνα 3.6: Αναπαράσταση της αιολόσφαιρας, της πρώτης ατμομηχανής στην ιστορία.*

Κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα (467 – 1453 μ.Χ.) και της Αναγέννησης (1454 – 1700 μ.Χ.) εμφανίζονται μερικές από τις σπουδαιότερες εφευρέσεις και διατυπώνονται οι βασικοί νόμοι της Φυσικής (νόμος βαρύτητας, παγκόσμιας έλξης, νόμοι διατήρησης της ενέργειας κ.λπ.). Όλα τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την εμφάνιση και ταχύτατη εξάπλωση της χρήσης των καύσιμων απολιθωμάτων, αποτέλεσαν τα θεμέλια για την έναρξη της εκρηκτικής ανάπτυξης γνωστής και ως Βιομηχανική Επανάσταση (1780 – 1850 μ.Χ.).

Η πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης κατασκευάζεται το 1860 από το Γάλλο εφευρέτη Jean Joseph Étienne Lenoir (Εικ. 3.7) και τελειοποιείται το 1876 από το Γερμανό μηχανικό Nicolaus August Otto, ο οποίος κατασκευάζει την τετράχρονη μηχανή (Εικ. 3.8).

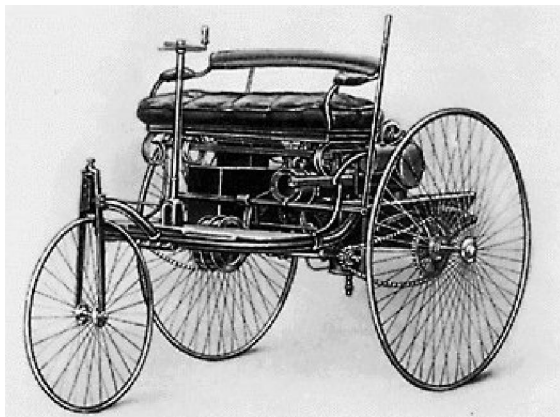


*Εικόνα 3.7: Αναπαράσταση της μηχανής εσωτερικής καύσης του Jean J. Lenoir.*



*Εικόνα 3.8: Αναπαράσταση της τετράχρονης μηχανής του Nicolaus Otto.*

Το πρώτο εύρηστο αυτοκίνητο, με τρεις τροχούς και ανώτατη ταχύτητα 15 χιλιόμετρα την ώρα, κατασκευάζεται το 1885 από το Γερμανό μηχανικό Karl Benz (Εικ. 3.9 και 3.10).



*Εικόνα 3.9: Αναπαράσταση του πρώτου αυτοκινήτου τριών τροχών του Karl Benz.*



*Εικόνα 3.10: Ακριβές αντίγραφο της εφεύρεσης του Benz εν λειτουργία (Φωτογραφία Marcin Cieślak, Φρανκφούρτη, 2007)*

Το 1901 γενικεύεται η πετρελαιοκινούμενη μεταφορά, ενώ στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα ανακαλύπτεται ο ηλεκτρισμός που μεταμορφώνει τη ζωή και την εργασία του ανθρώπου και δημιουργεί μια παγκόσμια βιομηχανία με τεράστια οικονομικά μεγέθη. Στον εικοστό αιώνα κατασκευάζονται σε μερικές χώρες βιομηχανίες που στηρίζονται στην εντατική χρήση πετρελαίου και ηλεκτρισμού και δίνουν τεράστια ώθηση στην

οικονομική ανάπτυξη. Ταυτόχρονα όμως δημιουργούνται νέες ανάγκες που απαιτούν κατανάλωση ενέργειας, ενώ συσσωρεύονται πολλά προβλήματα στο περιβάλλον, ιδιαίτερα με τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας από τη δεκαετία του 1970 και μετά.

### 3.1 Υδραυλική Ενέργεια

Η υδραυλική ενέργεια, ο «λευκός άνθραξ» υπηρέτησε και υπηρετεί πιστά τον άνθρωπο στο δρόμο της ανάπτυξης. Η εξέλιξη των προδρόμων των Μικρών Υδροηλεκτρικών χάνεται στους αιώνες. Αφθονούν οι σχετικές, με τους υδραυλικούς τροχούς και τους υδρόμυλους, περιγραφές από Ρωμαίους συγγραφείς, βουδιστές και ιησούιτες μοναχούς. Οι ρίζες τους όμως είναι καθαρά ελληνικές και μάλιστα μακεδονικές. Οι πρώτες σχετικές έγγραφες περιγραφές αφορούν συστήματα μετάδοσης κίνησης, και μάλιστα οδοντωτά, τα οποία αποδίδονται στον Αριστοτέλη. Η αρχαιότερη όμως διασωθείσα απόδειξη ύπαρξης σχετικής τεχνολογίας των κλασικών χρόνων είναι ο περίφημος Μηχανισμός των Αντικυθήρων.

Εικάζεται ότι, το υπάρχον απόθεμα τεχνολογικής γνώσης των Ελληνιστικών χρόνων σε προβλήματα μετάδοσης κίνησης με οδοντωτούς τροχούς, συνέβαλε σημαντικά στη διαμόρφωση της τεχνικής των υδραυλικών τροχών και έλκει την προέλευσή του από τους μαθητές του Μακεδόνα φιλοσόφου και τον Ήρωνα τον Αλεξανδρέα. Στα κλασικά έργα του τελευταίου υπάρχουν περιγραφές σειράς υδραυλικών διατάξεων πέραν αυτών που σχετίζονται με τον γνωστό αεριοστρόβιλο. Ο Λεονάρντο ντα Βίντσι ξαναανακαλύπτει πολλές από τις περιγραφές του Ήρωνα.

Με την πάροδο των αιώνων οι παραδοσιακές αυτές τεχνικές υδροκίνησης εξελίχθηκαν και αντικαταστάθηκαν από σύγχρονες πετρελαϊκές ή ηλεκτρικές μηχανές. Παραδοσιακές και σύγχρονες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις αξιοποιούσαν και αξιοποιούν τη δυναμική και κινητική ενέργεια του νερού για την παραγωγή μηχανικού έργου και ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην Ελλάδα, οι δριστέλες (υδροτριβεία) τα μπατάνια, τα πριονιστήρια ξυλείας οι σουσαμόμυλοι, τα κλωστοϋφαντουργεία, χρησιμοποιούν τη δύναμη του νερού και συμβάλλουν τα μέγιστα στην τοπική οικονομία.

Η τεχνολογία των νερόμυλων έμεινε ουσιαστικά στάσιμη μέχρι την εμφάνιση, στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα, των πρώτων μηχανών που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως υδροστρόβιλοι. Από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, τα έργα αξιοποίησης της υδραυλικής

ενέργειας, που μέχρι τότε ήταν μικρής κλίμακας, σταδιακά αυξάνονται και μεγεθύνονται, μετατρέποντας όλο και μεγαλύτερο ποσοστό της υδραυλικής ενέργειας σε μηχανική, συμβαδίζοντας με την ολοένα αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση και την τεχνολογική πρόοδο.

Με την ανάπτυξη των εφαρμογών του ηλεκτρισμού, μια μορφή ενέργειας της οποίας η μεταφορά από την θέση παραγωγής στην θέση της κατανάλωσης είναι σχετικά εύκολη, το έργο αξιοποίησης της υδραυλικής ενέργειας γίνεται υδροηλεκτρικό, δηλαδή η υδραυλική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική από τον υδροστρόβιλο και στη συνέχεια σε ηλεκτρική από την ηλεκτρική γεννήτρια που είναι συζευγμένη με αυτόν.

Πολύ πριν οι ειδικοί μηχανικοί εγκαταστήσουν γιγαντιαία υδροηλεκτρικά έργα, χιλιάδες μικρά υδροηλεκτρικά είχαν ήδη εγκατασταθεί και λειτουργούσαν τόσο στην Ευρώπη και τις Η.Π.Α. όσο και στην Ασία. Αυτά τα έργα στήριζαν τα πρώτα βήματα της βιομηχανικής ανάπτυξης και επανάστασης και αποτέλεσαν τους πρώτους αξιόπιστους βασικούς εργασιακούς βιοτεχνικούς και πολιτιστικούς πυρήνες. Στις αρχές του αιώνα τέτοια έργα στήριζαν τη βιομηχανική ανάπτυξη της κλωστοϋφαντουργίας και νηματουργίας σειράς πόλεων της Μακεδονίας.

Στην Ευρώπη τουλάχιστον, οι δύο – τρεις δεκαετίες μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως η χρυσή περίοδος των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων επειδή η έντονη αξιοποίηση του διαθέσιμου υδραυλικού δυναμικού έγινε με μονάδες μεγάλης ισχύος, μερικών εκατοντάδων MW η κάθε μία. Σε σύγκριση με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα τα παλαιάς τεχνολογίας, μικρά υδροηλεκτρικά έργα που ήδη υπήρχαν αποδείχθηκαν αντικοινωνικά (χαμηλός βαθμός απόδοσης και υψηλό κόστος παραγόμενης KWh) και σταδιακά εγκαταλείφθηκαν.

Από την δεκαετία του 1980 περίπου παρατηρείται διεθνώς ένα έντονο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των μικρών υδροηλεκτρικών έργων, που εκδηλώνεται είτε με την αξιοποίηση νέων μικρών υδατοπτώσεων, είτε με την επανασχεδίαση και εκσυγχρονισμό των μικρών υδροηλεκτρικών έργων που είχαν απομείνει ή εγκαταλειφθεί.

Η πρώτη και δεύτερη κρίση πετρελαίου και ο πόλεμος του Περσικού Κόλπου συνέβαλαν σημαντικά στην αναθεώρηση της ενεργειακής πολιτικής κάθε κράτους και

αναζωπύρωσαν το ενδιαφέρον για τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα. Συγχρόνως άρχισε να γίνεται κοινή συνείδηση όλων των εμπλεκόμενων και ενδιαφερομένων ότι τα έργα αυτά είναι πράγματι τα μόνα αξιόπιστα. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σε όλες τις χώρες μια πραγματική αναγέννηση της προώθησης και της εγκατάστασης ΜΥΕ. Η παρατηρούμενη τάση είναι απολύτως φυσιολογική συνέχεια της ιστορικής συμβολής των Μικρών Υδροηλεκτρικών στον εξηλεκτρισμό, στην εκβιομηχάνιση και την ανάπτυξη όλων των χωρών του κόσμου.

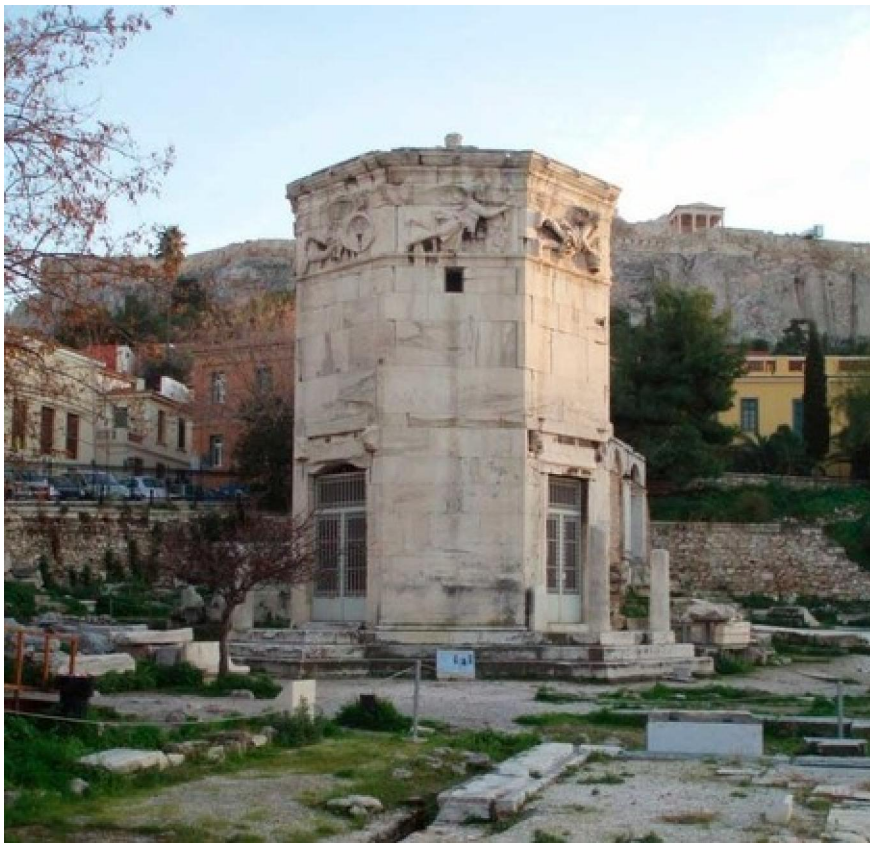
Σύμφωνα με τα στοιχεία του **World Energy Council** για το 2000 βρίσκονται σε λειτουργία ανά την υφήλιο μικρά υδροηλεκτρικά συνολικής εγκατεστημένης ισχύος της τάξεως των 45.000 MW, ενώ βρίσκονται στη φάση κατασκευής ή του τελικού προγραμματισμού ΜΥΗΕ συνολικής εγκατεστημένης ισχύος της τάξεως των 25.000 MW, ενώ ο οργανισμός **International Energy Agency** προβλέπει ότι μέχρι τα τέλη του 2010 η επί πλέον ισχύς από ΜΥΗΕ θα φθάσει τα 20.000 MW. Στην Ευρώπη των 27 μελών, σύμφωνα με στοιχεία του 2009, λειτουργούσαν περί τα 21.000 ΜΥΗΕ με συνολική εγκατεστημένη ισχύς ίση με 13.000 MW, τα οποία είχαν μία παραγωγή ίση με 41.000 GWh. Η μέση εγκατεστημένη ισχύς των έργων ήταν 0,6 MW και η μέση ετήσια παραγωγή από κάθε μέσο έργο ήταν περίπου 2 GWh/έτος. Το συνολικό τεχνικοοικονομικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό της Ευρώπης των 27 μελών, ανέρχεται σε 23.000 MW περίπου με δυνατότητα παραγωγής περί τις 79 TWh/έτος. Στη χώρα μας λειτουργούν 182,61 MW Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων, από τα οποία, σύμφωνα με επίσημα στοιχεία παραγωγής του Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε. (**Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. Α.Ε.**) για το έτος 2009, παρήχθησαν 657.168 MWh.

### 3.2 Αιολική Ενέργεια

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χάνεται στα βάθη της ιστορίας. Ο εγκλωβισμός, κατά τον Όμηρο, των ανέμων στον ασκό του Αιόλου δείχνει ακριβώς την ανάγκη των ανθρώπων να διαθέτουν τους ανέμους στον τόπο και χρόνο που οι ίδιοι θα ήθελαν.

Κατά τη διάρκεια του 1<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. (εκτιμάται το 47 π.Χ.) χτίστηκε στην Αθήνα ένα αρχαίο Αστεροσκοπείο, ο «Πύργος των Ανέμων», επίσης γνωστός και ως Ωρολόγιο του Ανδρονίκου του Κυρρήστου – από το όνομα του κατασκευαστή του,

αστρονόμου, που καταγόταν από τη μακεδονική Κύρρο. Πρόκειται για ένα μικρό, σχετικά, οκτάπλευρο οικοδόμημα εντεταγμένο στη ρωμαϊκή Αγορά, στο εσωτερικό του οποίου εικάζεται ότι λειτουργούσε υδραυλικό ρολόι. Σε κάθε πλευρά του υπάρχει και ένα ανάγλυφο, ολόσωμο άγαλμα ανθρώπου, που κρατάει στα χέρια του το σύμβολο ενός ανέμου του ανεμολογίου. Στην κορυφή της κωνικής στέγης του υπήρχε ένα μπρούτζινο άγαλμα του θεού Τρίτωνα που περιστρεφόταν σύμφωνα με τον πνέοντα άνεμο και έδειχνε με μπρούτζινο ραβδί έναν από τους οκτώ ανέμους που απεικονίζονταν στις πλευρές. Παρακάτω, φαίνεται ο Πύργος όπως είναι σήμερα (**Εικ. 3.11**)



*Εικόνα 3.11: Ο «Πύργος των Ανέμων» στη ρωμαϊκή Αγορά (Πηγή: Ιστοσελίδα Αρχαιολογικής Υπηρεσίας, 2012).*

*Ακόμη κι αν κάποιος δεν μπορούσε να διαβάσει τα ονόματά τους, τα οποία αναγράφονταν, αρκούσε να τους κοιτάξει για να εξακριβώσει την ταυτότητά τους. Δεν είναι τυχαίο που ο αρχαίος γλύπτης αποτύπωσε τον Βοριά ως γέροντα με ένα κοχύλι στο χέρι για να παραπέμψει στον ήχο που κάνει όταν φυσά στις σπηλιές της Αττικής. Ακολουθώντας τη φορά του ρολογιού, δίπλα βρίσκεται ο Καικίας (βορειοανατολικός*

άνεμος), ηλικιωμένος κι αυτός, που κρατά μια ασπίδα γεμάτη χαλάζι. Τον ακολουθεί ο Απηνιώτης – ανατολικός, έρχεται από τον ήλιο, όπως λέει και το όνομά του – νέος, με τα χέρια γεμάτα στάχυα και φρούτα, καθώς φέρνει βροχή πολύτιμη για τους γεωργούς.

Επόμενος είναι ο αποπνικτικός Εύρος, ο νοτιοανατολικός άνεμος με τη μορφή γέροντα και ο μοναδικός που έχει άδεια χέρια. Με μια αναποδογυρισμένη υδρία ακολουθεί ο Νοτιάς, καθώς ο νέος αυτός άνδρας φέρνει πολλές βροχές. Τον διαδέχεται ο νοτιοδυτικός Λίβας, στιβαρός, κρατά στα χέρια του την πρύμνη ενός πλοίου, σημάδι ότι είναι καλοτάξιδος.

Γυμνός και με τον μανδύα του γεμάτο ανοιζιάτικα λουλούδια εμφανίζεται ο δυτικός άνεμος Ζέφυρος, που είναι ευχάριστα ζεστός, για να κλείσει ο κύκλος με τον πιο αντιπαθητικό, τον βορειοδυτικό Σκίρωνα – όπως ο ληστής που σκότωσε ο Θησέας και είχε την έδρα του στη σημερινή Κακιά Σκάλα, επειδή πίστευαν ότι έπνεε από εκεί – ντυμένο με βαριά ρούχα και ένα αγγείο αναποδογυρισμένο στο χέρι, καθώς ψυχρός τον χειμώνα και καυτός το καλοκαίρι, αρρωσταίνει τους ανθρώπους (Αδαμοπούλου Μ., 2012).

Στις παρακάτω φωτογραφίες (Εικ. 3.12) φαίνεται η αναπαράσταση καθενός από τους οκτώ ανέμους στον Πύργο.



**ΒΟΡΕΑΣ:** Ο κατά το σχήμα στερεός, ο άνεμος του βουνού. (Βόρειος, Τραμουντάνα). Ένας σκυθρωπός γέρος, τυλιγμένος σε χιτώνα, φυσάει μέσα από ένα μεγάλο κοχύλι.



**ΚΑΙΚΙΑΣ:** Ο ερχόμενος από τον ποταμό Κάϊκο, από την περιοχή της Μυσίας. (Βορειοανατολικός, Γραίγος). Σκορπίζει χαλάζι από μία ασπίδα.



ΑΠΗΛΙΩΤΗΣ: Ο σχετιζόμενος με τον Ήλιο. (Ανατολικός, Λεβάντες). Ένας νέος φέρνει φρούτα και σιτηρά.



ΕΥΡΟΣ: Αυτός που «καίει». (Νοτιοανατολικός, Σιρόκος). Ένας γέρος άνδρας τυλιγμένος σε βαρύ χιτόνα.



ΝΟΤΟΣ (Νότιος, Όστρια). Αδειάζει ένα δοχείο με νερό.



ΛΙΨ: Ο ερχόμενος από τη Λιβύη. (Νοτιοδυτικός, Γαρμπής). Κρατάει την πρύμνη καραβιού και το οδηγεί.



ΖΕΦΥΡΟΣ (Δυτικός, Πουνέντες). Ένας νέος σκορπίζει λουλούδια.



ΣΚΙΡΩΝ: Ο ερχόμενος από τις Σκιρωνίδες πέτρες (Κακιά Σκάλα). (Βορειοδυτικός, Μαϊστρος). Σκορπάει καυτή στάχτη από ένα χάλκινο δοχείο.

**Εικόνα 3.12:** Οι ανάγλυφες απεικονίσεις των οκτώ ανέμων στις πλευρές του οικοδομήματος του «Πύργου των Ανέμων» (Πηγή: Αδαμοπούλου Μ., ΤΑ ΝΕΑ, 30/08/2012)



Για πολλές εκατοντάδες χρόνια η κίνηση των πλοίων στηριζόταν στη δύναμη του ανέμου, ενώ η χρήση του ανεμόμυλου ως κινητήριας μηχανής εγκαταλείπεται μόλις στα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Είναι η εποχή που εξαπλώνονται ραγδαία τα συμβατικά καύσιμα και ο ηλεκτρισμός, ο οποίος φτάνει ως τα πιο απομακρυσμένα σημεία. Η πετρελαϊκή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του '70, φέρνει ξανά στο προσκήνιο τις ΑΠΕ και την αιολική ενέργεια. Στο διάστημα μέχρι σήμερα, σημειώνεται μια αλματώδης ανάπτυξη, κάτι που ενισχύεται και από την επιτακτική ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος. Γίνεται πλέον συνείδηση σε όλο και περισσότερο κόσμο, πως ο άνεμος είναι μια καθαρή, ανεξάντλητη πηγή ενέργειας.

Στη χώρα μας χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά ανεμόμυλοι κυρίως στην Ανατολική Κρήτη για την άντληση ποτιστικού νερού από πηγάδια. Οι ανεμόμυλοι αυτοί είναι σιδερένιοι με υφασμάτινα πανιά, και αναφέρονται συγκεντρωμένοι κυρίως στο οροπέδιο του Λασιθίου. Την εποχή της άνθησής τους, πριν το 1940, υπήρξαν χιλιάδες ανεμόμυλοι ενώ σήμερα λειτουργούν περίπου χίλιοι.

Παράλληλα, στη Σητεία, αναφέρθηκε μια ενδιαφέρουσα μέθοδος αντλιοταμείωσης, η οποία διερευνάται ως προς την οικονομικοτεχνική ελκυστικότητα της και σήμερα. Στην περίπτωση αυτή της Σητείας, η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται για την άντληση νερού με την βοήθεια ανεμόμυλων, το οποίο αποθηκεύεται σε υψηλή δεξαμενή. Στη συνέχεια η διαθέσιμη υδατόπτωση χρησιμοποιείται κατά βούληση σε προσκείμενους νερόμυλους.

Σημαντικός αριθμός ανεμόμυλων βρέθηκε και στις Κυκλάδες, στη Ρόδο, στη Χίο και γενικότερα στα νησιά του Αιγαίου. Ο τύπος του ανεμόμυλου που αναπτύχθηκε στη πατρίδα μας είναι οριζοντίου άξονα, σε πέτρινο κτίσμα με πάνινα πτερύγια (Μεσογειακός ανεμόμυλος).

Στις αρχές του προηγούμενου αιώνα, πρώτοι οι Δανοί παράγουν ηλεκτρισμό από τον άνεμο, ενώ στην Αμερική ανεμόμυλοι μεταλλικής κατασκευής χρησιμοποιούνται επίσης για ηλεκτροδότηση. Έτσι, το 1892 λειτούργησε στο Askov της Δανίας πειραματικός ανεμοκινητήρας με δύο ηλεκτρικές γεννήτριες (2x9kW) με διάμετρο 22,8m υπό την επίβλεψη του καθηγητή P. LaCour. Αντίστοιχα, τη δεκαετία του 1930 κατασκευάστηκε στη Βαλτική, μηχανή 100kW, με σχεδιαστική επίβλεψη του

Sabanin και Yuriev. Τέλος, το 1940 κατασκευάζεται στο Vermont των Η.Π.Α. ένας πειραματικός δίπτερος ανεμοκινητήρας (ανεμογεννήτρια) σημαντικής ισχύος.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι (Μαμάσης Ν., Στεφανάκος Ι., 2012):

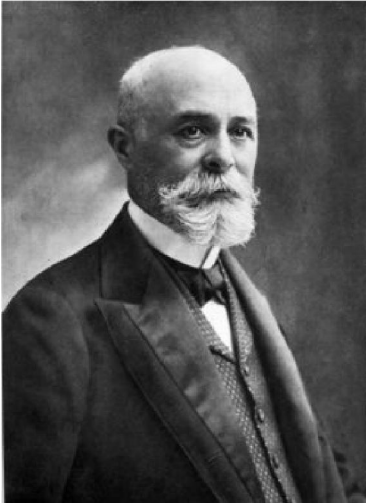
- Η πρώτη χρήση αιολικής ενέργειας έγινε στη ναυσιπλοΐα, ενώ οι πρώτοι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν για άλεσμα δημητριακών και άντληση νερού.
- Οι αρχαιότεροι ανεμόμυλοι (κατακόρυφου άξονα) κατασκευάστηκαν στην Περσία τον 6<sup>ο</sup> έως τον 10<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ., ενώ η πρώτη γραπτή αναφορά γίνεται στην Κίνα το 13<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ.
- Στην Ευρώπη αναπτύχθηκαν διάφορα είδη ανεμόμυλου (οριζόντιου άξονα) από τον 13<sup>ο</sup> αιώνα και πιθανόν οι νερόμυλοι να αποτέλεσαν πρότυπο για την κατασκευή τους
- Το 17<sup>ο</sup> αιώνα η «τεχνολογία» μεταφέρεται στην Αμερική όπου οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για άντληση νερού
- Στην Ελλάδα (ειδικότερα στο Αιγαίο) η χρήση ανεμόμυλων χρονολογείται από το 13<sup>ο</sup> αιώνα. Το 1960 υπήρχαν 10.000 ανεμόμυλοι στο Οροπέδιο Λασιθίου, 2.500 στην υπόλοιπη Κρήτη και 600 στη Ρόδο
- Ο πρώτος ανεμόμυλος για παραγωγή ηλεκτρισμού κατασκευάστηκε το 1888 στο Cleveland του Ohio. Είχε διάμετρο πτερωτής 17 μέτρα και ισχύ 12 kW
- Σήμερα η Δανία, χώρα πλούσια, σε αιολικό δυναμικό έχει τα πρωτεία στην κατασκευή αλλά και στην χρήση ανεμογεννητριών
- Πριν 30 χρόνια, μια τυπική ανεμογεννήτρια ήταν της τάξης των 25 kW. Σήμερα, οι αιολικές μηχανές που κατασκευάζονται είναι της τάξης των 750 – 2.500 kW

### 3.3 Ηλιακή Ενέργεια

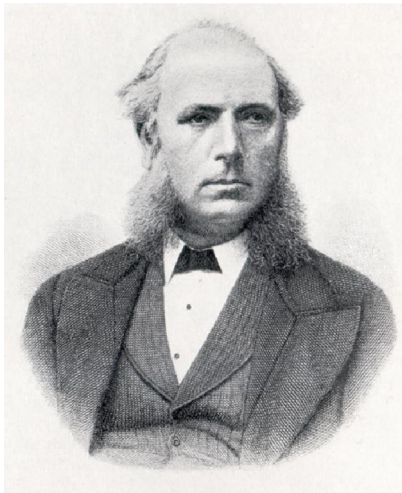
Η ακτινοβολία του ήλιου (ηλιακή ακτινοβολία) αποτελεί την κυριότερη πηγή ενέργειας για τη γη εδώ και πολλά χρόνια με ουσιαστική συμβολή στη δημιουργία των ορυκτών καυσίμων. Η ενέργεια του ήλιου, αποτελεί εδώ και πολλά χρόνια μια σημαντική πηγή ενέργειας, την οποία ο άνθρωπος χρησιμοποίησε είτε άμεσα,

(ξήρανση τροφών, στέγνωμα κλπ.), είτε έμμεσα (μέσω της γεωργίας για την παραγωγή σιτηρών). Στη δεκαετία του 1830, ο βρετανός αστρονόμος John Herschel χρησιμοποίησε ένα ηλιακό θερμικό κουτί, μέσω του οποίου εκμεταλλευόταν την ηλιακή ενέργεια για μαγείρεμα του φαγητού κατά τη διάρκεια μιας εκστρατείας στην Αφρική.

### 3.3.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο



*Εικόνα 3.13: Ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel (1820 – 1891).*

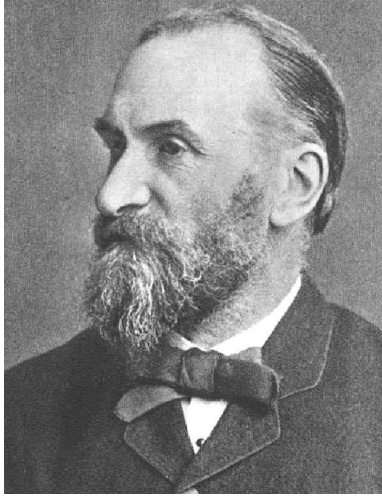


*Εικόνα 3.14: Ο Άγγλος μηχανικός Willoughby Smith (1828 – 1891).*

Η πρώτη γνωριμία του ανθρώπου με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έγινε το 1839 όταν ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel (1820 – 1891, **Εικ. 3.13**) ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά την διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια βυθισμένη σε αραιό διάλυμα οξέος.

Το επόμενο σημαντικό βήμα έγινε το 1873 όταν ο Willoughby Smith (**Εικ. 3.14**) ανακάλυψε τη φωτοαγωγιμότητα του σεληνίου (Se). Τρία χρόνια αργότερα, ο William Grylls Adams (1836 – 1915, **Εικ. 3.15**) και ο φοιτητής του Richard Evans Day παρατήρησαν και αυτοί ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν από το σελήνιο όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φως.

Το 1918 ο Πολωνός Czochralski (1885 – 1953, **Εικ. 3.16**) πρόσθεσε την μέθοδο παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) με την σχετική έρευνα του και η οποία μάλιστα χρησιμοποιείται βελτιστοποιημένη ακόμα και σήμερα



*Εικόνα 3.15: Ο Άγγλος φυσικός William Grylls Adams (1836 – 1915).*



*Εικόνα 3.156: Ο Πολωνός χημικός Jan Czochralski (1885 – 1953).*

Μια σημαντική ανακάλυψη έγινε επίσης το 1949 όταν οι Mott και Schottky ανέπτυξαν την θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης. Στο μεταξύ η κβαντική θεωρία είχε ξεδιπλωθεί. Ο δρόμος πλέον για τις πρώτες πρακτικές εφαρμογές είχε ανοίξει.

Το πρώτο ηλιακό κελί ήταν γεγονός στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους Chapin, Fuller και Pearson. Η απόδοση του ήταν 6% εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Τέσσερα χρόνια μετά, το 1958 η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων προσαρτάται στον χώρο των διαστημικών εφαρμογών όταν τοποθετήθηκε ένα



*Εικόνα 3.16: Ο δορυφόρος Vanguard I.*

αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα στον δορυφόρο Vanguard I (Εικ. 3.17). Το σύστημα αυτό λειτούργησε επιτυχώς για 8 ολόκληρα χρόνια και ήταν ένα από τα πρώτα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Από το χρονικό αυτό σημείο και μετά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα άρχισαν να ενσωματώνονται σταδιακά σε διάφορες εφαρμογές και η τεχνολογία να βελτιώνεται συνεχώς.

Το 1962 η μεγαλύτερη Φ/Β εγκατάσταση στον κόσμο γίνεται στην Ιαπωνία από την Sharp, σε έναν φάρο. Η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος είναι 242Wp.

Τα φωτοβολταϊκά ξεκίνησαν λοιπόν να κάνουν την εμφάνιση τους αλλά λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής η εφαρμογή τους ήταν δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων. Η έρευνα όμως προχωρούσε και η απόδοση των Φ/Β συνεχώς βελτιωνόταν. Κυριότερος πελάτης των φωτοβολταϊκών τις δεκαετίες που ακολούθησαν είναι η NASA.

Οι υψηλές τιμές στα φωτοβολταϊκά ήταν ο σημαντικότερος λόγος που δεν υπήρχε περισσότερο ενθουσιώδης αποδοχή από την αγορά. Ενδεικτικά η τιμή των φωτοβολταϊκών ξεκινάει από τα 500\$ ανά εγκατεστημένο Watt το 1956, ενώ μετά από 14 χρόνια, το 1970 αγγίζει τα 100\$/Watt. Το 1973 οι βελτιώσεις στις μεθόδους παραγωγής φέρνουν το κόστος των φωτοβολταϊκών στα 50\$/Watt.

Η πρώτη εγκατάσταση Φ/Β που φτάνει στα επίπεδα του 1MW γίνεται στην Καλιφόρνια το 1980 από την ARCO Solar χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου 2 αξόνων (dual – axis trackers).

Η εξέλιξη αρχίζει πλέον να γίνεται με ταχύτερους ρυθμούς. Το 1983 η παγκόσμια παραγωγή Φ/Β φτάνει τα 22MW και ο συνολικός τζίρος τα 250.000.000\$.

Το 1999 η εταιρία Spectrolab σε συνεργασία με το NREL αναπτύσσουν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 32,3%. Το στοιχείο αυτό είναι συνδυασμός τριών υλικών (στρώσεων) και ειδικό για εφαρμογές σε συγκεντρωτικά συστήματα CPV. Την ίδια χρονιά το ρεκόρ στην απόδοση των Thin Films φτάνει στο 18,8%. Η παραγωγή όλων των τεχνολογιών των Φ/Β πάνελ φτάνει συνολικά τα 200 MW.

Τα επόμενα χρόνια η πορεία πια είναι ασταμάτητη. Η μαζική είσοδος μεγάλων εταιρειών στον χώρο των Φ/Β φέρνει την μαζική παραγωγή και αυτή με την σειρά της την τιμή των διασυνδεδεμένων συστημάτων στα 6,5 €/Wp. Γερμανία και Ιαπωνία κυριαρχούν στην κατασκευή Φ/Β πάνελ και πλέον σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες αρχίζουν, με τον έναν (παραγωγή εξοπλισμού) ή τον άλλον τρόπο (κατασκευή Φ/Β εγκαταστάσεων), να υιοθετούν τις τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών και να τις παγιώνουν στην συνείδηση των επενδυτών αλλά και των καταναλωτών ενέργειας. Η συνολική παραγωγή το 2004 έφτασε τα 1.200 MW Φ/Β στοιχείων ενώ ο τζίρος της ίδιας χρονιάς άγγιξε τα 6.500.000.000\$.

Σήμερα, με οικονομίες μεγάλης κλίμακας έχουν επιτευχθεί μεγάλες αποδόσεις στα κρυσταλλικά κυρίως υλικά και αρκετές χώρες με πρωτοπόρες την Γερμανία και την Ιαπωνία έχουν ήδη επενδύσει τεράστια κονδύλια με σκοπό την ευρύτερη εκμετάλλευση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

Ήδη βέβαια οι χώρες αυτές έχουν αρχίσει και απολαμβάνουν τους καρπούς της εξελιγμένης τεχνογνωσίας τους.

Τα παραπάνω κομβικά σημεία συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί (**Πιν. 3.1**).

**Πίνακας 3.1:** Τα σημαντικότερα ορόσημα στην ιστορία της εξέλιξης των φωτοβολταϊκών.

Χρονολογία	Γεγονός
1839	Ο Γάλλος Φυσικός Edmond Becquerel παρατηρεί το Φ/Β φαινόμενο
1873	Ο Willoughby Smith ανακαλύπτει την φωτοαγωγιμότητα του σεληνίου
1883	Ο Αμερικανός εφευρέτης Charles Fritts περιγράφει την κατασκευή των πρώτων Φ/Β στοιχείων από σελήνιο.
1915	Ο Πολωνός επιστήμονας Czochralski ανέπτυξε μια μέθοδο για την παραγωγή μονοκρυσταλλικού πυριτίου.
1954	Οι Rappaport, Loferski και Jenny από την εταιρεία RCA ανακοινώνουν την εφαρμογή του Φ/Β φαινομένου με υλικά από κάδμιο (Cd). Στα εργαστήρια Bell οι ερευνητές Pearson, Charin και Fuller ανακοινώνουν την επίτευξη απόδοσης Φ/Β πυριτίου. Σε λίγους μήνες η απόδοση έφτασε το 6%. Οι ερευνητές παρουσίασαν τα αποτελέσματα της δουλειάς τους στο επιστημονικό περιοδικό Journal of Applied Physics.
1955	Η εταιρεία Western Electric αρχίζει να διαθέτει εμπορικά δικαιώματα για εφαρμογές Φ/Β. Η Δ/ση Ημιαγωγών της εταιρείας Hoffman Electronics ανακοινώνει την εμπορική διάθεση Φ/Β με 2% απόδοση, κόστους \$25/στοιχείο, 14MW το

	καθένα δηλ. με κόστος ενέργειας \$1.500/W
1957	Η εταιρεία Hoffman Electronics κατασκευάζει Φ/Β στοιχεία με 8% απόδοση
1958	Εκτοξεύεται από τις Η.Π.Α. ο πρώτος δορυφόρος με Φ/Β Vanguard I, ο οποίος λειτούργησε για 8 χρόνια
1960	Η εταιρεία Hoffman Electronics κατασκευάζει Φ/Β στοιχεία με 14% απόδοση
1963	Στην Ιαπωνία εγκαθίσταται το μεγαλύτερο για την εποχή Φ/Β πεδίου 242W σε ένα φάρο
1964	Εκτοξεύεται από τις Η.Π.Α. το διαστημόπλοιο Nimbus εξοπλισμένο με Φ/Β 470W
1977	Η παγκόσμια παραγωγή Φ/Β ξεπερνάει τα 500 kW
1979	Το πρώτο Φ/Β σύστημα για οικισμό εγκαθίσταται από ερευνητικό κέντρο της NASA Lewis Research Center ισχύος 3,5 kW στον Ινδιάνικο οικισμό Parago στην Αριζόνα
1983	Η παγκόσμια παραγωγή Φ/Β ξεπερνάει τα 21,3 MW και οι πωλήσεις τα 250 εκατ. δολάρια
2004	Η παγκόσμια παραγωγή Φ/Β ξεπερνάει τα 1.200 MW

### 3.4 Γεωθερμία

Η γεωθερμική ενέργεια και τα θερμά νερά ήταν γνωστά ήδη από την αρχαιότητα. Στην αρχαία Ελλάδα, οι θερμές πηγές θεωρούνταν ότι είχαν θεραπευτικές ιδιότητες και γι' αυτό τα Ασκληπιεία και άλλοι ιεροί χώροι και ναοί, βρίσκονταν κοντά σ' αυτές. Το γεγονός αυτό διαπιστώνεται τόσο από Ομηρικά έπη όσο και από μεταγενέστερα κείμενα μεγάλων Ελλήνων φιλοσόφων, όπως ο Ηρόδοτος, ο Πλούταρχος, ο Πausanίας, ο Αριστοτέλης, ο Αθηναίος, ο Στράβων και πολλοί άλλοι. Ειδικότερα, ο Αριστοτέλης, ο Στράβων και ο Πλούταρχος αναφέρονται στα ιαματικά λουτρά της Αιδηψού με την ονομασία «θερμά» (Νίγδελης Π., 2007).

Σημαντικές είναι και οι αναφορές του Ιπποκράτη, που χρονολογούνται στο 460 με 375 π.Χ. περίπου, για τις ευεργετικές επιδράσεις των θερμών νερών. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι υπάρχουν πολλές παραστάσεις, κυρίως σε αγγεία, που συνδέουν τις θερμές πηγές με τη χρήση του νερού για ιαματικούς, ακόμη και για θρησκευτικούς, σκοπούς. Σε επίπεδο μυθολογίας, ο ημίθεος Ηρακλής υπήρξε μεταξύ άλλων προστάτης των θερμών πηγών και λουτρών, όπως συνάγεται για παράδειγμα από τις ιαματικές πηγές των Θερμοπυλών ή της Αιδηψού, για τις οποίες μάλιστα ο Στράβων χρησιμοποιεί την έκφραση «τα θερμά του Ηρακλέους» (Νίγδελης Π., 2007).

Στην αρχαία Ολυμπία, τουλάχιστον έξι (6) κτήρια της αρχαιότητας ήταν αμιγώς ή περιελάμβαναν λουτρικές εγκαταστάσεις. Ο σημαντικός αριθμός τους μαρτυρεί την σπουδαιότητα και αναγκαιότητα της ύπαρξής τους στο μέγιστης ακτινοβολίας αθλητικό και θρησκευτικό κέντρο της Ολυμπίας για την εξυπηρέτηση των χιλιάδων αθλητών και επισκεπτών που συνέρρεαν στον μεγαλοπρεπή Ναό του Διός της Ολυμπίας. Τα πρώτα λουτρά της Ολυμπίας, που είναι ταυτόχρονα από τα παλαιότερα εντοπισμένα στον Ελλαδικό χώρο, κατασκευάζονται ήδη από τον 5<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. κοντά στον ποταμό Κλαδέο, στην δυτική παρυφή του Ιερού. Αξίζει να σημειωθεί πως οι θερμές της Ολυμπίας, με τα χρωματιστά μάρμαρα στους τοίχους, τα ψηφιδωτά δάπεδα και τα πολλά δωμάτια, ανταποκρίνονται στο πνεύμα της εποχής τους που ήθελε τα κτήρια αυτά όχι απλώς λειτουργικά, όπως συνέβαινε στην κλασσική ή στην ελληνιστική εποχή, αλλά κυρίως χώρους αναψυχής και πολυτέλειας (Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Κρεστένων, 2012)

Οι θερμές πηγές νερού και η αξιοποίησή τους για λουτρά, ήταν ένα σύνηθες φαινόμενο και στις χώρες τις Ανατολής. Οι αρχαίοι ανατολικοί λαοί, και ειδικότερα οι γηγενείς της Κίνας και της Ιαπωνίας, είχαν γνωρίσει και χρησιμοποιούσαν ευρέως τις θερμές και ιαματικές πηγές της περιοχής τους, όπως σαφώς μαρτυρά πληθώρα αναφορών στη μυθολογία και την ιστορία των εν λόγω λαών. Ένα γνωστό παράδειγμα θερμών λουτρών είναι η πέτρινη πισίνα στο βουνό Lisan της Κίνας, η οποία κατασκευάστηκε κατά τη δυναστεία Qin τον 3<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ., στο ίδιο σημείο που χτίστηκε αργότερα το παλάτι Huaqing Chi.

Στα ρωμαϊκά και υστερορωμαϊκά χρόνια, τα λουτρικά συγκροτήματα ανεγείρονται το ένα μετά το άλλο. Τον 1<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. όταν οι Ρωμαίοι κατέκτησαν την Αγγλία, ήταν οι πρώτοι που ανακάλυψαν το μυστικό των περιφημων ιαματικών νερών της



σημερινής περιοχής Somerset, ιδρύοντας έτσι τη λουτρόπολη Aquae Sulis, η οποία στις μέρες μας είναι γνωστή με το όνομα Bath. Οι θερμές πηγές της πόλης χρησιμοποιήθηκαν για τα δημόσια λουτρά αλλά και για επιδαπέδια θέρμανση. Το κόστος χρήσης των συγκεκριμένων λουτρών θεωρητικά είναι η πρώτη εμπορική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας.

Παράλληλα, στην Κωνσταντινούπολη του 2<sup>ου</sup> αιώνα μ.Χ., ο Ρωμαίος αυτοκράτορας Σεπτίμιος Σεβήρος οικοδόμησε τα επονομαζόμενα Λουτρά του Ζευξίππου, τα οποία αποτελούσαν δημόσιο χώρο, ήταν ένα από τα μεγαλύτερα λουτρά της βυζαντινής πόλης και βρίσκονταν σε κεντρικό σημείο της Πόλης. Στην πλούσια διακόσμησή τους, με πλήθος αγαλμάτων, μωσαϊκών και προσωπογραφιών, υπήρχαν επίσης αναπαραστάσεις θεών και ημίθεων, προσωπογραφίες και ανδριάντες επιφανών Ελλήνων και Ρωμαίων ποιητών, φιλοσόφων, ιστορικών, στρατιωτικών και πολιτικών, καθώς και μυθολογικές μορφές εμπνευσμένες κυρίως από δύο κύκλους, τον Θηβαϊκό και τον Τρωϊκό (**Εγκυκλοπαίδεια Μείζονος Ελληνισμού, 2012, Ελληνική Βικιπαίδεια, 2012**).

Όμοια με τους αρχαίους Έλληνες, τα θερμά νερά είχαν ευρεία απήχηση στους Ρωμαίους και μάλιστα όχι μόνο για ιαματικούς σκοπούς αλλά και για τη θέρμανση οικιών. Ο Κλαύδιος Γαληνός (2<sup>ος</sup> αι. μ.Χ.), ο δεύτερος σπουδαιότερος ιατρός της αρχαιότητας μετά τον Ιπποκράτη και ο τελευταίος χρονικά από όλους τους σημαντικούς ιατρούς του ελληνορωμαϊκού κόσμου, αναφέρει πολύ συχνά στα έργα του τα θερμά λουτρά και τονίζει τις ευεργετικές τους ιδιότητες. Παράλληλα, εικάζεται πως διατηρούσε κάποια στοιχειώδη θερμοκήπια που εκμεταλλευόντουσαν τη γεωθερμική ενέργεια και έτσι ήταν σε θέση να προσφέρει φρούτα εκτός εποχής στους καλεσμένους του, τα οποία παρήγαγε ο ίδιος.

### 14<sup>ος</sup> – 19<sup>ος</sup> αιώνας

Το παλιότερο σύστημα γεωθερμικής θέρμανσης χρονολογείται στις αρχές του 14<sup>ου</sup> αιώνα μ.Χ. στη Γαλλία, και ειδικότερα στο χωριό Chaudes – Aigues. Το δίκτυο αποτελούταν από ξύλινους σωλήνες και είναι σε χρήση ακόμη και σήμερα. Πρωτεύουσα ενεργειακή πηγή για το δίκτυο ήταν η γεωθερμία (**Μοίρας Δ., 2009**). Στη σύγχρονη εποχή, η πρώτη βιομηχανική αξιοποίηση της γεωθερμίας πραγματοποιήθηκε στο Larderello της Ιταλίας, όπου από τις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα

χρησιμοποιούνταν υπέρθερμος φυσικός ατμός για την παραγωγή βορικού οξέος και για τη θέρμανση κτηρίων. Παράλληλα, στην ίδια περιοχή το 1904 έγινε η πρώτη επιτυχημένη προσπάθεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση φυσικού ατμού που έβγαине με δύναμη από τη γη και ήταν σε θέση να κινήσει μια γεννήτρια με τη βοήθεια στροβίλου. Το εργοστάσιο λειτουργεί μέχρι και σήμερα, παράγοντας 2,5 GWh / έτος.

Η πρώτη συστηματική αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών για θέρμανση χώρων, θερμοκηπίων και κτηρίων ξεκίνησε τη δεκαετία του 1920 στην Ισλανδία. Σήμερα, σχεδόν το 70% του πληθυσμού της Ισλανδίας αλλά και ολόκληρη η πρωτεύουσα της Ισλανδίας, το Reykjavik, θερμαίνονται εξ' ολοκλήρου με γεωθερμικά ρευστά, όπως οι θερμές πηγές και οι θερμοπίδακες της χώρας. Παράλληλα, υπάρχει πλήθος άλλων εφαρμογών της γεωθερμίας, όπως παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανση θερμοκηπίων και πισίνων, υδατοκαλλιέργειες, ξήρανση ορυκτών κ.ά. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί πως λόγω της κατάργησης της χρήσης πετρελαίου και άλλων ορυκτών καυσίμων για θέρμανση, το Reykjavik θεωρείται πως έχει την καθαρότερη ατμόσφαιρα πρωτεύουσας του κόσμου.

Οι **Εικόνες 3.18** και **3.19** δείχνουν την κατάσταση στο Reykjavik το 1932, όταν τα κτήρια θερμαίνονταν με συμβατικά καύσιμα, και σήμερα, αντιστοίχως.



**Εικόνα 3.17:** Φωτογραφία του Reykjavik το 1932, όταν τα κτήρια θερμαίνονταν με συμβατικά

καύσιμα (Πηγή: Ιστοσελίδα εταιρείας OPERAE, 2012).



**Εικόνα 3.18:** Σήμερα, το Reykjavik είναι από η πιο καθαρή πόλη στον κόσμο, αφού το σύνολο των κτηρίων θερμαίνεται από τα γεωθερμικά νερά. Η διαφορά στην ατμόσφαιρα είναι εμφανής (Πηγή: Ιστοσελίδα εταιρείας OPERAE, 2012).

Το παράδειγμα της Ισλανδίας μιμήθηκαν πολλές χώρες της Ευρώπης, της Αμερικής αλλά και της Ασίας. Σήμερα, ο αριθμός των χωρών που έχουν εμπλακεί σε θέματα αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας ξεπερνά τις 70. Τα πεδία εφαρμογής της γεωθερμίας ανά τον κόσμο δεν περιορίζονται στη θέρμανση κατοικιών αλλά επεκτείνονται και στον τομέα του τουρισμού, καθώς επίσης και σε καινοτόμες λύσεις για διευκόλυνση της καθημερινότητας. Ενδεικτικά αναφέρονται οι: Ρωσία, Ιαπωνία, Ν. Ζηλανδία, Φιλιππίνες, Ινδονησία, Μεξικό και Κένυα. Όσον αφορά στην Ευρώπη, οι χώρες που εμπλέκονται στην ηλεκτροπαραγωγή από αξιοποίηση της γεωθερμίας είναι η Ιταλία, η Γαλλία, η Γερμανία, η Ισπανία, η Πορτογαλία, η Ουγγαρία, η Σλοβακία, η Τουρκία αλλά και η Ελλάδα.

Ήδη από το έτος 2005, ο αριθμός των χωρών που έχουν αναπτύξει γεωθερμικές εφαρμογές χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας ανέρχεται στις 72 χώρες, κάτι που δηλώνει σημαντική πρόοδο σε σχέση με το έτος 1995, οπότε και είχαν αναφερθεί εφαρμογές μόνο σε 28 χώρες. Επιπρόσθετα, η εγκατεστημένη θερμική ισχύς γεωθερμικών μονάδων μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας ανήλθε το έτος 2007 στα

28.268 MW, παρουσιάζοντας αύξηση 75% σε σχέση με το έτος 2000, οπότε η μέση ετήσια αύξηση ήταν 12%.

Τα πρωτεία παγκοσμίως κρατούν οι Ηνωμένες Πολιτείες που για το 2010 ηγούνται στη γεωθερμική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με 3.086 MW εγκατεστημένης ισχύος από 77 σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η μεγαλύτερη ομάδα των γεωθερμικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής στον κόσμο βρίσκεται στην Καλιφόρνια, βόρεια του San Francisco, και ονομάζεται "The Geysers". Πρόκειται για ένα συγκρότημα 22 βιομηχανικών μονάδων παραγωγής ενέργειας που συγκεντρώνουν γεωθερμική ενέργεια από 350 σημεία. Ακολουθώντας τις Η.Π.Α., οι Φιλιππίνες είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός γεωθερμικής ενέργειας στον κόσμο, καλύπτοντας με αυτόν τον τρόπο περίπου το 18% των αναγκών της σε ηλεκτρική ενέργεια.

### **Ελλάδα**

Η έρευνα για την αναζήτηση γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα άρχισε ουσιαστικά το 1971 με βασικό φορέα το ΙΓΜΕ και μέχρι το 1979, δηλαδή πριν από τη δεύτερη ενεργειακή κρίση, αφορούσε μόνο τις περιοχές υψηλής ενθαλπίας. Η ΔΕΗ, όντας ο άμεσα ενδιαφερόμενος οργανισμός για την ηλεκτροπαραγωγή, ανέλαβε τις παραγωγικές γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας και παράλληλα χρηματοδότησε τις έρευνες για την εύρεση νέων περιοχών με έντονο γεωθερμικό ενδιαφέρον. Για το σκοπό αυτό συντάχθηκε ο προκαταρκτικός χάρτης γεωθερμικής ροής του ελληνικού χώρου, όπου φάνηκε ότι η γεωθερμική ροή στην Ελλάδα είναι σε πολλές περιοχές εντονότερη από τη μέση γήινη.

Λόγω κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, ο Ελλαδικός χώρος διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας, και μάλιστα σε οικονομικά βάθη που κυμαίνονται από 100 έως 1500m. Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτήρων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση. Ειδικότερα, τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα. Η συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να γίνει σημαντική, καθόσον αποτελούν ενεργειακό πόρο φιλικό στο περιβάλλον, κοινωνικά αποδεκτό και παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό και αναπτυξιακό ενδιαφέρον.

Από το 1971 και έπειτα ερευνήθηκαν πολλές περιοχές ανά την ελληνική επικράτεια, μεταξύ των οποίων και νησιά. Τα αποτελέσματα των ερευνών ήταν ιδιαίτερος ενθαρρυντικά, καθότι η Ελλάδα παρουσιάζει μεγάλο γεωθερμικό δυναμικό, έτοιμο προς αξιοποίηση. Ενδεικτικά αναφέρονται ορισμένες μόνο από τις περιοχές και τα νησιά όπου η γεωθερμική ενέργεια είναι ισχυρή: Μήλος, Νίσυρος, Λέσβος, Σαντορίνη, Κως, Μέθανα, Σουσάκι Κορινθίας, Καμένα Βούρλα, Θερμοπύλες, Υπάτη, Αιδηψός, Κίμωλος, Πολύαιγος, Νότια Θεσσαλία, Αλμωπία, περιοχή Στρυμόνα, περιοχή Ξάνθης, Σαμοθράκη και άλλες.

### **3.5 Ενέργεια από Βιομάζα**

Συνηθίζουμε να λέμε ότι η ιστορία χρήσης της βιομάζας ξεκίνησε περίπου 770.000 χρόνια πριν, όταν οι άνθρωποι των σπηλαίων ανακάλυψαν τη φωτιά. Είναι αλήθεια ότι αυτή μπορεί να θεωρηθεί η απαρχή της ιστορίας της βιομάζας, καθώς το ξύλο και τα υπόλοιπα υλικά οργανικής προέλευσης που χρησιμοποιούσαν είναι τα ίδια με αυτά που λογίζονται ως βιομάζα σήμερα. Οι μακρινοί πρόγονοί μας παρήγαγαν επιτυχώς ενέργεια θέρμανσης για τα σπίτια τους και ήταν σε θέση να μαγειρέψουν την τροφή τους. Επιπλέον, η χρήση της φωτιάς τους εξασφάλιζε προστασία από τα άγρια ζώα της εποχής και τους βοηθούσε στο να βλέπουν καλύτερα κατά τις βραδινές ώρες. Πολύ αργότερα, με την εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού, η φωτιά χρησιμοποιήθηκε για το λιώσιμο και διαμόρφωση του γυαλιού καθώς και τη μεταλλουργία, για κατασκευή εργαλείων και οπλισμού. Ακόμα και σήμερα, σε πολλές περιοχές του πλανήτη η βιομάζα χρησιμοποιείται για τους ίδιους ακριβώς σκοπούς. Ωστόσο, θα πρέπει να τονιστεί ότι κατά την εποχή εκείνη δεν υφίστατο ακόμα επισήμως ο ορισμός της βιομάζας.

### **Ελληνική μυθολογία**

Η σημασία της φωτιάς για τον άνθρωπο και την εξέλιξη του πολιτισμού του αποτυπώνεται έντονα στην αρχαιοελληνική μυθολογία. Σύμφωνα με αυτήν, ο βασιλιάς των θεών του Ολύμπου, Δίας, γνωρίζοντας τη μεγάλη αξία της φωτιάς θέλησε να την κρατήσει για τους θεούς. Ωστόσο, ο Τιτάνας Προμηθέας, βλέποντας την κατάντια του ανθρώπινου γένους και την αδυναμία του απέναντι στη φύση,

αποφασίζει να του χαρίσει τη φωτιά. Έτσι, επισκεπτόμενος το εργαστήρι του Ήφαιστου, τοποθετεί τη φωτιά σε ένα κούφιο καλάμι και τη δίνει κρυφά στους ανθρώπους, παραβαίνοντας την εντολή του Δία και επισύροντας την τιμωρία του.

Στην αρχαία Ελλάδα, κάθε σπίτι είχε ένα βωμό όπου έκαιγε φωτιά νύχτα και μέρα. Αν η φωτιά έσβηγε πίστευαν ότι κάποιο μεγάλο κακό θα συμβεί στο συγκεκριμένο σπίτι. Φωτιά αναμμένη μέρα και νύχτα υπήρχε και στους ναούς. Αν η φωτιά έσβηγε πίστευαν ότι κάποιο μεγάλο κακό θα πλήξει όλη την πόλη. Όταν ο πληθυσμός μιας πόλης μεγάλωνε πολύ, αποφασιζόταν να ιδρυθεί μια αποικία, δηλαδή μια νέα πόλη. Οι άποικοι, δηλαδή οι άνθρωποι που θα πήγαιναν να δημιουργήσουν την νέα πόλη, έπαιρναν μαζί τους φωτιά από τον ναό του προστάτη της μητέρας πόλης (της πόλης από την οποία έφευγαν). Όταν έφταναν στην καινούρια τους πατρίδα το πρώτο κτήριο που έφτιαχναν ήταν ο ναός μέσα στον οποίο τοποθετούσαν τη φωτιά. Αυτό πίστευαν ότι θα φέρει τύχη στην νέα πόλη και τους κατοίκους της. Η πράξη αυτή δήλωνε επίσης την συγγένεια της αποικίας με την μητέρα πόλη.

### **Σύγχρονη ιστορία**

Η βιομάζα έρχεται στο προσκήνιο τη δεκαετία του 1970, όταν η ανεξέλεγκτη αύξηση των τιμών των ορυκτών καυσίμων στρέφει το ενδιαφέρον προς τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Το κόστος των ορυκτών καυσίμων την εποχή εκείνη εκτινάσσεται με τις ολοένα και αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις της κοινωνίας. Παράλληλα, τα αποθέματα δεν είναι πλέον άφθονα και η έρευνα για τον εντοπισμό τους κοστίζει ακριβά. Οι επιστήμονες και οι ερευνητές ενώνουν τις δυνάμεις τους για να βρουν έναν οικονομικότερο τρόπο παραγωγής ενέργειας. Την ίδια εποχή, πραγματοποιείται πείραμα κατά το οποίο όχημα καταφέρνει να κινηθεί με τη χρήση προϊόντων *απαερίωσης*, μιας διαδικασίας που μετατρέπει τη βιομάζα σε χρήσιμη ενέργεια

Το 1975 υιοθετείται και επισήμως ο όρος «βιομάζα», ενώ τρία χρόνια αργότερα, το 1978, οι Η.Π.Α. ασχολούνται σοβαρά με την κουβέντα γύρω από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το Κογκρέσο ψηφίζει νομοσχέδιο Ρυθμιστικών Πολιτικών για τις Δημόσιες Υπηρεσίες, ενισχύοντας την ανάπτυξη των ΑΠΕ.

Η εφεύρεση θερμαντήρων και φούρνου βιομάζας αποτέλεσε ένα άλλο ορόσημο στην ιστορία της βιομάζας. Η θερμότητα παράγεται με την καύση υπολειμμάτων ξύλου και πριονιδιού. Παρ' ότι η ιδέα αυτή πρωτοεμφανίστηκε τη δεκαετία του 1930, γνώρισε

ευρείας αποδοχής μόλις τη δεκαετία του 1970 ενώ η μετέπειτα ανάπτυξη πιο συμβατών και ισχυρών μοντέλων ήρθε τη δεκαετία του 1980.

Το ίδιο διάστημα, πραγματοποιείται όλο και μεγαλύτερη πρόοδος πάνω στο θέμα της βιομάζας. Εγκαθίστανται υποδομές για γεννήτριες που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το ξύλο. Το 1982 και το 1983 δημιουργήθηκαν μικρές εγκαταστάσεις ικανές να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα από υλικά βιομάζας όπως υπολείμματα ξύλου. Αρχικά, τα εργοστάσια χρησιμοποιούσαν μόνο κατάλοιπα από πριονιστήρια, ενώ αργότερα προστίθενται και τα παραπροϊόντα της αποψίλωσης δασικών εκτάσεων, γεωργικά προϊόντα, υπολείμματα ξύλου από τις οικιστικές δραστηριότητες για την παραγωγή ενέργειας. Μέσα στην ίδια δεκαετία, το Γραφείο Εκτίμησης Τεχνολογίας (Office of Technology Assessment, OTA) των Η.Π.Α. εκτιμά ότι είναι δυνατή η κάλυψη του 25% της εγχώριας ενεργειακής ζήτησης με την ενίσχυση της χρήσης ενέργειας βιομάζας.

Ωστόσο, η δεκαετία του 1990 δυσκολεύει την κατάσταση για τη χρήση βιομάζας με την αποδόμηση των θεσμών και την επαναφορά των τιμών των ορυκτών καυσίμων. Τα εργοστάσια βιομάζας αδυνατούν να ανταγωνιστούν τις νέες τάσεις και πολλά από αυτά οδηγούνται σε κλείσιμο.

Με την έλευση του 2000 έρχεται και η μεγαλύτερη βελτίωση στην ιστορία της βιομάζας. Αναπτύσσονται προγράμματα που επιτρέπουν τη συμπαραγωγή ενέργειας από βιοκαύσιμα και συμβατικά καύσιμα με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης των ορυκτών πόρων. Επιπλέον, εντάθηκε η έρευνα για καλλιέργειες που θα μπορούν να αναπτυχθούν με σκοπό τη χρήση τους στην ηλεκτροπαραγωγή.

Η ιστορία της βιομάζας εξελίχθηκε ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες και συνεχίζει να βελτιώνεται ακόμα και σήμερα. Στις μέρες μας υπάρχουν ακόμα πιο σύγχρονοι τρόποι χρήσης της ενέργειας βιομάζας. Ήδη ο θερμαντήρας βιομάζας είναι σε θέση να παράγει στιγμιαία φλόγα, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οικιακούς ή και βιομηχανικούς σκοπούς. Επιπλέον, εμφανίστηκε η καινοτόμος ιδέα του πελλετοποιητή βιομάζας: τα πέλλετς προορίζονται για κατάλληλους φούρνους που χρησιμοποιούνται στους κλιβάνους και τους λέβητες. Ακόμα, αναπτύχθηκε ο ξηραντής βιομάζας για τη μεγιστοποίηση της υγρασίας που απομακρύνεται από το ξύλο και τα άλλα υλικά βιομάζας, καθιστώντας τα ακόμα πιο αποτελεσματικά για καύση.

Μερικά από τα σημαντικότερα σημεία στην πιο σύγχρονη ιστορία της βιομάζας παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίν. 3.2).

**Πίνακας 3.2:** Τα σημαντικότερα βήματα στην εξέλιξη της χρήσης βιομάζας τα νεότερα χρόνια.

Χρονολογία	Γεγονός
1812	Μια εταιρεία φυσικού αερίου στο Λονδίνο (Αγγλία) εφαρμόζει την πρώτη εμπορική χρήση της πυρόλυσης, θερμαίνοντας βιομάζα σε ένα περιβάλλον χωρίς οξυγόνο για την παραγωγή υγρού ελαίου.
1840	Η πρώτη μηχανή παραγωγής ατμού με βιομάζα για εμπορική χρήση κατασκευάζεται στη Γαλλία.
Δεκαετία 1860	Το ξύλο αποτελεί το πρωταρχικό καύσιμο για θέρμανση και μαγείρεμα σε σπίτια και επιχειρήσεις καθώς επίσης χρησιμοποιείται για την ατμοκίνηση στη βιομηχανία και στις μεταφορές τραίνων και πλοίων
Δεκαετία 1870	Μηχανές παραγωγής ατμού χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με μηχανές για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος
1876	Ο «Κύκλος Otto», εφεύρεση του Γερμανού επιστήμονα Nicolaus August Otto, αποτελεί την πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιεί ως καύσιμο μίγμα βενζίνης – αιθανόλης
Δεκαετία 1880	Ο Henry Ford χρησιμοποιεί αιθανόλη για να τροφοδοτήσει ένα από τα πρώτα αυτοκινούμενα οχήματά του, το τετράκυκλο
Δεκαετία 1890	Το κάρβουνο αντικαθιστά σταδιακά το ξύλο στην παραγωγή ατμού
1900	Φυτικά έλαια χρησιμοποιούνται ως ντιζελοκαύσιμο και ο Γερμανός εφευρέτης Rudolf Diesel επιδεικνύει τη λειτουργία ντιζελομηχανής με φυστικέλαιο
1908	Κατά το σχεδιασμό του οχήματος «Μοντέλο T», ο Henry Ford αναμένει να χρησιμοποιείται από τους αυτοκινητιστές ως κύριο



- καύσιμο η αιθανόλη. Κατασκευάζει ένα εργοστάσιο ζύμωσης στο Atchison, (Κάνσας) για την παραγωγή της
- Δεκαετία 1910 Το ξύλο παραμένει κύριο καύσιμο στις αγροτικές κατοικίες της Βόρειας Αμερικής αλλά το κάρβουνο αρχίζει να το αντικαθιστά στα σπίτια των πόλεων
- Δεκαετία 1930 Η κηροζίνη και το μαζούτ αρχίζουν να αντικαθιστούν το ξύλο ως κύρια πηγή ενέργειας
- Στις Η.Π.Α., η αιθανόλη τροφοδοτεί τα αυτοκίνητα τη δεκαετία του 1920 και 1930. Τη δεκαετία του '30, περισσότερα από 2000 σταθμοί καυσίμων στις αμερικανικές Μεσοδυτικές Πολιτείες πωλούν «Gasohol» (αιθανόλη προερχόμενη από καλαμπόκι)
- Δεκαετία 1940 Μετά το 2<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Πόλεμο, η βιομηχανία αιθανόλης των Η.Π.Α. κλείνει με την έλευση του φτηνού και άφθονου πετρελαιοκαυσίμου
- Δεκαετία 1950 Ηλεκτρισμός και φυσικό αέριο αντικαθιστούν το ξύλο ως πηγή θέρμανσης στα περισσότερα σπίτια και εμπορικά κτήρια
- Δεκαετία 1970 Ανησυχίες για τα αποθέματα αργού πετρελαίου και την υποβάθμιση του περιβάλλοντος ανανεώνουν το ενδιαφέρον προς την αιθανόλη και άλλες πηγές ενέργειας από βιομάζα. Οι κυβερνήσεις ξεκινούν να χρηματοδοτούν την έρευνα όσον αφορά τη μετατροπή της βιομάζας σε χρήσιμη ενέργεια και καύσιμα
- Εταιρείες όπως η Chevron, η Texaco και η Amoco Oil Company ξεκινούν την εμπορεία καυσίμων – μιγμάτων αιθανόλης στους Αμερικανούς καταναλωτές
- Δεκαετία 1980 Το υψηλό κόστος ενέργειας δημιουργούν νέο ενδιαφέρον στην παραγωγή ενέργειας από βιομάζα στον Καναδά. Στην ανατολική πλευρά του Καναδά, για παράδειγμα, μεγάλα ινστιτούτα και σχολεία τροποποιούν τα συστήματα τηλεθέρμανσης ώστε να χρησιμοποιούν υπολείμματα ξύλου
- Εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από βιομάζα

κατασκευάζονται στη Β. Αμερική

Στην Καλιφόρνια αναπτύσσεται ευρέως η βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Μέχρι το 1985, η Πολιτεία έχει 850 MW εγκατεστημένης ισχύος από βιομάζα

Δεκαετία 1990 Όσο η δημόσια ανησυχία για περιβαλλοντικά θέματα (όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση και η κλιματική αλλαγή) μεγαλώνει, κυβερνήσεις σε Καναδά και αλλού δείχνουν αυξανόμενο ενδιαφέρον στη χρήση ανανεώσιμης ενέργειας, όπως η βιομάζα, για να μειώσουν τα αέρια του θερμοκηπίου και άλλες εκπομπές αερίων

1990 Στις Η.Π.Α., το Κίνημα Clean Air υπαγορεύει την πώληση οξυγονωμένων καυσίμων (όπως μίγματα βενζίνης με αιθανόλη) σε περιοχές της χώρας με αυξημένα επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα. Το Κίνημα βοηθά την ταχεία εξάπλωση της χρήσης αιθανόλης στα καύσιμα των μεταφορών. Η παραγωγή αιθανόλης αυξάνεται από 175 εκ. γαλόνια (~ 663 εκ. λίτρα) το 1980 σε 2,8 δις γαλόνια (~ 10,6 δις λίτρα) το 2003

Αυξημένη ανησυχία για το περιβάλλον και αλλαγές στις κυβερνητικές πολιτικές υποκινούν την παραγωγή βιοκαυσίμων στην Ευρώπη και τις Η.Π.Α.

Σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, η κατανάλωση ενέργειας από βιομάζα αποτελεί περίπου το 6,7% της συνολικής παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας

1992 Η Καναδική κυβέρνηση χορηγεί έμμεση φοροαπαλλαγή για την αιθανόλη που χρησιμοποιείται στα μίγματα καυσίμων

2000 Έρευνα του Διεθνούς Φορέα Ενέργειας (International Energy Agency) σε 133 χώρες δείχνει το μερίδιο της βιομάζας στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση στο 10,5%

### 3.6 Ενέργεια Ωκεανών

Η ιδέα για την εκμετάλλευση του θαλάσσιου κυματισμού δεν είναι νέα. Για πολλούς αιώνες ο άνθρωπος έψαχνε λύσεις έτσι ώστε να εκμεταλλευτεί τον ωκεανό. Μέχρι που το 1799 ένας Γάλλος (Girard) συνεργάστηκε με τον γιο του, για να σχεδιάσει ένα γιγαντιαίο μοχλό που ήταν συνδεδεμένος με ένα πλοίο. Καθώς το πλοίο έπλεε πάνω στη θάλασσα μετακινούσε τον μοχλό πάνω – κάτω, δημιουργώντας μια παλινδρομική κίνηση που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία αντλιών και μύλων που βρίσκονταν στην ακτή. Η ιδέα ναυάγησε όταν αναδείχθηκε η ατμομηχανή ως η προτιμώμενη μέθοδος για την παραγωγή μηχανικής εργασίας.

Σχεδόν εκατό χρόνια αργότερα, ένας άλλος Γάλλος πρότεινε μια διαφορετική τεχνική: να χρησιμοποιηθεί η θερμική ενέργεια που αποθηκεύεται στους ωκεανούς της Γης για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Λίγες εγκαταστάσεις χτίστηκαν για να δοκιμαστεί αυτή η ιδέα, διότι δεν ήταν οικονομικά ανταγωνιστική με τις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η πρώτη πραγματική επιτυχία ήρθε το 1966, όταν ένα παλιρροϊκό εργοστάσιο άνοιξε στη Γαλλία στον ποταμό Rance. Σήμερα, ο σταθμός παράγει 240MW ηλεκτρικής ισχύος, καλύτερα και από ένα τυπικό αιολικό πάρκο, αλλά λιγότερο από ένα εργοστάσιο άνθρακα. Η συντονισμένη έρευνα στον τομέα της εκμετάλλευσης της θαλάσσιας ενέργειας ξεκίνησε στη δεκαετία του 1970, μετά τη μεγάλη πετρελαϊκή κρίση. Σήμερα πλέον οι προσπάθειες των προηγούμενων δεκαετιών έχουν αρχίσει να αποδίδουν καρπούς.

Μόνο άλλα δυο παλιρροϊκά εργοστάσια είχαν ανάλογο εμπορικό αντίκτυπο με αυτό του La Rance. Το πρώτο, ισχύος 20MW, είναι στη Νέα Σκωτία, στον κόλπο του Fundy και το δεύτερο ισχύος 0,5MW βρίσκεται στη Ρωσία.

#### 3.6.1 Κυματική Ενέργεια

Η εντατική έρευνα για την κυματική ενέργεια άρχισε τη δεκαετία του 1970 όταν η πετρελαϊκή κρίση κίνησε το ενδιαφέρον προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Εκείνη την περίοδο, έγιναν προτάσεις για πολλές και διάφορες διατάξεις κυματικής ενέργειας, αλλά η επιτυχία, σε γενικές γραμμές, υπολείπεται των προσδοκιών. Σε πολλές περιπτώσεις, υποτιμήθηκε κατά ένα μεγάλο μέρος η καταστρεπτική δύναμη

των ωκεάνιων κυμάτων, ενώ οι πρώιμες συσκευές μετατροπής της ενέργειας των κυμάτων δεν είχαν πάντοτε δείξει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ως συνέπεια, όταν παρήλθε η ενεργειακή κρίση, το ενδιαφέρον για την κυματική ενέργεια χάθηκε και στις αρχές της δεκαετίας του 1980 πολλές από τις δοκιμές διεκόπησαν.

Η διακοπείσα έρευνα οδήγησε, από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, στην εγκατάσταση παράκτιων πρωτότυπων συσκευών. Η εξέλιξη των τεχνολογιών εξακολούθησε να είναι αργή έως τις αρχές του τρέχοντος αιώνα, με τη νέα ώθηση που δόθηκε στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η έρευνα και ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας σημειώνει αξιοσημείωτη αναβάθμιση από το 2000, ως αποτέλεσμα της ευρωπαϊκής αναζήτησης για σημαντική αύξηση της παραγωγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Βέβαια, η επιτυχία του τομέα αιολικής ενέργειας συνέβαλε στην νέα προσπάθεια μετατροπής της ενέργειας που περικλείεται στα ωκεάνια κύματα.

Έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές τεχνολογίες για τις επάκτιες, παράκτιες και υπεράκτιες εφαρμογές, με την τελευταία να αποτελεί πόλο ενδιαφέροντος για πολλές από τις υπό δοκιμή νέες συσκευές, λόγω των μεγαλύτερων επιπέδων ενέργειας στα υπεράκτια βαθιά ύδατα.

### **3.6.2 Παλιρροιακή Ενέργεια**

Η αξιοποίηση της παλιρροιακής ενέργειας χρονολογείται από εκατοντάδες χρόνια πριν, αφού με τα νερά που δεσμεύονταν στις εκβολές ποταμών από την παλίρροια, κινούνταν νερόμυλοι.

Οι υδροηλεκτρικοί παλιρροιακοί σταθμοί είναι τεχνολογικά σχετικά πρόσφατοι και χρονολογούνται από το 1960. Ο πρώτος παλιρροιακός σταθμός κατασκευάστηκε στον ποταμό La Rance στις ακτές της Βορειοδυτικής Γαλλίας το 1966 και οι υδροστρόβιλοί του μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια καθώς το νερό κινείται κατά τη μια ή την άλλη κατεύθυνση. Η εγκατεστημένη ισχύς του είναι στα 240MW και η σημερινή μέση παραγωγή του είναι περίπου 0,5TWh. Άλλοι τέτοιοι σταθμοί λειτουργούν στη Ρωσία, στη θάλασσα Barents και στον κόλπο Fundy της Νέας Σκωτίας (18MW).

### **Παραγωγή ενέργειας από παλίρροιες**

Οι παλίρροιες αποτελούσαν ένα φαινόμενο γνωστό, ήδη εκατοντάδες χρόνια πριν τη σημερινή εποχή. Η παρατήρηση της περιοδικής ανόδου και καθόδου της στάθμης των νερών οδήγησε τον άνθρωπο από νωρίς σε σκέψεις και κινήσεις αξιοποίησης της φυσικής αυτής διαδικασίας, προκειμένου να εξυπηρετήσει πολλές από τις ανάγκες της καθημερινότητας. Σταδιακά, ωστόσο, το ενδιαφέρον για την παραγωγή ενέργειας από τις παλίρροιες ελαττώθηκε αισθητά καθότι το χαμηλό τεχνολογικό επίπεδο της μεσαιωνικής εποχής και των περιόδων που ακολούθησαν δεν επέτρεπε την υλοποίηση των πρωτότυπων ιδεών και άρα την ουσιαστική ανάπτυξη του κλάδου.

Το σκηνικό φαίνεται να μεταβάλλεται μόλις τον 20<sup>ο</sup> αιώνα, οπότε με την ανάπτυξη των υδραυλικών τουρμπίνων και των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζονται νέες προοπτικές αξιοποίησης των παλιρροιών. Η τυπική διάταξη των σταθμών ενέργειας αρχικά είναι αρκετά απλή και οι δυνατότητες υποστήριξης των δημόσιων δικτύων ηλεκτροδότησης, περιορισμένες. Εντούτοις, ο κλάδος της ηλεκτροπαραγωγής από παλίρροιες συνεχώς αναπτύσσεται εν όψει των προβλημάτων που ανακύπτουν και πρέπει να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά.

Ο Γαλλικός Σταθμός Παλιρροιακής Ενέργειας εγκαταστάθηκε το 1966 στην εκβολή του ποταμού La Rance στη Βρετάνη της Γαλλίας, πλησίον της πόλης Dinard και ουσιαστικά αποτελεί τον πρώτο παλιρροιακό σταθμό αυτόνομης ηλεκτροδότησης ενός δημοσίου δικτύου. Μέσα στην ίδια δεκαετία ξεχωρίζει η αξιόλογη πρόοδος στην τότε Ε.Σ.Σ.Δ. με την κατασκευή ενός παλιρροιακού σταθμού μικρότερης όμως κλίμακας, στον κόλπο Kislaya της Λευκής Θάλασσας. Η τεχνογνωσία που αποκτήθηκε από τους εν λόγω σταθμούς οδήγησε στην κατασκευή παλιρροιακών σταθμών ενέργειας που λειτουργούν με επιτυχία μέχρι σήμερα.

### **Ιστορικές αναφορές του μακρινού παρελθόντος**

Η περιοδικότητα των παλιρροιών είναι γνωστή στους ναυτιλλόμενους ήδη από την αρχαιότητα. Τα χρόνια εκείνα, οι πληθυσμοί που κατοικούσαν μόνιμα σε παράκτιες περιοχές ανά τον κόσμο είχαν γνωρίσει, βιώσει και προσαρμοστεί στο φαινόμενο αυτό. Εν τούτοις, εύκολα ίσως εξηγείται το γεγονός ότι οι Αρχαίοι Έλληνες, δίχως αμφιβολία εξαιρετοι φιλόσοφοι και παρατηρητές γήινων φαινομένων, δεν αναφέρονται σχεδόν καθόλου στις θαλάσσιες παλίρροιες καθότι η Μεσόγειος ακόμα και σήμερα δεν παρουσιάζει ακραίες τιμές ανύψωσης ή κατάπτωσης της θαλάσσιας

στάθμης από το μέσο επίπεδο. Για το λόγο αυτό, όταν οι αρχαίοι Έλληνες έπλευσαν σε περιοχές με έντονες παλίρροιες, ο ελληνικός στόλος υπέστη μεγάλες καταστροφές, με κλασικότερο ίσως παράδειγμα την απώλεια του μεγαλύτερου τμήματος της ναυτικής δύναμης του Μεγάλου Αλεξάνδρου στις εκβολές του Ινδού ποταμού.

Η γνώση για τις παλίρροιες υπήρχε από νωρίς στην ανθρώπινη ιστορία όμως οι χρήσιμες μηχανές παραγωγής ενέργειας από παλίρροιες χρονολογούνται πολύ αργότερα, στην μεσαιωνική περίοδο. Οι μηχανές αυτές, οι λεγόμενοι παλιρροιακοί μύλοι, είναι απλοί τροχοί που μπορούν να τεθούν σε κίνηση από το νερό που συλλέγεται με τη βοήθεια ξύλινων φτερωτών σε ειδικές δεξαμενές όταν η στάθμη είναι η ανώτατη (πλήμμη), και απελευθερώνεται όταν η στάθμη του νερού υποχωρεί (ρηχία). Αν και τα προβλήματα που παρουσίαζαν οι τροχοί στην πράξη ήταν πολλά, εντούτοις μπορούσαν να ανταπεξέλθουν στις δύσκολες περιόδους ξηρασίας σε αντίθεση με τους παραποτάμιους υδρόμυλους που σταματούσαν εκ των πραγμάτων τη λειτουργία τους.

Οι ποικίλες γραπτές αναφορές για τους παλιρροιακούς μύλους αποδίδουν τη θέση που αυτοί κατείχαν στην τοπική οικονομία. Στην Αγγλία, το έτος 1085 – 1086 πραγματοποιήθηκε απογραφή κάθε περιουσιακού στοιχείου της επικράτειας υπό την εντολή του Γουλιέλμου του Κατακτητή και τα αποτελέσματα αυτής καταγράφηκαν στο Domesday Book, ένα έγγραφο μεγάλης σημασίας που φυλάσσεται στις μέρες μας στο Βρετανικό Μουσείο. Μεταξύ άλλων, υπάρχει σαφής αναφορά σε έναν παλιρροιακό μύλο, ο οποίος ήταν εγκατεστημένος στο λιμάνι του Dover. Παρόμοιες αναφορές έχουν υπάρξει για παλιρροιακούς μύλους που τοποθετούνταν στις εκβολές των ποταμών της Βρετανίας αλλά και της Γαλλίας κατά τη μεσαιωνική περίοδο. Η χρήση των παλιρροιακών μύλων παρέμεινε ακέραια στα χρόνια που ακολούθησαν, ενώ παράλληλα η φήμη τους έφτασε μέχρι τις ακτές του Νέου Κόσμου. Από τις γραπτές αναφορές που σώζονται μέχρι σήμερα γίνεται σαφής η ύπαρξη ενός τέτοιου μύλου στο Brooklyn της Νέας Υόρκης, κατασκευασμένου από Ολλανδούς αποίκους το 1617, και αντίστοιχα στη Μασαχουσέτη το 1734, ο οποίος χρησιμοποιείται στην τριβή μπαχαρικών.

Στα πλαίσια του ενδιαφέροντος για την αξιοποίηση της ενέργειας των παλιρροιών, πολλοί μεταγενέστεροι εφευρέτες επιχείρησαν να επινοήσουν νέους πιθανούς τρόπους για τη μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης. Μία από τις επικρατούσες ιδέες στην Ευρώπη του 17<sup>ου</sup> και 18<sup>ου</sup> αιώνα ήταν να χρησιμοποιηθεί η βαρυτική

διακύμανση λόγω ανόδου και καθόδου της στάθμης του νερού, και στη βάση αυτή εφαρμόστηκαν πολλές ευρεσιτεχνίες για τέτοιου είδους κατασκευές. Μια άλλη κοινή ιδέα ήταν η χρήση της διακύμανσης της στάθμης της θαλάσσιας επιφάνειας για τη συμπίεση αέρα σε μεγάλα μεταλλικά δοχεία και τη μετέπειτα χρήση του για την κίνηση μηχανών αέρα. Ωστόσο, καμία από τις ιδέες αυτές δεν ήταν πρακτικά εφαρμόσιμη σε μεγάλη κλίμακα, με αποτέλεσμα ο τομέας της αξιοποίησης της ενέργειας από παλίρροιες να περιέλθει σε τέλμα.

### **Η εξέλιξη των σταθμών ενέργειας στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα**

Η ανάπτυξη των υδραυλικών τουρμπίνων και των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα αποτέλεσε το έναυσμα για να επιστρέψει δυναμικά στο προσκήνιο το ζήτημα της αξιοποίησης της ενέργειας από παλίρροιες. Η ιδέα να περιφραχτούν ολόκληρες εκβολές με υδροφράκτες και να κατασκευαστούν μεγάλοι σταθμοί ενέργειας με πολλές στροβίλο – γεννήτριες έγινε αμέσως ευπρόσδεκτη. Η αρχή λειτουργίας είναι αρκετά απλή: η ανερχόμενη παλίρροια «εγκλωβίζεται» σε μια φυσική δεξαμενή πίσω από έναν μοναδικό υδροφράκτη και μόλις επέλθει η ρηγία, το έγκλειστο νερό απελευθερώνεται πάνω σε στροβίλους, παράγοντας μέσω της κίνησής τους ηλεκτρισμό.

Ωστόσο, η απόδοση σε ισχύ και ενέργεια των σταθμών που στηρίζονται στη μέθοδο της μονής κατεύθυνσης είναι περιορισμένη, καθότι οι πέντε (5) ώρες παραγωγής προϋποθέτουν περίπου επτά (7) ώρες αναμονής για την αναπλήρωση του νερού. Η λύση δόθηκε με το σκεπτικό να υποβοηθάται η διαδικασία συλλογής του νερού στη δεξαμενή χρησιμοποιώντας έναν μεγάλο αριθμό θυροφραγμάτων. Πολύ αργότερα στην ιστορική εξέλιξη της παλιρροιακής ενέργειας τα θυροφράγματα αντικαταστάθηκαν με τη χρήση στροβίλων – γεννητριών ως αντλίες – κινητήρες, καθότι αποτελούσαν μια οικονομικότερη συγκριτικά λύση στην κατασκευή των σταθμών ενέργειας.

Μετά το λειτουργικό σύστημα μονής κατεύθυνσης, προτάθηκε η λειτουργία διπλής κατεύθυνσης του νερού σε έναν ενεργειακό σταθμό. Ειδικότερα, επιτυγχάνεται παραγωγή ενέργειας όχι μόνο με την απελευθέρωση του νερού από τη δεξαμενή αλλά και με την εισαγωγή του σε αυτήν, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μία εκβολή. Ωστόσο, για την πραγματοποίηση μιας τέτοιας

λειτουργίας απαιτούνται ισχυρότερες τουρμπίνες λόγω της χαμηλής υδραυλικής πίεσης στους στροβίλους, και άρα αυξάνεται παράλληλα το κόστος κατασκευής του σταθμού ενέργειας. Επιπρόσθετα, ούτε η παραπάνω βελτίωση της τυπικής διάταξης των σταθμών ενέργειας φαίνεται να επιλύει το κύριο μειονέκτημα της παλιρροιακής ενέργειας: την περιοδικότητα.

Τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας σχεδιάζονται έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στην προβλεπόμενη ζήτηση σε ενέργεια και στις μαζικές ενεργειακές απαιτήσεις. Ωστόσο, λόγω της φύσης του φαινομένου της παλίρροιας, η ισχύς και η ενέργεια στον σταθμό αναπτύσσονται κατά διαστήματα και σε περιοδικό κύκλο, ο οποίος δεν συμβαδίζει με τον κύκλο της δημόσιας ζήτησης, δηλαδή αυτόν της ηλιακής ημέρας. Μια πηγή ενέργειας που αποτυγχάνει να εγγυηθεί ενέργεια σε περιόδους αιχμής της ζήτησης του συστήματος σαφέστατα αποτελεί μια μη συμφέρουσα εναλλακτική λύση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Προκειμένου λοιπόν, να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της περιοδικότητας προτάθηκε η χρήση πολλαπλών φυσικών δεξαμενών (Δουκάκης, 1998).

Η μέθοδος των πολλαπλών δεξαμενών μπορεί να εξασφαλίσει συνεχόμενη παραγωγή ενέργειας με την αποθήκευση της δυνητικής ενέργειας του νερού, παρόλο που το μέγεθός της θα αυξομειώνεται σε όλη τη διάρκεια του μήνα. Η διακύμανση της απόδοσης ισχύος εξαρτάται από τις σχετικές διαστάσεις των δεξαμενών και την χωρητικότητά τους. Λόγω της αστάθειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ένας παλιρροιακός σταθμός δεν είναι σε θέση να ανταπεξέλθει με αυτόνομο τρόπο στις μαζικές ενεργειακές απαιτήσεις ενός σύγχρονου ηλεκτρικού δικτύου, το οποίο διπλασιάζεται σε μέγεθος ανά 10 έτη. Εν τούτοις, η πολυτιμότερη συνεισφορά της παλιρροιακής ενέργειας είναι η υποστήριξη του δικτύου μέσω της κάλυψης των αναγκών αιχμής του συστήματος, γεγονός που επιτρέπει στις συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας και κύριους τροφοδότες τους συστήματος, να βελτιώσουν την απόδοσή τους.

### **Ο Παλιρροιακός Σταθμός στον ποταμό La Rance της Γαλλίας**

Εξαίρεση στον καθιερωμένο υποστηρικτικό χαρακτήρα των παλιρροιακών σταθμών αποτελεί το πρώτο στον κόσμο μεγάλης κλίμακας εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από παλίρροιας που είναι σε θέση να στηρίξει αυτόνομα ένα δημόσιο



δίκτυο ηλεκτροδότησης. Η κατασκευή του εργοστασίου πραγματοποιήθηκε, όπως είπαμε και νωρίτερα, στα μέσα της δεκαετίας του '60, στις εκβολές του ποταμού La Rance στη Βρετάνη της Γαλλίας και η ολοκλήρωσή του υπήρξε ιστορικό επίτευγμα και αέναος φόρος τιμής στη φαντασία και την εφευρετικότητα των σχεδιαστών του.

Η εγκατεστημένη ισχύς του σταθμού εκτιμάται στα 240MW. Η λειτουργία του στηρίζεται σε ένα σύστημα αντλιο – στροβίλων με δυνατότητα μεταβολής της φοράς άντλησης μεταξύ δεξαμενής και ανοιχτής θάλασσας. Η ισχύς των στροβίλων είναι αρκετά μεγάλη, γεγονός που επιτρέπει στη δεξαμενή να γεμίσει έως μια στάθμη σαφώς υψηλότερη από αυτήν που θα γέμιζε όταν η στάθμη του νερού λόγω παλίρροιας θα ήταν η ανώτατη δυνατή. Η περαιτέρω άντληση του νερού απαιτεί κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία παρέχεται στον σταθμό από το δίκτυο σε ώρες που η κατανάλωση είναι αισθητά χαμηλότερη της μέγιστης ημερήσιας ζήτησης.

Όταν η πλημμυρίδα ή η άμπωτη συμπίπτουν χρονικά με τη μέγιστη ζήτηση του συστήματος ο παλιρροϊκός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής λειτουργεί σαν γεννήτρια και κατά συνέπεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εφεδρικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής. Σε περιόδους του μήνα που η στάθμη του νερού είναι σε κανονικά επίπεδα, η δυνητική ενέργεια του νερού που είναι αποθηκευμένη στο εργοστάσιο χρησιμοποιείται, με σκοπό να παραχθεί η απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια που θα διοχετευτεί στο σύστημα ηλεκτροδότησης με σκοπό να υποστηρίξει τις στις συμβατικές μονάδες παραγωγής ενέργειας.

Για πρώτη φορά λοιπόν, έγινε εφικτή η οικονομική εφαρμογή ηλεκτρικών παλιρροιακών σταθμών ως πηγή σταθερής ισχύος στην κάλυψη της ζήτησης σε ένα δημόσιο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (Δουκάκης, 1998). Ωστόσο, παρά την επιτυχία του σταθμού αυτού στον ποταμό La Rance, έκτοτε δεν χτίστηκε ανάλογος σταθμός για την ηλεκτροπαραγωγή από παλίρροιας. Το κόστος κατασκευής του συγκεκριμένου παλιρροιακού σταθμού στα μέσα της δεκαετίας του '60 κυμάνθηκε ανάμεσα στα 420 με 500 εκατομμύρια φράγκα, ποσό 2,5 φορές μεγαλύτερο από το κόστος συμβατικού ποτάμιου υδροηλεκτρικού σταθμού της ίδιας ισχύος. Επιπρόσθετα, λόγοι προστασίας του περιβάλλοντος και των φυσικών βιότοπων στην εκάστοτε τοποθεσία του σταθμού ενέργειας έβαλαν φρένο στη σκέψη για κατασκευή περαιτέρω παλιρροιακών σταθμών μεγάλης κλίμακας.

### **Ο Παλιρροιακός Σταθμός στον κόλπο Kislaya της Λευκής Θάλασσας**

Στη δεκαετία του '60 τέθηκε υπό κατασκευή μία πιλοτική διάταξη στον κόλπο Kislaya της Λευκής Θάλασσας, η οποία βασίστηκε στην ιδέα των αντλιο – στροβίλων που είχε μόλις εφαρμοστεί στη Γαλλία. Το συγκεκριμένο πειραματικό συγκρότημα είχε ανεξάρτητα μελετηθεί στη Βρετανία και φιλοδόξησε να οδηγήσει σε αξιοσημείωτα χαμηλότερα κόστη λειτουργίας απ' ό,τι φαινόταν δυνατόν. Η εγκατεστημένη ισχύς του σταθμού εκτιμάται στα 0,5MW.

Από τους Ρώσους προτάθηκαν και εφαρμόστηκαν μέθοδοι προκατασκευής του ενεργειακού σταθμού. Ειδικότερα, οι συνιστώσες της κατασκευής συντίθενται και ρυθμίζονται σε παραθαλάσσιο βιομηχανικό κέντρο. Κατόπιν, η κατασκευή συναρμολογείται και ρυμουλκείται από τη θάλασσα στην τελική τοποθεσία. Η ρωσική δουλειά επικεντρώθηκε σε αυτή τη μέθοδο προκατασκευής του σταθμού και στη μελέτη επιπτώσεων της παλιρροιακής ενέργειας στην απόδοση υφιστάμενων υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Σκοπός ήταν η μεγιστοποίηση της παραγωγής σταθερής ισχύος έναντι αυτής που θα επιτυγχανόταν εάν οι δύο τύποι εγκαταστάσεων λειτουργούσαν ανεξάρτητα.

### **Μετέπειτα βήματα στην κατασκευή Παλιρροιακών Σταθμών**

Η κατασκευή των παλιρροιακών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στις εκβολές του ποταμού La Rance στη Βρετανία της Γαλλίας και στον κόλπο Kislaya της Λευκής Θάλασσας, οδήγησε σε αναμφισβήτητη ανάπτυξη της τεχνογνωσίας, ενώ η εμπειρία που αποκτήθηκε από τη πειραματική τους λειτουργία επέτρεψε τον προγραμματισμό, την κατασκευή και τη λειτουργία των ακόλουθων πειραματικών σταθμών:

- Ο σταθμός Mezenί στη Λευκή θάλασσα, στις βοριοδυτικές ακτές της Ρωσίας, με εγκατεστημένη ισχύ που εκτιμάται στα 6 – 14GW.
- Ο σταθμός Penzina στον κόλπο του Okhotsk, στα βόρεια παράλια της Ρωσίας με τον Ειρηνικό Ωκεανό, με εγκατεστημένη ισχύ που εκτιμάται στα 35GW.
- Ο σταθμός Tugur στον κόλπο του Okhotsk, με εγκατεστημένη ισχύ που εκτιμάται στα 10GW.
- Ο σταθμός Annapolis στον κόλπο Fundy στον Καναδά, με εγκατεστημένη ισχύ που εκτιμάται στα 18 – 20MW. Το έργο ολοκληρώθηκε το έτος 1984 και

λειτουργεί ως ο τρίτος μεγαλύτερος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από παλίρροιες στον κόσμο.

- Ο σταθμός Race Rocks στην British Columbia του Καναδά, με εγκατεστημένη ισχύ μόλις 65KW. Το έργο ολοκληρώθηκε το 2006.
- Ο σταθμός SeaGen Tidal System στο Strangford Lough της Β. Ιρλανδίας, με εγκατεστημένη ισχύ που εκτιμάται στα 1,2MW.
- Ο σταθμός στη λίμνη Sihwa στη Νότιο Κορέα, με εγκατεστημένη ισχύ 254MW. Το έργο ολοκληρώθηκε το έτος 2009.

### 3.6.3 Θαλασσοθερμική Ενέργεια

Η κεντρική ιδέα που χαρακτηρίζει αυτή την τεχνολογία είχε διατυπωθεί αρχικά το 1881 από τον Γάλλο φυσικό Jacques d'Arsonval χωρίς όμως να αποσπάσει το ενδιαφέρον των ειδικών. Άλλωστε εκείνη την εποχή δεν γινόταν η εκτεταμένη εξόρυξη των ορυκτών καυσίμων που καταγράφεται σήμερα. Τα πράγματα όμως άλλαξαν τη δεκαετία του 1970 με τη διεθνή κρίση του πετρελαίου και η αμερικανική κυβέρνηση χρηματοδότησε τη δημιουργία μιας πλατφόρμας αξιοποίησης του θαλασσινού νερού η οποία μπορούσε να παράγει 50kW ηλεκτρισμού. Την ίδια εποχή οι Ιάπωνες δημιούργησαν αντίστοιχη πλατφόρμα δυναμικότητας 120kW.

Αντίστοιχη τεχνολογία χρησιμοποιείται ήδη στο Τορόντο του Καναδά για τον κλιματισμό των κτηρίων με τη διαφορά ότι δε χρησιμοποιείται το νερό του ωκεανού αλλά εκμεταλλεύονται τα υδάτινα στρώματα στον πυθμένα της λίμνης Οντάριο. Το σύστημα κλιματισμού θα εγκατασταθεί μελλοντικά σε όλα τα κτήρια του κέντρου της πόλης και εκτιμάται ότι θα οδηγήσει στην εξοικονόμηση 60MW ηλεκτρικής ενέργειας.

### 3.6.4 Οσμωτική Ενέργεια

Θεωρητικώς, η εφαρμογή της αρχής της όσμωσης για παραγωγή ενέργειας εκπονήθηκε πρώτη φορά από τον Ισραηλινό ερευνητή Sidney Loeb σε συνεργασία με τον Srinivasa Sourirajan, στη δεκαετία του 1970. Το κλειδί για την πραγμάτωσή της είναι η ημιπερατή μεμβράνη, η οποία πρέπει να είναι ελαφρώς διαπερατή από την

πλευρά του γλυκού νερού, ενώ από εκείνην του αλμυρού να διατηρεί την αναπτυσσόμενη πίεση σταθερά στη δική της πλευρά. Η αύξηση της πίεσης στην πλευρά του αλμυρού νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία τουρμπίνας με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η πρώτη εφαρμογή του φαινομένου της όσμωσης για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα πραγματοποιήθηκε το 2009 από τη Νορβηγική εταιρεία Statkraft που δραστηριοποιείται στο χώρο των ΑΠΕ. Το υπό δοκιμή εργοστάσιο ξεκίνησε τη λειτουργία του στις 24 Νοεμβρίου 2009 με ισχύ μόλις 2 – 4kW. Ωστόσο, η εταιρεία προσδοκά μέχρι το 2015 να παράγει 25MW ηλεκτρικής ισχύος χρησιμοποιώντας την οσμωτική ενέργεια. Οι υπεύθυνοι της εταιρείας ισχυρίζονται ότι η οσμωτική ενέργεια θα μπορούσε να παράξει περί τις 1600 – 1700TWh παγκοσμίως – το ισοδύναμο της μισής παραγόμενης ενέργειας στην Ε.Ε. σήμερα.

Ο πίνακας που ακολουθεί αποτελεί μια καταγραφή των σημαντικότερων γεγονότων που όρισαν τη χρονική εξέλιξη της χρήσης των ανανεώσιμων (αλλά και μη) πηγών ενέργειας (Πίν. 3.3).

**Πίνακας 3.3:** Ιστορική εξέλιξη και ορόσημα στη χρήση των διαφόρων μορφών ενέργειας.

<i>Χρονολογία</i>	<i>Γεγονός</i>	<i>Είδος εφαρμοζόμενης ενέργειας</i>
<b>4.500.000.000 έτη πριν</b>	Δημιουργία Ήλιου: ξεκινά η παραγωγή ηλιακής ενέργειας επιτρέποντας της συνθήκες ανάπτυξης ζωής	Ηλιακή ενέργεια
<b>770.000 έτη πριν</b>	Χρήση της φωτιάς με καύση βιομάζας από της κατοίκους του σημερινού Ισραήλ	Βιομάζα
<b>3.200 π.Χ.</b>	Χρήση του ιστίου από της Αιγύπτιους, η πρώτη καταγεγραμμένη χρήση αιολικής ενέργειας	Αιολική ενέργεια
<b>2.000 π.Χ</b>	Αρχαιολογικά ευρήματα υποδεικνύουν καύση άνθρακα από της Κινέζους ως μορφή ενέργειας για πρώτη φορά	Ορυκτά καύσιμα
<b>400 π.Χ.</b>	Παθητικός ηλιακός σχεδιασμός αναφέρεται για πρώτη φορά από τον Σωκράτη σε αρχαιοελληνικό κείμενο	Ηλιακή ενέργεια
<b>200 – 300 π.Χ.</b>	Παραβολοειδείς ανακλαστικές επιφάνειες παρατηρούνται να συγκεντρώνουν το ηλιακό φως σημειακά. Αναφέρεται ότι ο Αρχιμήδης χρησιμοποίησε την τεχνική των συγκεντρωτικών φακών για να κάψει ρωμαϊκά πλοία που πολιορκούσαν της Συρακούσες (213 π.Χ.)	Ηλιακή ενέργεια
<b>3<sup>ος</sup> αιώνας π.Χ.</b>	Οι Έλληνες χρησιμοποιούν την υδραυλική ενέργεια για την κίνηση νερόμυλων με σκοπό την άλεση δημητριακών	Υδραυλική ενέργεια
<b>200 π.Χ.</b>	Οι Κινέζοι εφευρίσκουν τον ανεμόμυλο	Αιολική ενέργεια
<b>200 π.Χ.</b>	Οι Κινέζοι χρησιμοποιούν το φυσικό αέριο ως πηγή ενέργειας	Ορυκτά καύσιμα

<b>1 μ. X.</b>	Οι Κινέζοι δουλίζουν και χρησιμοποιούν πετρέλαιο ως καύσιμο σε λάμπες φωτισμού	Ορυκτά καύσιμα
<b>100 – 200 μ. X.</b>	Κατασκευή ανοίγματος (Oculus) στην κορυφή του ρωμαϊκού Πάνθεον για φυσικό φωτισμό του χώρου	Ηλιακή ενέργεια
<b>200 μ. X.</b>	Κατασκευή υδρόμυλων στην Ευρώπη	Υδραυλική ενέργεια
<b>700 μ. X.</b>	Χρήση ανέμων των μουσώνων σε κάμινο κατά τη μεταλλουργική διαδικασία στη Σρι Λάνκα	Αιολική ενέργεια
<b>Περί τα 950 μ. X.</b>	Χρήση ανεμόμυλων κατακόρυφου άξονα για το άλεσμα καλαμποκιού από της Πέρσες	Αιολική ενέργεια
<b>1000 μ. X.</b>	Ευρεία χρήση ανεμόμυλων σε όλη τη Μέση Ανατολή	Αιολική ενέργεια
<b>1200 μ. X.</b>	Ανάπτυξη ανεμόμυλων οριζόντιου άξονα στην Ευρώπη	Αιολική ενέργεια
<b>1200 μ. X.</b>	Μογγόλοι επιδρομείς υπό την ηγεσία του Τζένγκις Χαν χτίζουν ανεμόμυλους στην Κίνα για τη διευκόλυνση της άρδευσης. Επιστρατεύτηκαν Πέρσες για την τεχνογνωσία της	Αιολική ενέργεια
<b>1300 μ. X.</b>	Κατασκευή από της Άγγλους ανεμόμυλων οριζόντιου άξονα των οποίων το πάνω τμήμα μεταπίπτει αυτόματα της τη διεύθυνση του ανέμου για μεγαλύτερη εκμετάλλευσή του	Αιολική ενέργεια
<b>1500 μ. X.</b>	Πτερύγια τριγωνικού σχήματος χρησιμοποιούνται για να κάνουν της ανεμόμυλους πιο αποτελεσματικούς στην Ισπανία	Αιολική ενέργεια
<b>Περί τα 1500</b>	Ο Λεονάρντο ντα Βίντσι προτείνει της πρώτες εφαρμογές μεγάλης κλίμακας με τεχνικές συγκέντρωσης ηλιακού φωτός	Ηλιακή ενέργεια

1600	Χρήση ανεμόμυλων στην Ολλανδία (ένα από τα κυρίαρχα βιομηχανικά κράτη της εποχής) για την αποστράγγιση εδαφών	Αιολική ενέργεια
1600 – 1700	Χρήση του άνθρακα ως καύσιμο στη Βρετανία. Μέσα της επόμενους αιώνες ο άνθρακας γίνεται η κύρια πηγή ενέργειας	Ορυκτά καύσιμα
1629	Ο Ιταλός αρχιτέκτονας Giovanni Branca κατασκευάζει τον πρώτο στρόβιλο που αποτελείται από καυστήρα ο οποίος με στόμιο κατευθύνει ατμό της της ξύλινες λεπίδες της τροχού	Ορυκτά καύσιμα
1700	Αγγλία και Ολλανδία μαζί έχουν περί της 20.000 ανεμόμυλους	Αιολική ενέργεια
1759	Τα πτερύγια των αγγλικών ανεμόμυλων σχεδιάζονται να στρίβουν κατά 20° ώστε να εκμεταλλεύονται περισσότερο τον άνεμο	Αιολική ενέργεια
1767	Ο Ελβετός Horace de Saussure ανακαλύπτει τον πρώτο ηλιακό συλλέκτη	Ηλιακή ενέργεια
1774	Ο Γάλλος μηχανικός Bernard Forest de Blidor εκδίδει την πραγματεία <i>Architecture Hydraulique</i> για την εκμετάλλευση της υδροηλεκτρικής ενέργειας	Υδραυλική ενέργεια
1799	Ο Γάλλος Girard συνεργάζεται με το γιο του για να σχεδιάσει ένα γιγαντιαίο μοχλό που ήταν συνδεδεμένος με ένα πλοίο για παραγωγή ενέργειας από τους κυματισμούς	Θαλάσσια ενέργεια
1820	Πραγματοποιείται η πρώτη γεώτρηση φυσικού αερίου στην Πολιτεία της Νέας Υόρκης	Ορυκτά καύσιμα

<b>1839</b>	Ανακάλυψη του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Ο Edmond Becquerel ανακαλύπτει ότι το ηλιακό φως που απορροφάται από συγκεκριμένα υλικά παράγει ηλεκτρικό ρεύμα	Ηλιακή ενέργεια
<b>Δεκαετία 1850</b>	Daniel Halladay and John Burnham από κοινού κατασκευάζουν και βγάζουν στην αγορά τον Halladay Windmill. Είναι κατασκευή ειδικά για τις Μεσοδυτικές Πολιτείες της Αμερικής με ξύλινα πτερύγια και ανοικτό πύργο	Αιολική ενέργεια
<b>Δεκαετία 1850</b>	Πραγματοποιείται η πρώτη γεώτρηση πετρελαίου στην Titusville της Πολιτείας της Πενσυλβάνια	Ορυκτά καύσιμα
<b>1861</b>	Ο Γάλλος επιστήμονας Augustin Mouchot κατασκευάζει και πατεντάρει μια ηλιακή γεννήτρια που συγκεντρώνει με κάτοπτρο την ηλιακή ακτινοβολία για την παραγωγή ατμού	Ηλιακή ενέργεια
<b>1867</b>	Ο Leonard Wheeler κατασκευάζει τον ανεμόμυλο Eclipse για χρήση ειδικά στις Μεσοδυτικές Πολιτείες της Αμερικής	Αιολική ενέργεια
<b>Περί το 1880</b>	Ο Αμερικανός μηχανικός John Ericsson εγκαινιάζει την αμερικανική ηλιακή βιομηχανία. Αναπτύσσει μηχανές που χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ατμού για την κίνηση πλοίων	Ηλιακή ενέργεια
<b>Περί το 1880</b>	Ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνται ευρέως από αυτάρκεις κατοίκους των Δυτικών Η.Π.Α. για άντληση νερού, άλεσμα δημητριακών κ.λπ. Ο μηχανικός Thomas Perry κατασκευάζει το «μαθηματικό ανεμόμυλο» κατά τη θητεία του στην Aermotor Windmill Company, που μετέπειτα εξελίχθηκε στη μεγαλύτερη εταιρεία	Αιολική ενέργεια



	κατασκευής ανεμόμυλων στον κόσμο, μέχρι και σήμερα	
1881	Γεννήτρια με δυναμό τύπου Brush συνδέεται με τουρμπίνα σε αλευρόμυλο για την παροχή υπαίθριου φωτισμού στην πόλη Niagara Falls της Πολιτείας της Νέας Υόρκης, χρησιμοποιώντας τεχνολογία συνεχούς ρεύματος	Αιολική ενέργεια
1881	Ο Γάλλος φυσικός Jacques d' Arsonval διατυπώνει τη βασική ιδέα για την εκμετάλλευση της θαλασσοθερμικής ενέργειας	Θαλάσσια ενέργεια
1882	Κατασκευή του Vulcan Street Power Plant, του πρώτου εργοστασίου παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο, στο Appleton της Πολιτείας Wisconsin των Η.Π.Α.	Υδραυλική ενέργεια
1889	77 εταιρείες κατασκευής ανεμόμυλων λειτουργούν στην Αμερική	Αιολική ενέργεια
1891	Ο Clarence Kemp από το Maryland των Η.Π.Α. εφευρίσκει το Climax, έναν ηλιακό θερμαντή νερού και έκτοτε θεωρείται ο πατέρας της ηλιακής ενέργειας στις Η.Π.Α.	Ηλιακή ενέργεια
Περί το 1890	Οι πρώτοι ηλιακοί θερμοσίφωνες οροφής διατίθενται εμπορικά στη Νότια Καλιφόρνια των Η.Π.Α.	Ηλιακή ενέργεια
1892	Ο Δανός επιστήμονας Poul LaCour χρησιμοποιεί ανεμόμυλο για την παραγωγή ηλεκτρισμού (Δανία)	Αιολική ενέργεια
1892	Χρήση γεωθερμικής ενέργειας για τη θέρμανση κτηρίων στο Idaho Η.Π.Α.	Γεωθερμική ενέργεια

<b>1894</b>	Ο Νορβηγός εξερευνητής και επιστήμονας Fridtjof Nansen χρησιμοποιεί ανεμόμυλους για την ηλεκτροδότηση λαμπτήρων στην καμπίνα του πλοίου του κατά την αναζήτηση του Βόρειου Πόλου	Αιολική ενέργεια
<b>Περί το 1900 (αρχές)</b>	Χρυσωρύχοι της Καλιφόρνια χρησιμοποιούν ανεμόμυλους για την άντληση αλμυρού νερού από λίμνες και την παραγωγή άλατος	Αιολική ενέργεια
<b>1908</b>	Ο William J. Bailey της εταιρείας Carnegie Steel Company εφευρίσκει τους ηλιακούς συλλέκτες που αποτέλεσαν τους πρόγονους των σημερινών ηλιακών συλλεκτών	Ηλιακή ενέργεια
<b>1910</b>	Ο Γάλλος Bochaux-Praceique κατασκευάζει συσκευή εκμετάλλευσης κυματικής ενέργειας, για το φωτισμό του σπιτιού του, που θεωρείται ο πρόγονος της σημερινής παλλόμενης στήλης νερού (OWC)	Θαλάσσια ενέργεια
<b>1920</b>	Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί το 25% όλης της ηλεκτροπαραγωγής στις Η.Π.Α.	Υδραυλική ενέργεια
<b>1920 – 1950</b>	Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες που υπάρχουν σε περίπου 50.000 σπίτια στη Νότια Φλόριντα των Η.Π.Α. αντικαθίστανται σχεδόν εξολοκλήρου τη δεκαετία του '50 όταν εμφανίζονται οι οικονομικότερες εναλλακτικές του φυσικού αερίου και του ηλεκτρισμού	Ηλιακή ενέργεια
<b>Περί το 1930</b>	Ο Υποναύαρχος Richard Byrd εγκαθιστά ανεμογεννήτρια Jacobs στην Ανταρκτική όπου λειτουργεί για 22 συναπτά έτη χωρίς επισκευή	Αιολική ενέργεια
<b>Περί το 1940</b>	Τα «ηλιακά σπίτια» γίνονται δημοφιλή και όλο και περισσότερες κατασκευές λαμβάνουν υπόψη τους τον ενεργητικό και παθητικό	Ηλιακή ενέργεια

	ηλιακό σχεδιασμό	
<b>1941</b>	Ο Αμερικανός μηχανικός Palmer Putnam κατασκευάζει ανεμογεννήτρια ισχύος 1,25 MW και μήκος πτερυγίων 53m. Ωστόσο, με τη έλευση του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου, το ενδιαφέρον περιορίζεται	Αιολική ενέργεια
<b>1941</b>	Πάνω από 60.000 ηλιακοί θερμοσίφωνες εγκατεστημένοι στην Αμερική	Ηλιακή ενέργεια
<b>Περί το 1950</b>	Οι περισσότερες εταιρείες παραγωγής ανεμόμυλων στις Η.Π.Α. χρεοκοπούν λόγω έντονου ανταγωνισμού με άλλες μορφές ενέργειας	Αιολική ενέργεια
<b>Περί το 1950</b>	Φωτοβολταϊκά κύτταρα χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση αμερικανικών δορυφόρων	Ηλιακή ενέργεια
<b>Αρχές 1970 (1973)</b>	Πρώτη ενεργειακή κρίση στις Η.Π.Α.. Κλιμάκωση του ενδιαφέροντος στις Α.Π.Ε.. Εμφάνιση του βιοκαυσίμου gasohol και καταπολέμησή του από τους πετρελαιοπαραγωγούς. Αναζωπύρωση ενδιαφέροντος για την αιολική ενέργεια	Βιοκαύσιμα
<b>Δεκαετία 1970</b>	Η αμερικανική κυβέρνηση χρηματοδοτεί τη δημιουργία πλατφόρμας αξιοποίησης θαλασσινού νερού ισχύος 50kW Οι Ιάπωνες κατασκευάζουν αντίστοιχη πλατφόρμα ισχύος 120kW Συντονίζεται η έρευνα πάνω στη θαλάσσια ενέργεια Οι Sidney Loeb και Srinivasa Sourirajan εφαρμόζουν την αρχή της όσμωσης για παραγωγή ενέργειας	Θαλάσσια ενέργεια

*ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ  
ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ*

<b>1974</b>	Πάνω από 20 εταιρείες στις Η.Π.Α. ξεκινούν την παραγωγή επίπεδων ηλιακών συλλεκτών, ωθούμενες εν πολλοίς από το πρώτο εμπάργκο πετρελαίου	Ηλιακή ενέργεια
<b>1974</b>	Δεύτερο εμπάργκο πετρελαίου και περαιτέρω ενίσχυση των Α.Π.Ε.	Α.Π.Ε.
<b>Δεκαετία 1980</b>	Αιολικά πάρκα μεγάλης κλίμακας κατασκευάζονται σε Αμερική και Ευρώπη	Αιολική ενέργεια
<b>1982</b>	Κατασκευή του πρώτου εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά, ισχύος 1MWp, στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α.	Ηλιακή ενέργεια
<b>2005</b>	Ίδρυση του Παγκοσμίου Συμβουλίου Αιολικής Ενέργειας στις Βρυξέλλες	Αιολική ενέργεια
<b>2009</b>	Η Νορβηγική Statkraft κατασκευάζει το πρώτο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από όσμωση παγκοσμίως	Θαλάσσια ενέργεια

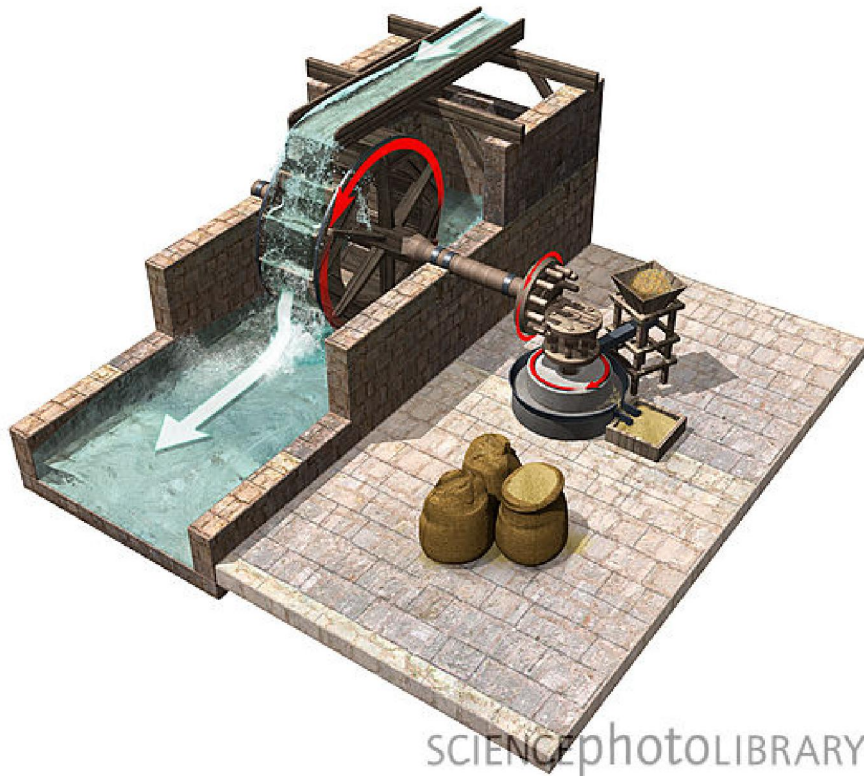
## 4 Εξέλιξη των Τεχνολογιών Εκμετάλλευσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι διάφορες μορφές της ανανεώσιμης ενέργειας ήταν γνωστές στον άνθρωπο από πολύ παλιά. Παρακάτω θα δούμε πώς η ανθρώπινη εφευρετικότητα βρήκε τρόπους εκμετάλλευσης αυτού του δυναμικού και πώς οι διάφορες τεχνολογίες εξελίχθηκαν μέχρι σήμερα.

### 4.1 Υδραυλική Ενέργεια

Ο «λευκός άνθραξ», με τη μορφή της μηχανικής ενέργειας, αποτελούσε για σειρά αιώνων για όλους τους πολιτισμούς την κινητήρια δύναμη για την κίνηση υδροτροχών οριζοντίου ή κατακόρυφου άξονα. Η σημαντικότερη εφαρμογή εκμετάλλευσης της υδραυλικής ενέργειας σήμερα είναι, χωρίς αμφιβολία, οι εγκαταστάσεις για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ωστόσο, από πολύ παλιά η υδραυλική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για πολλαπλούς σκοπούς, από το άλεσμα δημητριακών (κυρίως) μέχρι και για καθημερινές εργασίες όπως το πλύσιμο των ρούχων ή το κοπάνημα του μαλλιού πριν τη γνέση, όπως θα δούμε παρακάτω.

Η πλέον διαδεδομένη χρήση της υδραυλικής ενέργειας, που αποτέλεσε την απαρχή της ιστορίας της, αφορούσε τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ρέοντος νερού (λόγω υψομετρικής διαφοράς) σε κινητική ενέργεια ενός τροχού (πρόγονος του σημερινού υδροστροβίλου) διαμέσου της πτώσης του πάνω στα πτερύγιά του. Η κινητική αυτή ενέργεια στη συνέχεια μεταφερόταν με τη χρήση γραναζιών και οδοντωτών τροχών ώστε να περιστρέφει μύλο, συνηθέστερα για άλεσμα δημητριακών (**Εικ. 4.1**).



*Εικόνα 4.1: Αναπαράσταση υδρόμυλου: η κινητική ενέργεια του νερού που πέφτει μετατρέπεται σε περιστροφική κίνηση (μηχανική ενέργεια) η οποία μεταφέρεται από τον τροχό (αριστερά) στο μύλο (δεξιά) μέσω ενός συστήματος οδοντώσεων και γραναζιών (Πηγή: Science Photo Library, 2012)*

Η πρόσφατη ιστορία της Ελλάδας περιλαμβάνει κατασκευές όπως ο νερόμυλος, η δριστέλλα, το μπατάκι και το νεροπρίονο. Οι κατασκευές αυτές χρησιμοποιήθηκαν, συχνά σε σειριακή λειτουργία, κυρίως στα ορεινά της χώρας μας όπου το υδατικό δυναμικό είναι ιδιαίτερα υψηλό. Μάλιστα, ορισμένες συνεχίζουν μέχρι και σήμερα να λειτουργούν παραδοσιακά σε κάποιες περιοχές όπως τα Τρίκαλα. Η συμβολή τους στην ενίσχυση των τοπικών οικονομικών υπήρξε ανεκτίμητη, με απτά έως σήμερα αποτελέσματα.

#### **4.1.1.1 Δριστέλλες (υδροτριβεία)**

Οι δριστέλλες (βλχ. ντριστελλά) είναι βιολογικά πλυντήρια, κατασκευασμένα από φυσικά υλικά (συνήθως πεύκο και ρόμπολο). Κατ' ουσία η δριστέλλα είναι μια κωνική κατασκευή, περίπου 10 μέτρων βάθους, τοποθετημένη στο έδαφος (**Εικ. 4.2**). Εκεί τοποθετούνται τα ρούχα προς πλύση. Η πλύση γίνεται με την είσοδο του νερού στον κώνο υπό γωνία και πίεση. Η κυκλική κίνηση που δημιουργείται σε συνδυασμό

με την ώθηση σε βάθος των ρούχων επιφέρει την πλύση. Η διαδικασία διαρκούσε περίπου 8 – 10 ώρες (σήμερα η πλύση κρατά 15 – 20 λεπτά). Δεν χρειάζεται ούτε ηλεκτρικό ρεύμα, ούτε απορρυπαντικά και μπορούν να πλυθούν ρούχα και κάθε λογής υφάσματα, ακόμη και χαλιά, κλινοσκεπάσματα και βελόντζες, αποκλειστικά και μόνο με τη δύναμη και την ορμή του νερού. Δεν πρόκειται για νέο τεχνολογικό επίτευγμα, αλλά για την παραδοσιακή νεροτριβή, έναν ευρηματικό μηχανισμό που κατασκευάζονταν γύρω στα 1900 σε ορεινές περιοχές με έντονη την παρουσία του νερού.



*Εικόνα 4.2: Παραδοσιακή δριστέλλα.*

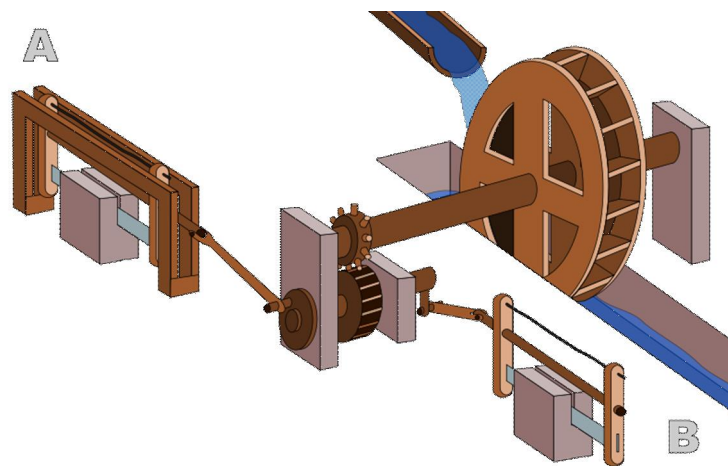
#### **4.1.1.2 Μπατάνια**

Το μπατάνι (αλλιώς μαντάνι) είναι μια εμβολική κατασκευή, η οποία χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό και διαστολή του μαλλιού. Η κίνηση γινόταν με έναν τροχό στον οποίο εφαρμοζόταν η ωστική δύναμη του νερού. Η εξαναγκασμένη κυκλική του κίνηση συμπάρεσυρε τον κεντρικό εκκεντροφόρο, που με την σειρά του «άνοιγε», έδινε δηλαδή αιώρηση στα έμβολα. Η κυβική κατασκευή των εμβόλων παρουσίαζε την ιδιαιτερότητα η εφαπτόμενη πλευρά να έχει μια αφαιρετική γωνία περίπου 22,5 μοιρών. Η ελλειπτική αυτή πλευρά, που ερχόταν σε άμεση επαφή με το μαλλί, εκτός του κοπανισμού έδινε και μία κίνηση στρέψης σε αυτό. Το αποτέλεσμα ήταν, σε

συνδυασμό με την υγρασία της περιοχής, το μαλλί να γυρνάει και να φουσκώνει ώστε να είναι δυνατή η γνέση του. Με τον επί ώρες κοπανισμό του, το μαλλί γινόταν πιο συμπαγές, έβγαζε το χνούδι του και γινόταν δυνατή η μετατροπή του σε ύφασμα ρουχισμού.

#### 4.1.1.3 Πριονιστήρια

Τα πρώτα πριονιστήρια που αναπτύχθηκαν χρησιμοποιούσαν την κινητική ενέργεια του νερού για τη μετατροπή των κορμών των δέντρων σε επίπεδες σανίδες. Το νερό των ποταμών και των ρεμάτων οδηγείτο μέσα από συγκεκριμένη διαδρομή και προσέπιπε πάνω σε μία πτερωτή την οποία και περιέστρεφε (μετατροπή της κινητικής ενέργειας κατά την πτώση του νερού σε περιστροφική). Η περιστροφική κίνηση μετατρεπόταν εν συνεχεία σε γραμμική μέσα από ένα σύστημα που περιελάμβανε στρόφαλους και μπιέλες, κινώντας έτσι τις λεπίδες των πριονιών (Εικ. 4.3, σημεία Α και Β).



Εικόνα 4.3: Σχηματική αναπαράσταση πριονιστηρίου με χρήση υδρόμυλου.

#### 4.1.1.4 Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί

Το σύνολο των εγκαταστάσεων που εκμεταλλεύονται τη φυσική διαδικασία του κύκλου του νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζεται υδροηλεκτρικός σταθμός. Από το πρώτο υδροηλεκτρικό σχέδιο που εφάρμοσε ο William George Armstrong στο Cragside, Northumberland της Αγγλίας για να τροφοδοτεί ένα και μοναδικό λαμπτήρα τόξου και να φωτίζει το ατελιέ του, μέχρι τις σύγχρονες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις που καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες

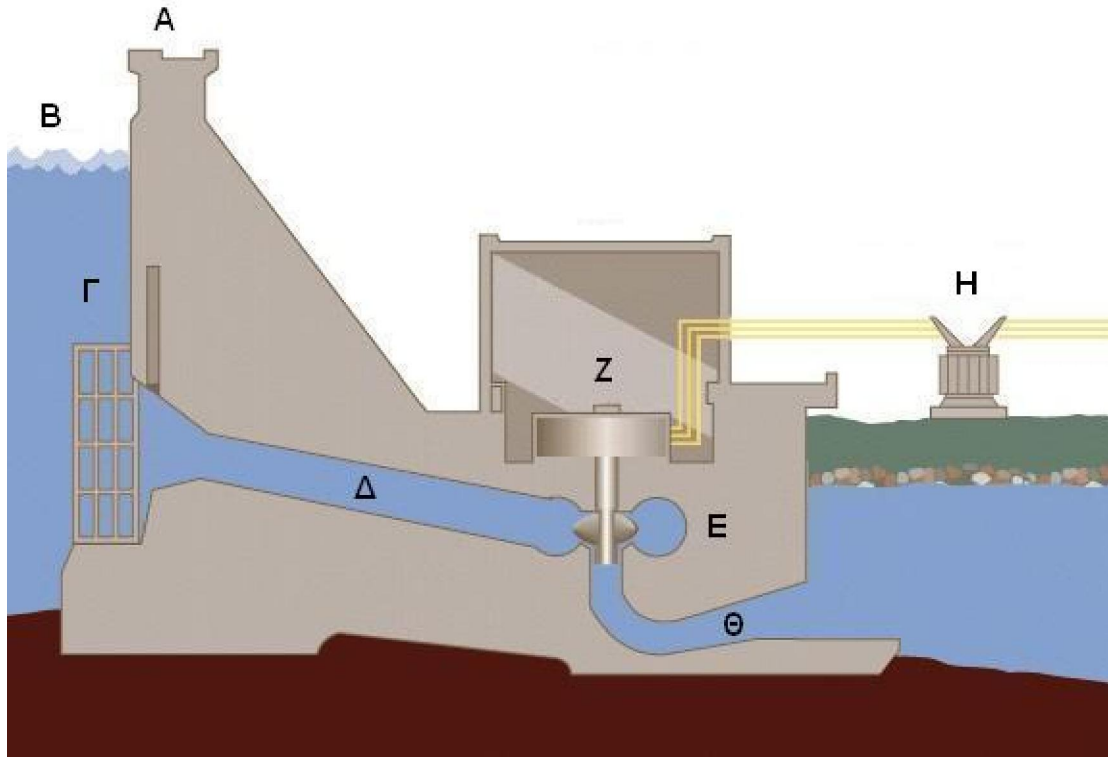


ολόκληρων πόλεων, μεσολάβησαν πολλές δεκαετίες κατά τις οποίες η τεχνολογική πρόοδος επέτρεψε τη δημιουργία αυτών των – μεγάλης κλίμακας – έργων.

Οι βασικές συνιστώσες ενός σύγχρονου υδροηλεκτρικού σταθμού είναι οι ακόλουθες:

- Το **φράγμα** που κατασκευάζεται με σκοπό τη συγκράτηση του νερού και τη δημιουργία ενός τεχνητού **ταμιευτήρα**
- Στο κάτω μέρος του φράγματος τοποθετούνται **υδατοφράκτες**. Σκοπός τους είναι η ρύθμιση του παρεχόμενου, προς τα κατάντη, νερού
- Το νερό μεταφέρεται μέσω ενός (κλειστού) **αγωγού πτώσης** με ελεγχόμενη ροή προς τα κατάντη του φράγματος
- Εκεί η κινητική του ενέργεια αναγκάζει τα πτερύγια ειδικών συσκευών που ονομάζονται **τουρμπίνες (υδροστρόβιλοι)** σε περιστροφική κίνηση
- Συνδεδεμένη σε αυτήν, είναι η **γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος**, η οποία τίθεται σε λειτουργία από την τουρμπίνα. Με τον τρόπο αυτό γίνεται η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε ηλεκτρική
- Το παραγόμενο ρεύμα, μέσω ενός **μετασχηματιστή υψηλής τάσης**, διοχετεύεται στο δίκτυο
- Το νερό, με απομειωμένη πλέον ενέργεια, διοχετεύεται μέσω της **διώρυγας φυγής** στα κατάντη του ποταμού

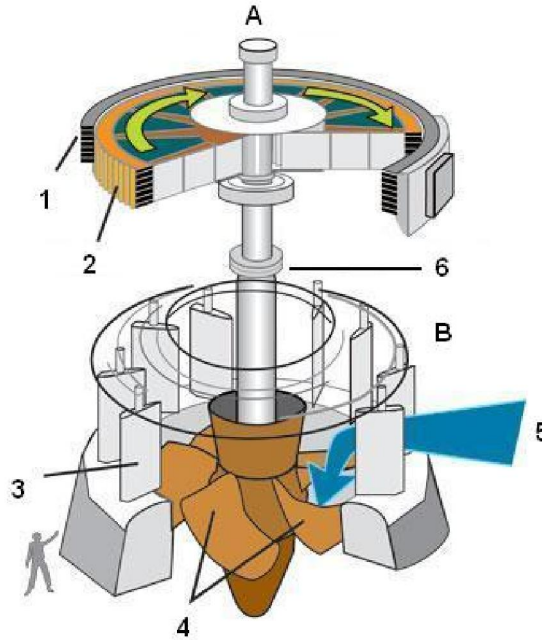
Τα παραπάνω φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί (**Εικ. 4.4**).



*Εικόνα 4.4: Βασικές συνιστώσες ενός υδροηλεκτρικού σταθμού: Α: Φράγμα, Β: Ταμιευτήρας, Γ: Υδατοφράκτης, Δ: Αγωγός πτώσης, Ε: Τουρμπίνα, Ζ: Ηλεκτρογεννήτρια, Η: Μετασχηματιστής, Θ: Διώρυγα φυγής (Σχήμα από ιστοσελίδα Wikipedia, 2012).*

Η «καρδιά» του υδροηλεκτρικού σταθμού είναι το συζευγμένο σύστημα τουρμπίνας – ηλεκτρογεννήτριας όπου πραγματοποιείται η μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Μια τυπική τέτοια διάταξη φαίνεται στην **Εικ. 4.5**. Τα μέρη που διακρίνονται στην τουρμπίνα (Α) και τη γεννήτρια (Β) είναι:

1. Στάτορας
2. Ρότορας
3. Θυρίδα
4. Πτερύγια
5. Είσοδος ρέοντος νερού
6. Άξονας σύνδεσης τουρμπίνας – γεννήτριας



*Εικόνα 4.5: Τυπική διάταξη τουρμπίνας – γεννήτριας (Πηγή: ιστοσελίδα Wikipedia, 2012).*

Η διαθέσιμη ισχύς ενός υδροηλεκτρικού σταθμού δίνεται από τη σχέση:

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \cdot k \quad (1)$$

όπου:

- P:** η ισχύς (W)
- Q:** η παροχή του νερού (m<sup>3</sup>/s)
- g:** η επιτάχυνση της βαρύτητας (9.81m/s<sup>2</sup>)
- ρ:** η πυκνότητα του νερού (1000kg/m<sup>3</sup>)
- H:** το ύψος πτώσης (m)
- k:** ο συντελεστής απόδοσης (0,75 ≤ k ≤ 0,92)

Με κριτήρια το ύψος (H) και την παροχή (Q) της υδατόπτωσης, γίνεται και η επιλογή του κατάλληλου υδροστροβίλου. Οι υδροστρόβιλοι χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: α) δράσης και β) ανάδρασης. Η πρώτη κατηγορία επιλέγεται για μεγάλα ύψη υδατόπτωσης και το υδατόρρευμα προσκρούει υπό τη μορφή πίδακα στην εσωτερική στεφάνη του στροβίλου. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αποτελεί η

τουρμπίνα τύπου Pelton. Στη δεύτερη κατηγορία, ο δρομέας είναι εξ' ολοκλήρου βυθισμένος στο νερό και η εισροή του νερού πραγματοποιείται από όλη την περιφέρεια. Τυπικά παραδείγματα είναι η υδροτουρμπίνα Francis που χρησιμοποιείται για μεσαίες τιμές υδραυλικού φορτίου, με βέλτιστη απόδοση όταν η ταχύτητα του νερού είναι παραπλήσια με αυτή των πτερυγίων του, και η υδροτουρμπίνα Kaplan, για μικρά ύψη υδατόπτωσης αλλά μεγάλες παροχές (Μαμάσης Ν., 2012). Άλλοι τύποι υδροστροβίλων είναι η τουρμπίνα Turgo (τροποποιημένη παραλλαγή του Pelton) και η τουρμπίνα διασταυρούμενης ροής, γνωστή και ως τουρμπίνα Banki-Michell ή τουρμπίνα Ossberger.

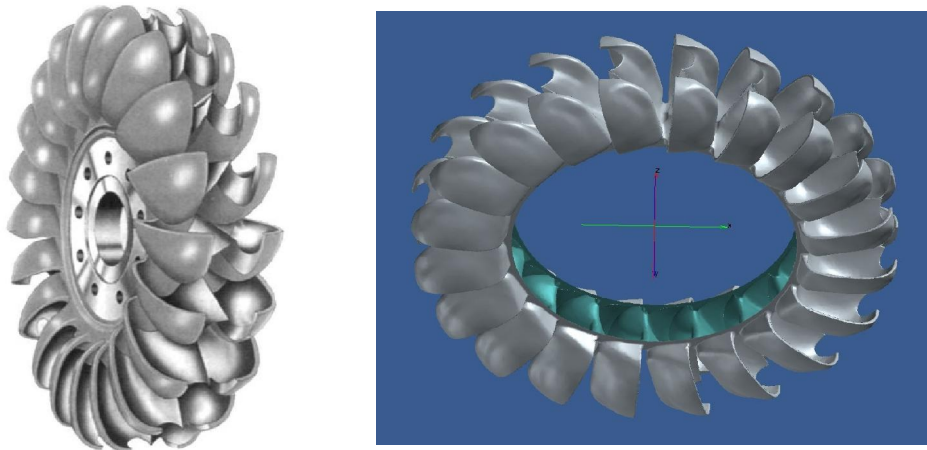
Ο πιο διαδεδομένος τύπος υδροστροβίλου είναι ο Francis λόγω της ιδανικής χρήσης



**Εικόνα 4.6:** Τυπική μορφή υδροστροβίλου Francis.

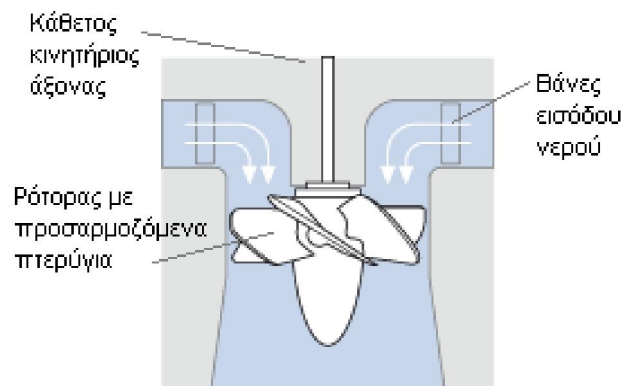
του σε μεσαία υδραυλικά ύψη (10 – 150m). Η εισροή του νερού γίνεται ακτινικά και η εκροή του αξονικά. Το νερό εισέρχεται στη σπείρα, και μέσω των σταθερών κατευθυντηρίων βανών εισέρχεται στον κινητήρα. Ο κινητήρας αποτελείται από καμπύλα τοποθετημένα πτερύγια και βρίσκεται εντελώς βυθισμένος στο νερό. Στο κέντρο του στροβίλου υπάρχει έξοδος απ' όπου εκφορτίζεται το νερό. Στην **Εικ. 4.6** φαίνεται η διάταξη των πτερυγίων ενός υδροστροβίλου Francis.

Ο τύπος Pelton αποτελεί ουσιαστικά μια παραλλαγή του τύπου Francis και είναι ο κοντινότερος απόγονος του παραδοσιακού υδροστροβίλου. Εφαρμόζεται όπου υπάρχουν ύψη υδατόπτωσης που ξεπερνούν τα 150m. Μια σειρά από μεταλλικά σκαφίδια, διαμορφωμένα σε σχήμα κουταλιού, είναι τοποθετημένα περιφερειακά του δρομέα. Καθένα από αυτά τα σκαφίδια συνήθως χυτεύεται ως ένα ενιαίο εξάρτημα, κάτι που είναι απαραίτητο για να αποφεύγεται η καταστροφή του λόγω κόπωσης και διάβρωσης. Διαθέτουν διαχωριστές τοποθετημένους στη μέση, που χωρίζουν το υδατόρρευμα σε δύο ίδια ρεύματα. Η ρύθμιση της παροχής επιτυγχάνεται μέσω βελόνης μετακινούμενης κατά τον άξονα του ακροφυσίου μέσω υδραυλικού, συνήθως, συστήματος. Με την εισροή του στο σκαφίδιο, το ρεύμα νερού αλλάζει πορεία σχεδόν κατά 180°, κάτι που επιτρέπει τη σχεδόν εξ' ολοκλήρου δέσμευση της ενέργειας της δέσμης. Στην **Εικ. 4.7** παρουσιάζονται οι σχεδιαστικές ιδιομορφίες της υδροτουρμπίνας Pelton.



*Εικόνα 4.7: Τυπική μορφή υδροστροβίλου Pelton.*

Τέλος, ο υδροστρόβιλος τύπου Kaplan, κατάλληλος για σχετικά χαμηλά πιεζομετρικά φορτία (3 – 15m) και υψηλές τιμές ροής νερού, είναι από τους ακριβότερους τύπους τουρμπίνας τόσο στο σχεδιασμό, όσο και στην κατασκευή και την εγκατάστασή του. Αποτελείται από μια προπέλα (με προσαρμοζόμενα πτερύγια για



*Εικόνα 4.8: Τυπική μορφή υδροστροβίλου Pelton.*

να ανταποκρίνεται σε διαφορετικά υδραυλικά φορτία), παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται σε πλοία, τοποθετημένη συνήθως κατακόρυφα. Η είσοδος του νερού γίνεται πλευρικά στο στρόβιλο, κατόπιν το νερό ρέει διαμέσου της προπέλας και θέτει την έλικα σε περιστροφή. Μια τυπική διάταξη του υδροστροβίλου Kaplan φαίνεται στην **Εικ. 4.8**.

## 4.2 Αιολική Ενέργεια

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3, η πρώτη ευρεία τεχνολογική εφαρμογή για την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού ήταν ο ανεμόμυλος κατακόρυφου άξονα που κατασκευάστηκε γύρω στο 950 μ.Χ. από τους Πέρσες με βασικό σκοπό το άλεσμα των δημητριακών. Κατά ισχυρισμούς των Κινέζων, ανεμόμυλοι κάθετου άξονα κατασκευάζονταν στην Κίνα πριν 2000 χρόνια, ωστόσο οι γραπτές αναφορές δεν επιβεβαιώνουν την ύπαρξή τους παρά μόνο μέχρι το 1219 μ.Χ.. Ανεμόμυλοι οριζοντίου άξονα εμφανίζονται στην Ευρώπη τον 13<sup>ο</sup> αι. ενώ αξιοσημείωτο είναι ότι πρώτοι οι Ολλανδοί τον 14<sup>ο</sup> αι. χτίζουν πολυώροφες τέτοιες κατασκευές. Χρειάστηκαν 500 χρόνια για να βελτιωθούν οι ανεμόμυλοι στη σημερινή τους μορφή χρησιμοποιώντας τις αρχές αεροδυναμικής και μηχανολογίας. Οι ανάγκες της ανθρώπινης κοινωνίας διαφοροποιήθηκαν ριζικά στους επόμενους αιώνες και έτσι ο σημερινός απόγονος του ανεμόμυλου, η ανεμογεννήτρια, δεσμεύει την αιολική ενέργεια μετατρέποντάς την σε ηλεκτρική.

### Ανεμογεννήτριες

Υπάρχουν πολλών ειδών ανεμογεννήτριες οι οποίες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

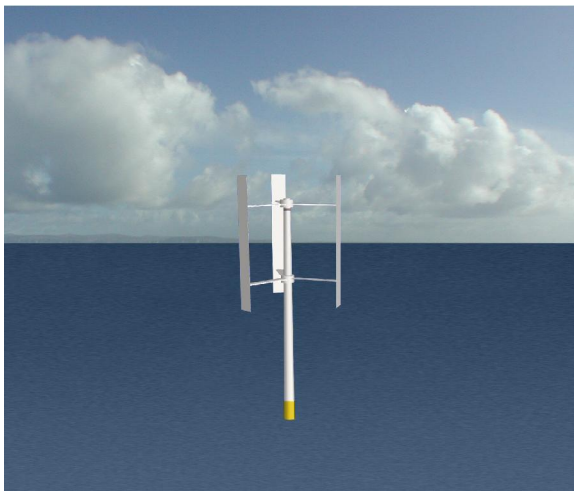
- Οριζοντίου άξονα, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικα (2 ή 3 πτερυγίων) και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους (**Εικ. 4.9 – 4.10**)
- Κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους (**Εικ. 4.11**)



**Εικόνα 4.9:** Οι τριπτέρυγες ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα είναι η πλέον δημοφιλής διάταξη. Η παραγόμενη ενέργεια σχετίζεται με την επιφάνεια σάρωσης του αέρα από τα πτερύγια (Πηγή: Ιστοσελίδα Aquaret, 2012).



**Εικόνα 4.10:** Διπτέρυγες ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα – λιγότερο συνήθεις αλλά μπορεί να είναι πιο αποδοτικές και ευκολότερες στη συντήρηση (Πηγή: Ιστοσελίδα Aquaret, 2012).



**Εικόνα 4.11:** Τεχνολογία ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα – οι ρότορες περιστρέφονται σε μικρότερο χώρο από τις αντίστοιχες μηχανές οριζόντιου άξονα (Πηγή: Ιστοσελίδα Aquaret, 2012).

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθός της και την ταχύτητα του ανέμου. Το μέγεθος είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει και ποικίλει από μερικά kW μέχρι μερικά MW.

### Θεωρητική αιολική ισχύς

Η θεωρητική ισχύς ροής ανέμου δίνεται από την εξίσωση:

$$I = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} m \frac{V^2}{t} = \frac{1}{2} \rho \cdot L \cdot A \frac{V^2}{t} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (2)$$

Όπου:

- I:** αιολική ισχύς (W)
- E:** αιολική ισχύς (W)
- t:** χρόνος (s)
- m:** μάζα αέρα (kg)
- V:** ταχύτητα ανέμου (m/s)
- $\rho$ :** πυκνότητα αέρα (1201 kg/m<sup>3</sup>)
- A:** επιφάνεια αναφοράς (m<sup>2</sup>)
- L:** διαδρομή ανέμου σε χρόνο  $t$  (m)

Η σχέση (2) ισχύει στο επίπεδο της θάλασσας αλλά επειδή πρακτικά δεν αλλάζει το αποτέλεσμα με την αύξηση του υψομέτρου, χρησιμοποιείται ως έχει για τους υπολογισμούς μας.

### Ονομαστική ισχύς ανεμογεννήτριας

Ο Γερμανός φυσικός και πρωτοπόρος της τεχνολογίας όσον αφορά τις ανεμογεννήτριες, Albert Betz υπολόγισε ότι το μέγιστο που μπορούμε να μετατρέψουμε από την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την κίνηση ενός ρότορα (όπως σε μια ανεμογεννήτρια) είναι 59,3%. Το όριο Betz, όπως αποκαλείται, αποτελεί τη μέγιστη τιμή του συντελεστή αεροδυναμικής απόδοσης,  $C_p$ . Οι συνήθεις τιμές του συντελεστή  $C_p$  κυμαίνονται κάτω από 40%.

Το όριο Betz αλλά και οι απώλειες (τριβή, καλωδίωση κ.ά.) αποτελούν παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη στον υπολογισμό του μηχανικού έργου μιας αιολικής



μηχανής. Συνήθως η τελική ισχύς που παίρνουμε από τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα είναι το 30 – 40% της ισχύος του ανέμου που υπολογίσαμε με τον παραπάνω τύπο (2). Στις ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα το αντίστοιχο ποσοστό είναι 15 – 30%.

Συνεπώς, ο τύπος που μας δίνει την ονομαστική ισχύ μιας ανεμογεννήτριας είναι ο ακόλουθος:

$$I = \frac{1}{2} C_p \cdot \eta_M \cdot \eta_E \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (3)$$

Όπου:

**C<sub>p</sub>**: συντελεστής ισχύος

**η<sub>M</sub>**: βαθμός απόδοσης μηχανικού συστήματος

**η<sub>E</sub>**: βαθμός απόδοσης ηλεκτρομηχανικής μετατροπής

Στον πίνακα που ακολουθεί (**Πιν. 4.1**), φαίνονται τα τυπικά χαρακτηριστικά (ύψος & διάμετρος δρομέα) για δύο ανεμογεννήτριες συνήθους ισχύος.

**Πίνακας 4.1:** Τυπικές διαστάσεις ανεμογεννητριών ισχύος 0.5 και 3 MW.

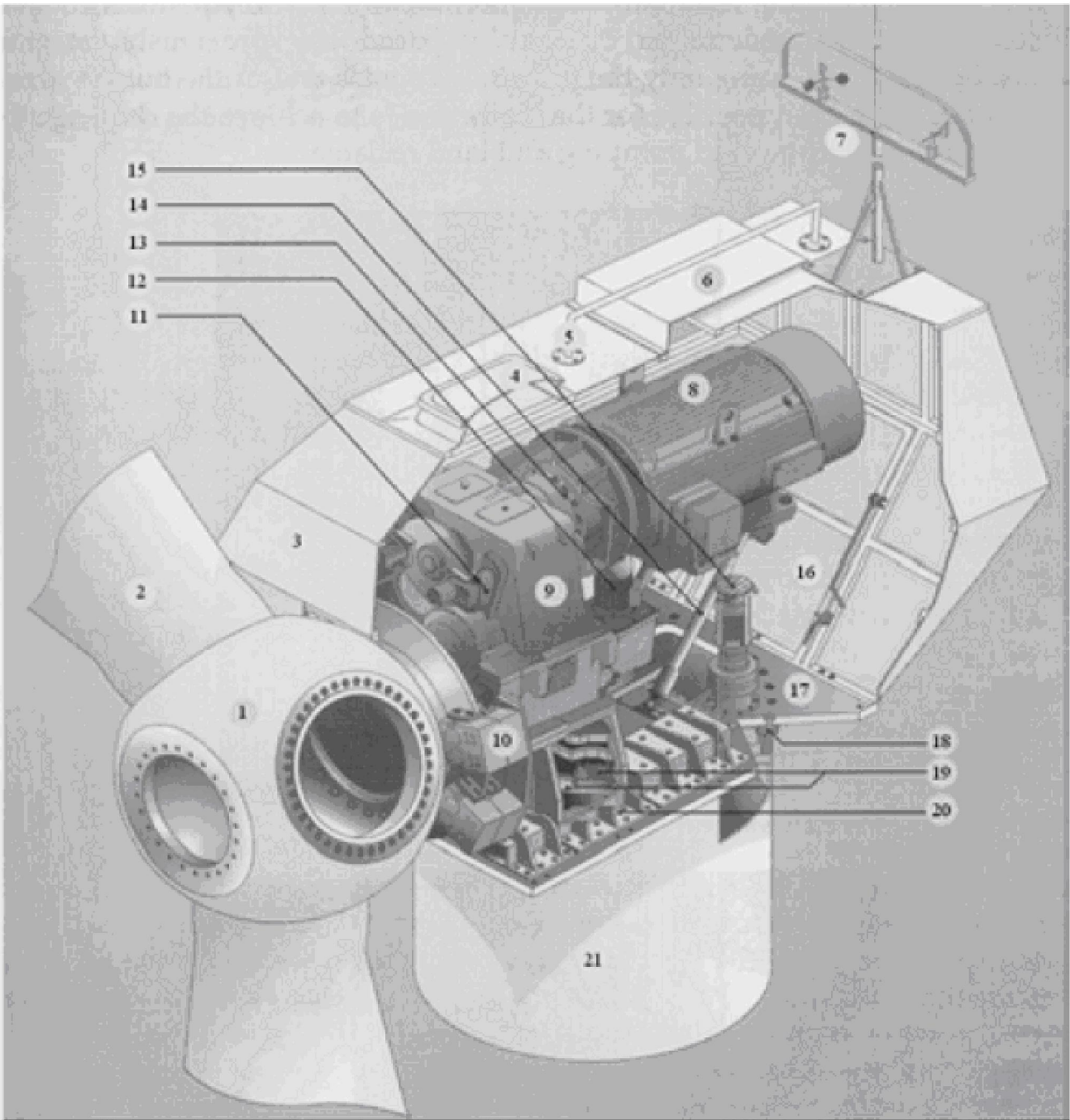
Ισχύς (MW)	Ύψος (m)	Διάμετρος δρομέα (m)
0,5	40 – 50	40,0
3,0	80 – 100	80,0

Λόγω των καλύτερων βαθμών απόδοσης που επιτυγχάνουν, στην αγορά έχουν επικρατήσει σχεδόν αποκλειστικά (σε ποσοστό 90%) οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα δύο ή τριών πτερυγίων.

Μια τυπική ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη:

- 1) Το **δρομέα**, που αποτελείται από δύο ή τρία **πτερύγια** από σύνθετα υλικά (ενισχυμένο πολυεστέρα, υαλονήματα και ειδικές ρητίνες). Τα πτερύγια προσδένονται πάνω σε μια πλήμνη είτε σταθερά, είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονα τους μεταβάλλοντας το βήμα.
- 2) Το **θάλαμο** που περιέχει τα ακόλουθα μηχανικά υποσυστήματα:
  - τον **κύριο άξονα** μαζί με το **σύστημα πέδησης** (παρόμοιο με αυτόν ενός αυτοκινήτου με υδραυλικά δισκόφρενα) που τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας.
  - το **σύστημα μετάδοσης της κίνησης**, αποτελούμενο από τον **κύριο άξονα**, τα **έδρανά του** και το **κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών**, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας (η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής).
- 3) Το **σύστημα προσανατολισμού**, αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου.
- 4) Τον **πύργο**, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα. Συνηθέστερα, πάνω στον πύργο τοποθετείται και η **ηλεκτρική γεννήτρια**, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους η οποία συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική.
- 5) Τον **ηλεκτρονικό πίνακα** και τον **πίνακα ελέγχου**, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, φροντίζοντας για την απρόσκοπτη λειτουργία της σε όλες τις συνθήκες.

Στο σχήμα που ακολουθεί (**Εικ. 4.12**) απεικονίζεται η άτρακτος μιας ανεμογεννήτριας 600kW ενώ τα διάφορα τμήματά της σημειώνονται στον ακόλουθο πίνακα (**Πίν. 4.2**).



*Εικόνα 4.12: Άτρακτος ανεμογεννήτριας 600 kW (Πηγή: Βοβός Ν., 2012).*

**Πίνακας 4.2:** Χαρακτηριστικά ατράκτου ανεμογεννήτριας 600 kW (Πηγή: Βοβός Ν., 2012).

1.	Πλήμνη δρομέα	12.	Υδραυλική
2.	Πτερόγια δρομέα	13.	Ελαστικός σύνδεσμος
3.	Κάλυμμα ατράκτου	14.	Αναρτήσεις γεννήτριας
4.	Φωταγωγός	15.	Σύστημα προσανατολισμού
5.	Ράβδος ασφαλείας	16.	Θυρίδα επισκόπησης
6.	Εξαγωγή αέρα	17.	Εξέδρα
7.	Αλεξικέραυνο & μετρητής ταχύτητας ανέμου	18.	Στεφάνη ρουλεμάν συστήματος προσανατολισμού
8.	Γεννήτρια	19.	Φρένο συστήματος προσανατολισμού
9.	Κιβώτιο ταχυτήτων	20.	Αποξεύκτης θορύβου
10.	Δισκόφρενο δρομέα	21.	Πύργος
11.	Εφεδρικό φρένο		

### 4.3 Ηλιακή Ενέργεια

Η μέση προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στην επιφάνεια της γης είναι περίπου 600 W/m<sup>2</sup>, αλλά η πραγματική της τιμή εξαρτάται πολύ από τη γεωγραφική θέση της περιοχής. Τα συστήματα που χρησιμοποιούμε για την εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να διαχωριστούν όπως φαίνεται παρακάτω.

#### 4.3.1 Θερμικά Ηλιακά Συστήματα

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας και χωρίζονται στα ενεργητικά και τα παθητικά ηλιακά συστήματα.

#### 4.3.1.1 Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα

Ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι όσα συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία, και στη συνέχεια τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε νερό, σε αέρα ή σε κάποιο άλλο ρευστό. Η τεχνολογία που εφαρμόζεται είναι αρκετά απλή και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της σε θερμικές χρήσεις χαμηλών θερμοκρασιών.

Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι οι γνωστοί σε όλους μας ηλιακοί θερμοσίφωνες: τοποθετούνται στην οροφή ή στην

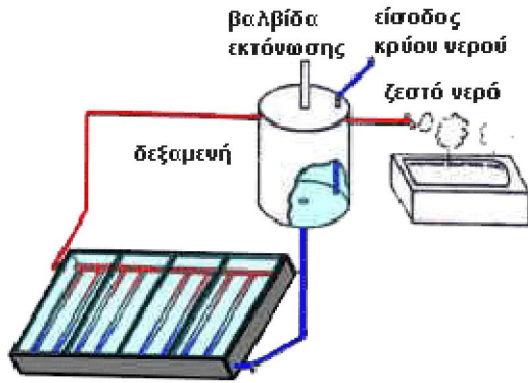


Εικόνα 4.13: Ηλιακός θερμοσίφοντας.

ταράτσα του κτηρίου, απορροφούν την ηλιακή ενέργεια και στη συνέχεια τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε κάποιο ρευστό, όπως το νερό για παράδειγμα (Εικ. 4.13).

Η απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας γίνεται μέσω ηλιακών συλλεκτών, σκουρόχρωμων δηλαδή επιφανειών καλά προσανατολισμένων στον ήλιο

(κλίση  $30^{\circ}$  –  $60^{\circ}$  ως προς τον ορίζοντα, ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως), οι οποίες απορροφούν την ακτινοβολία και θερμαίνονται. Πάνω από την απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται ένα διαφανές κάλυμμα, συνήθως από γυαλί ή πλαστικό, που παγιδεύει τη θερμότητα με εφαρμογή του φαινομένου του θερμοκηπίου. Αυξανόμενης της θερμοκρασίας στο συλλέκτη, οι μάζες νερού που θερμαίνονται γίνονται ελαφρύτερες, ανεβαίνουν προς τα επάνω λόγω της διαφοράς πυκνότητας ζεστού και κρύου νερού και αντίστοιχα κρύες μάζες νερού οδηγούνται προς την είσοδο του συλλέκτη. Έτσι, έχουμε ένα σύστημα φυσικής κυκλοφορίας με τη δεξαμενή αποθήκευσης υψηλότερα από τη συλλεκτική επιφάνεια. Σε επαφή με την απορροφητική επιφάνεια τοποθετούνται λεπτοί σωλήνες μέσα στους οποίους διοχετεύεται κάποιο υγρό, που απάγει την θερμότητα και τη μεταφέρει, με τη βοήθεια μικρών αντλιών (κυκλοφορητές), σε μια μεμονωμένη δεξαμενή αποθήκευσης. Το παραγόμενο ζεστό νερό χρησιμοποιείται για απλή οικιακή (Εικ. 4.14) ή πιο σύνθετη βιομηχανική χρήση, τελευταία δε ακόμη και για τη θέρμανση και ψύξη χώρων μέσω κατάλληλων διατάξεων.



Εικόνα 4.14: Διάγραμμα ηλιακού θερμοσίφωνα.

Η επιφάνεια ηλιακών συστημάτων που βρίσκονται σε λειτουργία στη χώρα μας είναι περίπου 2.800.000m<sup>2</sup> (στοιχεία 2001). Ήδη, περισσότερες από 1.000.000 ελληνικές οικογένειες καλύπτουν περίπου 80% των ετησίων αναγκών τους σε ζεστό νερό χρήσης με ηλιακό θερμοσίφωνα. Η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών και η ποιότητα τους γενικά έχουν βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια. Η Ελλάδα είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας σε όλη την Ευρώπη και μάλιστα σε χώρες με ιδιαίτερη βιομηχανική παράδοση, όπως η Γερμανία.

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. Υπάρχουν ήδη μερικές επιτυχημένες εφαρμογές τέτοιων συστημάτων στη χώρα μας και αναμένεται να έχουν ταχεία ανάπτυξη.

Μια άλλη εφαρμογή που έχει εξαπλωθεί στην Ευρωπαϊκή αγορά είναι ο συνδυασμός παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων με ενεργητικά ηλιακά συστήματα. Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες για τη θέρμανση χώρων, θεωρείται τεχνικά αλλά και οικονομικά αποδοτική, αν συνδυαστεί με την κατάλληλη μελέτη / κατασκευή του κτηρίου (καλή μόνωση, εκμετάλλευση των παθητικών ηλιακών ωφελειών, κ.λπ.) και τη συνεργασία του χρήστη. Μπορεί να εξοικονομήσει συμβατική ενέργεια σε νέα ή παλιά κτήρια, στα οποία έχουν ληφθεί όλα τα εφικτά μέτρα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη μεγιστοποίηση της οικονομικότητας της εγκατάστασης. Είναι, πάντως, πολύ σημαντικός ο σωστός σχεδιασμός του ηλιακού συστήματος και η προσεκτική εξέταση της οικονομικότητας της εγκατάστασης για την αποφυγή λανθασμένων επιλογών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης.

Εκτός από το επίπεδο καταναλωτών με χρήση ηλιακών συλλεκτών για θέρμανση χώρου ή νερού, η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμική επιτυγχάνεται και σε επίπεδο ηλεκτρικών σταθμών. Με τη βοήθεια παραβολικών ανακλαστικών δίσκων, η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να συγκεντρωθεί στο εστιακό σημείο 600 ως 2000 φορές περισσότερο από τη συνήθη και η θερμοκρασία να ανέλθει στους 800 ως 1500°C. Η θερμότητα που συλλέγεται με τις παραπάνω μεθόδους χρησιμοποιείται για την παραγωγή υπέρθερμου ατμού, ο οποίος κινεί μια ηλεκτρογεννήτρια.

Στην **Εικόνα 4.15** παρουσιάζεται ένα ηλιακό πάρκο. Αποτελείται από ένα κυκλικό μοτίβο πάνω από 1800 κατόπτρων. Τα κάτοπτρα συγκεντρώνουν τις ηλιακές ακτίνες σε ένα κεντρικό συλλέκτη, επιτυγχάνοντας θερμοκρασίες πάνω από 510°C. Υπολογίζεται ότι η ηλιοθερμία ως μορφή εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας θα είναι σε θέση να παράγει έως και τέσσερις (4) φορές περισσότερη ενέργεια απ' ό,τι τα φωτοβολταϊκά.



*Εικόνα 4.15: Ηλιακός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος στο Barstow της Καλιφόρνια (ο πύργος κατεδαφίστηκε το 2009).*

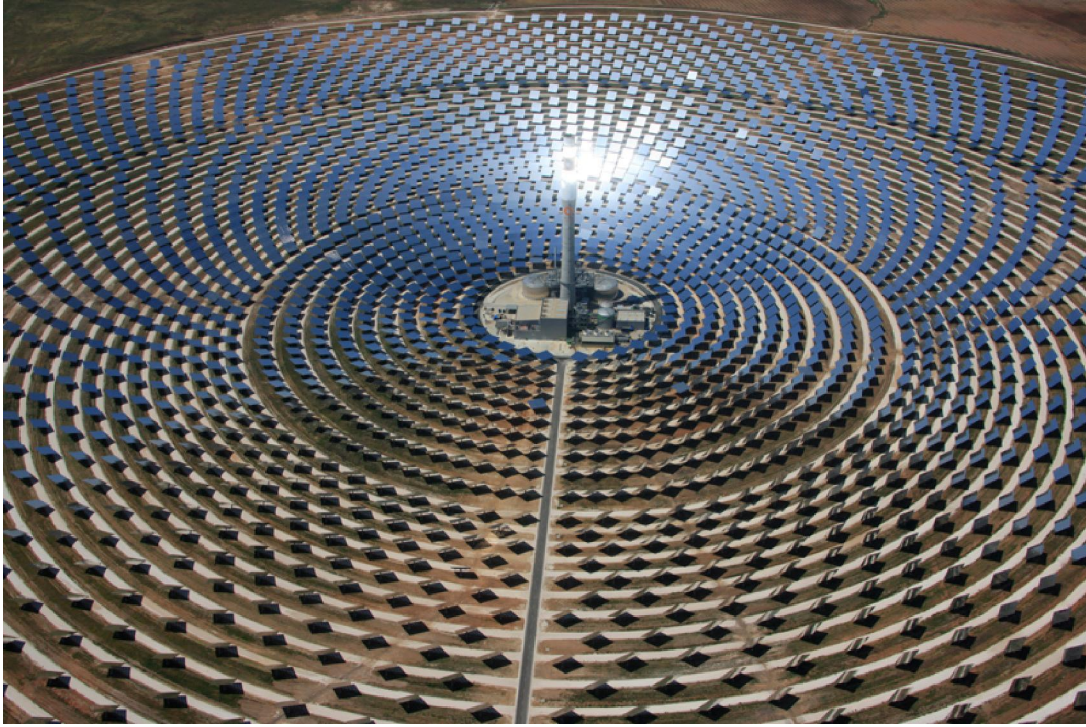
Το πρώτο ηλιοθερμικό πρόγραμμα περιελάμβανε τα ηλιοθερμικά πάρκα Solar One, Solar Two και Solar Tres.

Το Solar One κατασκευάστηκε στην έρημο Μοχάβε των Η.Π.Α. το 1981 ως μέρος ενός πιλοτικού προγράμματος θερμοηλεκτρικών σταθμών μεγάλης κλίμακας. Λειτούργησε από το 1982 ως το 1986 παράγοντας 10MW ηλεκτρικής ισχύος από

1818 κάτοπτρα επιφάνειας  $40\text{m}^2$  το καθένα. Η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρωνόταν σε ένα εστιακό σημείο του πύργου όπου η θερμική ενέργεια δεσμευόταν από κάποιο υγρό (έλαιο ή νερό) το οποίο χρησίμευε για να κινεί μια ατμογεννήτρια. Αργότερα, το 1995, το πάρκο μετονομάζεται σε Solar Two: προστίθεται ένας ακόμα δακτύλιος μεγαλύτερων κατόπτρων ( $95\text{m}^2$  έκαστο) φτάνοντας έτσι το συνολικό αριθμό τους στα 1926 και την ισχύ της εγκατάστασης στα 20MW. Επιπλέον, το Solar Two χρησιμοποιούσε ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας ρευστό αλάτι (60% νιτρικό νάτριο,  $\text{NaNO}_3$  – 40% νιτρικό κάλιο,  $\text{KNO}_3$ ) κάτι που του επέτρεπε την αποθήκευση ενέργειας για μέχρι και 3 ώρες μετά τη δύση του ηλίου. Λίγα χρόνια αργότερα, το 1999, παροπλίζεται από το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια με σκοπό τη μετατροπή του σε τηλεσκόπιο παρατήρησης ακτίνων γάμμα. Δέκα χρόνια από την τελευταία φορά που παρήγαγε ενέργεια και τέσσερα χρόνια από τότε που εγκαταλήφθηκε εντελώς, το Solar Two κατεδαφίζεται το 2009.

Με βάση την τεχνολογία που αναπτύχθηκε στα δύο αυτά προγράμματα, η εταιρεία Torresol Energy κατασκευάζει το Μάιο του 2011 στην Ανδαλουσία της Ισπανίας το Solar Tres (**Εικ. 4.16**) με εγκατεστημένη ισχύ σχεδόν 20MW, για την εμπορική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το Gemasolar, όπως ονομάστηκε αργότερα (**Εικ. 4.16**), αποτελείται από 2650 ηλιακά κάτοπτρα τοποθετημένα σε ομόκεντρους κύκλους γύρω από τον ηλιακό πύργο και επιτυγχάνει παραγωγή 110 GWh / έτος – ικανή να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες 27.500 νοικοκυριών.



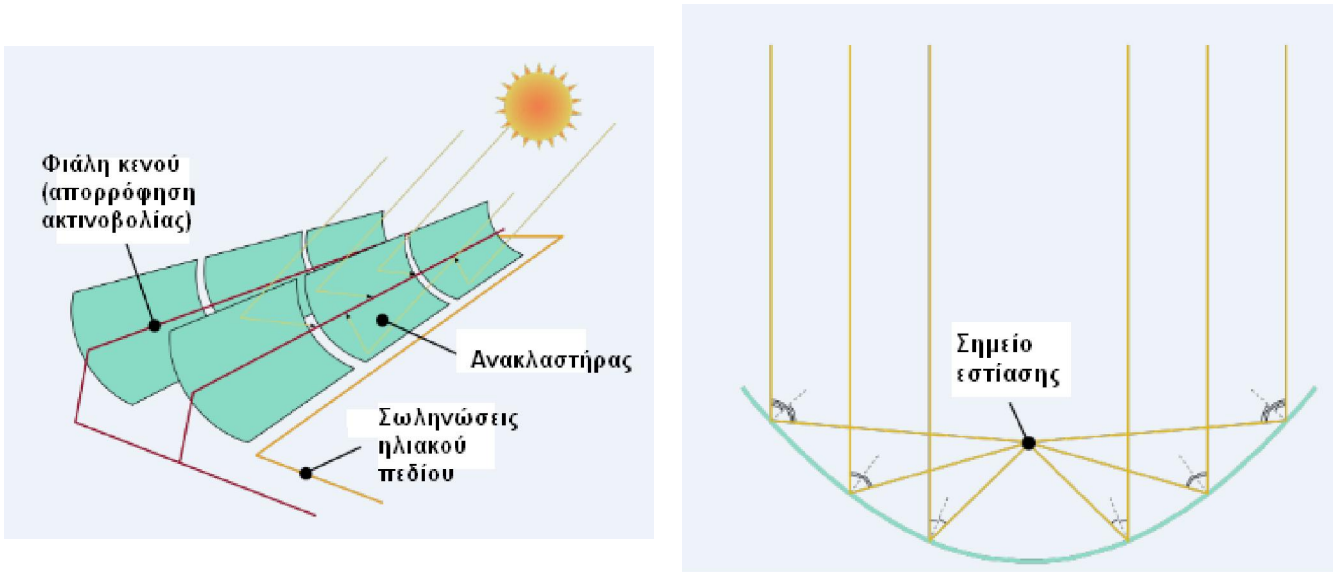


**Εικόνα 4.16:** Το ηλιοθερμικό εργοστάσιο Gemasolar στην Ισπανία (Πηγή: Ιστοσελίδα Wikipedia, 2012).

Στη χώρα μας, στα μέσα Σεπτεμβρίου 2012, η Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης ενέκρινε την άδεια εγκατάστασης για το Πάρκο Ηλιοθερμίας στο Λασιθί της Κρήτης. Η νέα εγκατάσταση θα δημιουργηθεί σε έκταση περίπου 300 στρεμμάτων, στη θέση Πλαγιές Αθερινόλακκου, κοντά στην κοινότητα Αγίας Τριάδας, του δήμου Σητείας. Το Πάρκο Ηλιοθερμίας της Κρήτης αναμένεται να ξεκινήσει να κατασκευάζεται μέσα στους προσεχείς μήνες και, σύμφωνα με τον προγραμματισμό, πρόκειται να ξεκινήσει να προσθέτει κιλοβατώρες στο δίκτυο ηλεκτρισμού της Μεγαλονήσου μέσα στο 2015. Η εγκατεστημένη του ενεργειακή ισχύς έχει προβλεφθεί να φτάνει τα 38MW. Εκτιμάται ότι το ηλιοθερμικό πάρκο της Κρήτης μπορεί να παράγει περισσότερες από 71.152 μεγαβατώρες κάθε χρόνο, ενέργεια που καλύπτει τις ετήσιες ανάγκες για ηλεκτρικό ρεύμα περίπου 13.000 νοικοκυριών (Πηγή: ιστοσελίδα Real News, 2012)

Με παρόμοια χρήση της βασικής ιδέας αλλά διαφορετικά ανεπτυγμένη τεχνολογία, κατασκευάστηκε τον Ιούνιο του 2007 το Nevada Solar One. Το ηλιοθερμικό αυτό εργοστάσιο εφαρμόζει την τεχνολογία «παραβολικής σκάφης»: παραβολικά ηλιακά κάτοπτρα συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία στον άξονα εστίασης (κατά μήκος της μέγιστης διάστασής τους) όπου συλλέγεται σε μια φιάλη κενού που διατρέχει τον

άξονα. Η σκάφη είναι συνήθως τοποθετημένη κατά τον άξονα βοράς – νότος και περιστρέφεται για να ακολουθεί την ηλιακή τροχιά στο στερέωμα. Τα παραπάνω φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικ. 4.17).



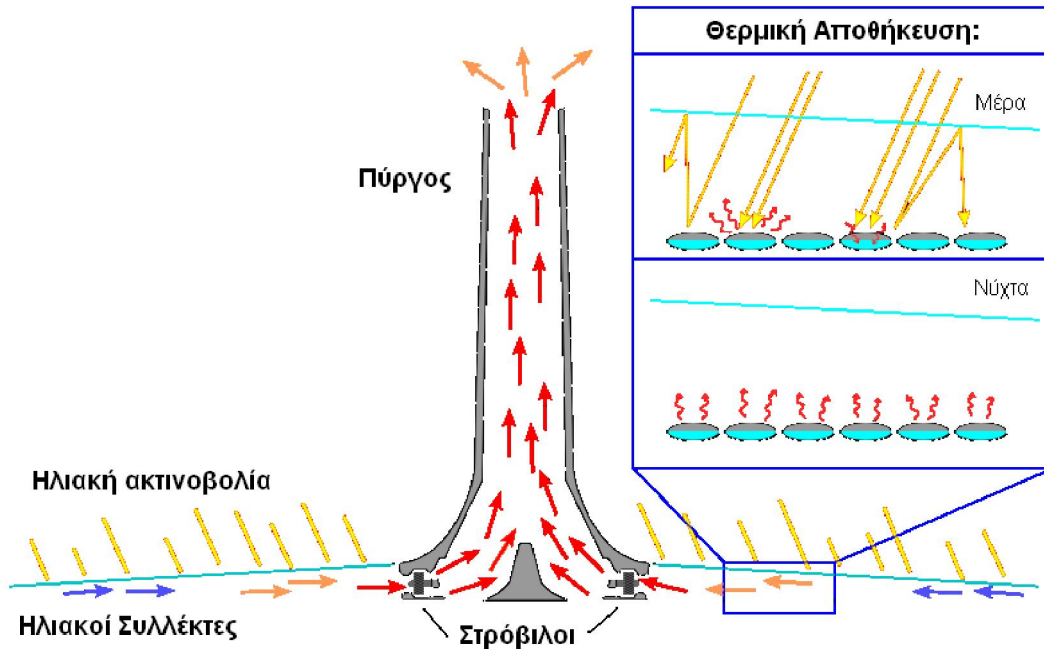
Εικόνα 4.17: Η τεχνολογία της «παραβολικής σκάφης» (Πηγή: Ιστοσελίδα Wikipedia, 2012).

Στην ίδια λογική κινείται και η εγκατάσταση εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας γνωστή και ως ηλιακός φούρνος (ή ηλιακή εστία). Ο μεγαλύτερος ηλιακός φούρνος του κόσμου βρίσκεται στο Odeillo – Font – Romeau των Γαλλικών Πυρηναίων (Εικ. 4.18). Ο τεράστιος παραβολικός ανακλαστήρας του ηλιακού σταθμού χρησιμεύει στο να συγκεντρώνει την ακτινοβολία στο εστιακό σημείο του πύργου όπου η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει και τους 3500°C. Βρίσκει εφαρμογές κατά κύριο λόγο στη βιομηχανία, όπως για παράδειγμα τη θερμική διάσπαση μεθανίου για παραγωγή υδρογόνου (~1000°C), τη δοκιμή υλικών σε ακραίες συνθήκες που προσομοιάζουν εκείνες των πυρηνικών αντιδραστήρων και των διαστημοπλοίων κατά την είσοδό τους στη γήινη ατμόσφαιρα (~1400°C) και την παραγωγή νανοσωματιδίων με ηλιακή επαγωγική εξάχνιση και ελεγχόμενη ψύξη, όπως οι νανοσωλήνες άνθρακα και τα νανοσωματίδια ψευδαργύρου (~3500°C).



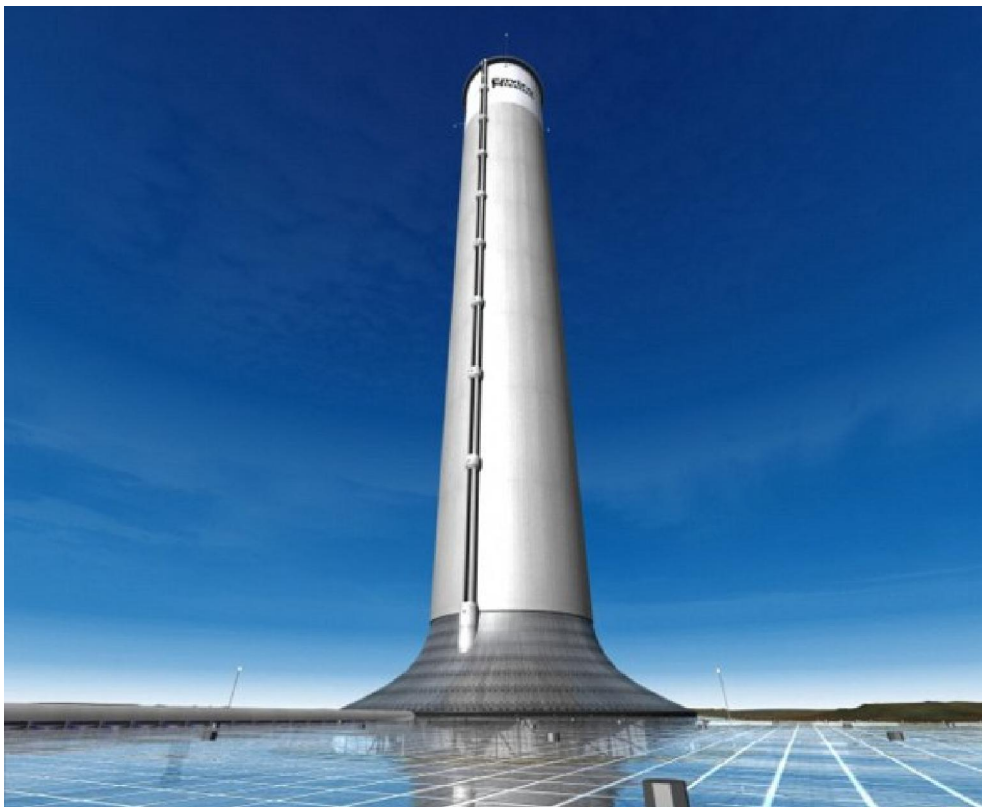
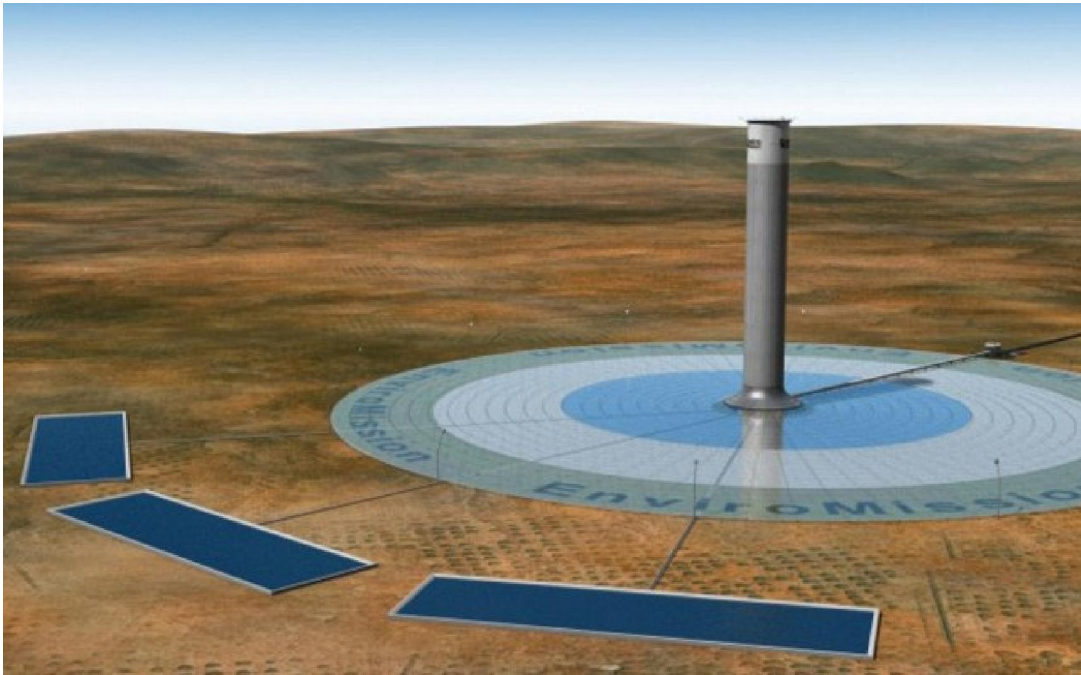
*Εικόνα 4.18: Ο ηλιακός φούρνος του Odeillo – Font – Romeau στα Γαλλικά Πυρηναία. Ο παραβολικός ανακλαστήρας είναι ιδιαίτερα αποδοτικός στη συγκέντρωση των ηλιακών ακτίνων.*

Ένα άλλο είδος εγκατάστασης για τη συλλογή και εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ο ηλιακός πύργος ανερχόμενου ρεύματος (**Εικ. 4.19**). Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει πάνω σε ένα συλλέκτη που προσομοιάζει με θερμοκήπιο και περιβάλλει ένα ψηλό πύργο («καμινάδα»). Λόγω μεταγωγής, ο περιεχόμενος στο συλλέκτη αέρας θερμαίνεται και κατευθύνεται προς την «καμινάδα» όπου και ανέρχεται. Κατά την άνοδό του διέρχεται από τουρμπίνα την οποία κινεί με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.



Εικόνα 4.19: Ηλιακός πύργος ανερχόμενου ρεύματος (Πηγή: Ιστοσελίδα Wikipedia, 2012).

Η αυστραλιανή εταιρεία EnviroMission φιλοδοξεί να κατασκευάσει το μεγαλύτερο ηλιακό πύργο ανερχόμενου ρεύματος στον κόσμο, στην έρημο της Αριζόνα σύμφωνα με τις δηλώσεις του προέδρου της εταιρείας το 2011 (Εικ. 4.20 και 4.21). Στα πλεονεκτήματα του ηλιακού πύργου ανερχόμενου ρεύματος συγκαταλέγεται το ότι δε χρειάζεται νερό για να λειτουργήσει. Ανεμογεννήτριες θα χρησιμοποιηθούν ώστε να κατευθύνουν τον θερμαινόμενο, από τον ήλιο, αέρα μέσα σε την καμινάδα μήκους 800 μέτρων με αποτέλεσμα την παραγωγή τεραστίων ποσών φυσικής ενέργειας. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς, περισσότερο από 1 εκατομμύριο MWh / έτος θα παράγονται από το κατασκεύασμα αυτό, ενέργεια ικανή να τροφοδοτήσει 150.000 νοικοκυριά. Η ολική έκτασή του θα έχει διάμετρο μεγαλύτερη των 3,1 χιλιομέτρων, ενώ η βάση του αυτού καθ' εαυτού πύργου θα είναι όσο το μέγεθος ενός γηπέδου ποδοσφαίρου. Το ύψος του θα το καθιστά, με πολύ μικρή διαφορά, το δεύτερο ψηλότερο κτήριο στον κόσμο μετά από το Burj Khalifa στο Ντουμπάι, με ύψος 900 μέτρα. Το συνολικό κόστος του ανέρχεται στα 700 εκατομμύρια δολάρια (Πηγή: [www.newsbeast.gr](http://www.newsbeast.gr), 2012).



*Εικόνα 4.20 & Εικόνα 4.21: Σχέδια του προς κατασκευή μεγαλύτερου ηλιακού πύργου ανερχόμενου ρεύματος παγκοσμίως (Πηγή: [www.newsbeast.gr](http://www.newsbeast.gr), 2012).*

#### 4.3.1.2 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα (Θέρμανσης – Δροσισμού – Φωτισμού)

Τα συστήματα που, ως απλά κομμάτια του κτηριακού περιβλήματος, λειτουργούν βάσει των φυσικών νόμων χωρίς την παρεμβολή μηχανικών μέσων ονομάστηκαν παθητικά ηλιακά συστήματα και εξασφαλίζουν και δροσισμό με φυσικό τρόπο το καλοκαίρι. Όταν τα συστήματα αυτά συνοδεύονται από κάποιο μηχανικό σύστημα χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης (π.χ. ανεμιστήρα), ονομάζονται υβριδικά.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούνται από δομικά στοιχεία, κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα μεταξύ τους, ώστε να υποβοηθούν την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τον φυσικό φωτισμό των κτηρίων ή για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας μέσα σε αυτά. Αποτελούν την αρχή της Βιοκλιματικής Αρχιτεκτονικής και μπορούν να εφαρμοσθούν σε όλους σχεδόν τους τύπους κτηρίων.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο κτηριακός τομέας είναι από τους πιο ενεργοβόρους τομείς σε παγκόσμιο επίπεδο και ότι στην Ελλάδα αντιστοιχεί στο 29% περίπου της συνολικής τελικής ενεργειακής κατανάλωσης της χώρας (Μαρινάκης Ι., 2012), είναι άμεσα αντιληπτή η σημασία μιας ευρείας εφαρμογής παθητικών συστημάτων και συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας στα κτήρια.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι αναπόσπαστα κομμάτια – δομικά στοιχεία ενός κτηρίου που λειτουργούν, όπως είπαμε, χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα ή πρόσθετη παροχή ενέργειας και με φυσικό τρόπο θερμαίνουν, αλλά και δροσίζουν τα κτήρια. Χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

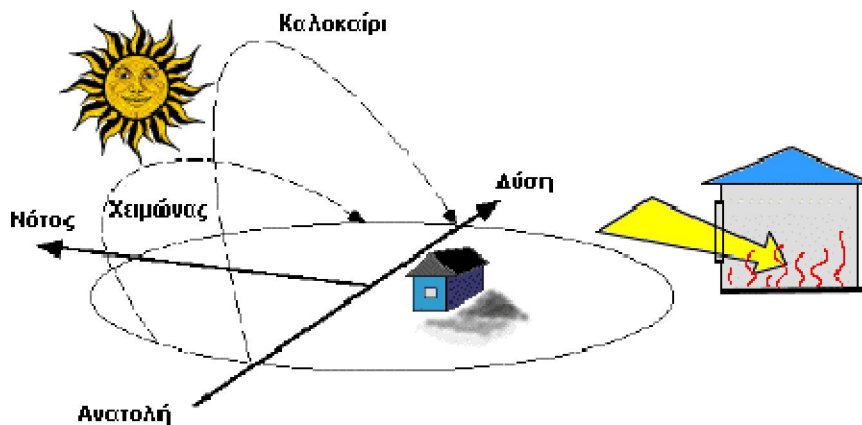
- i. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης
- ii. Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού
- iii. Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού

Ο Βιοκλιματικός Σχεδιασμός ενός κτηρίου συνεπάγεται τη συνύπαρξη και συνδυασμένη λειτουργία όλων των συστημάτων, ώστε να συνδυάζουν θερμικά και οπτικά οφέλη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

i. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα στα κτήρια αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση των χώρων το χειμώνα, καθώς και για παροχή φυσικού φωτισμού. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο.

Αρχή της λειτουργίας όλων των παθητικών συστημάτων είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η συλλογή δηλαδή και ο εγκλωβισμός της ηλιακής ενέργειας σε μορφή θερμότητας σε ένα χώρο μέσα από το γυαλί και επιπλέον η αποθήκευση της περίσσειας θερμότητας που συλλέγεται στη μάζα του κτηρίου, ώστε να αποδίδεται στο χώρο όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου. 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 (Εικ. 4.22).



*Εικόνα 4.22: Ορθός προσανατολισμός παθητικών ηλιακών συστημάτων για μέγιστη απόδοση.*

Το συνηθέστερο παθητικό ηλιακό σύστημα (σύστημα άμεσου κέρδους) βασίζεται στην αξιοποίηση των παραθύρων κατάλληλου προσανατολισμού, σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμική μάζα (βαριά υλικά, όπως πέτρα, πλάκες, μπετόν στους τοίχους και στα δάπεδα, χωρίς να είναι καλυμμένα, π.χ. από χαλιά), η οποία απορροφά μέρος της θερμότητας και την «προσφέρει» στο χώρο αργότερα και έτσι διατηρείται ο χώρος θερμός για πολλές ώρες. Ένα νότιο οριζόντιο σκίαστρο μπορεί να εμποδίσει τον καλοκαιρινό ήλιο που έρχεται από πιο ψηλά να μπει απ' ευθείας στο χώρο.

Τα υπόλοιπα παθητικά συστήματα είναι συστήματα έμμεσου κέρδους και ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Ηλιακοί τοίχοι:** Έχουν στην εξωτερική τους πλευρά, σε μικρή απόσταση από την τοιχοποιία, τζάμι (υαλοπίνακα) και λειτουργούν ως ηλιακοί συλλέκτες, μεταφέροντας τη θερμότητα είτε μέσω του υλικού του τοίχου (τοίχος θερμικής αποθήκευσης), είτε μέσω θυρίδων (θερμοσιφωνικό πανέλο) στον εσωτερικό χώρο. Συνδυασμός των δύο λειτουργιών είναι ο τοίχος μάζας με θυρίδες (τοίχος Trombe – Michel).
- **Θερμοκήπια (ηλιακοί χώροι):** Είναι κλειστοί χώροι που ενσωματώνονται σε νότια τμήματα του κτηριακού κελύφους και περιβάλλονται από υαλοστάσια. Η ηλιακή θερμότητα από το θερμοκήπιο μεταφέρεται στους κυρίως χώρους του κτηρίου μέσω ανοιγμάτων ή και διαπερνά τον τοίχο.
- **Ηλιακά αίθρια:** είναι εσωτερικοί χώροι του κτηρίου οι οποίοι έχουν στην οροφή τους τζάμι και λειτουργούν όπως τα θερμοκήπια.

Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα πρέπει να συνδυάζονται με την απαιτούμενη θερμική προστασία (θερμομόνωση) και την απαιτούμενη θερμική μάζα του κτηρίου, η οποία αποθηκεύει και αποδίδει τη θερμότητα στο χώρο με χρονική υστέρηση, ομαλοποιώντας έτσι την κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο εικοσιτετράωρο. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θα πρέπει το καλοκαίρι να συνδυάζονται με ηλιοπροστασία και συχνά με δυνατότητα αερισμού.

#### ii. Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού

Οι πιο συνηθισμένες και απλές μέθοδοι φυσικού δροσισμού είναι:

- Η ηλιοπροστασία (σκίαση) του κτηρίου, η οποία επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους και μέσα, όπως η φυσική βλάστηση, τα γεωμετρικά στοιχεία (προεξοχές) του κτηρίου, σκίαστρα μόνιμα ή κινητά, εξωτερικά ή εσωτερικά των ανοιγμάτων, υαλοπίνακες με ειδικές επιστρώσεις ή ειδικής επεξεργασίας (ανακλαστικοί, επιλεκτικοί, ηλεκτροχρωμικοί, κ.λ.π.).



- Ο φυσικός εξαερισμός με κατάλληλο σχεδιασμό και λειτουργία των ανοιγμάτων στο κέλυφος και θυρίδες στο πάνω και κάτω τμήμα των διαχωριστικών εσωτερικών τοίχων που επιτρέπουν την κίνηση του αέρα στους εσωτερικούς χώρους.
- Ο νυκτερινός διαμπερής αερισμός είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός, ιδιαίτερα τις θερμές ημέρες, κατά τις οποίες ο ημερήσιος αερισμός δεν είναι δυνατός. Ο νυκτερινός αερισμός συνεισφέρει στην αποθήκευση «δροσιάς» στη θερμική μάζα του κτηρίου, με αποτέλεσμα την μειωμένη επιβάρυνσή του κατά την επόμενη μέρα.
- Η χρήση ανεμιστήρων, ιδιαίτερα ανεμιστήρων οροφής, ενισχύει το φαινόμενο του φυσικού αερισμού, με ελάχιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Επί πλέον, συνεισφέρει στην επίτευξη θερμικής άνεσης σε θερμοκρασίες υψηλότερες από τις συνήθειες (περίπου 2 – 3°C), καθώς με την κίνηση του αέρα που δημιουργείται μεταφέρεται θερμότητα από το ανθρώπινο σώμα.
- Η χρήση της θερμικής μάζας για τη μείωση των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου.
- Μείωση των εσωτερικών κερδών του κτηρίου (θερμότητα που παράγεται από τις ηλεκτρικές, κυρίως συσκευές).

Άλλες μέθοδοι παθητικού δροσισμού πιο σύνθετες και όχι τόσο ευρείας εφαρμογής, επιφέρουν επιπρόσθετα οφέλη ψύξης, και είναι:

- Θερμική προστασία του κτηριακού περιβλήματος με τεχνικές όπως φυτεμένο δώμα, αεριζόμενο κέλυφος, ανακλαστικά επιχρίσματα εξωτερικών επιφανειών, φράγμα ακτινοβολίας.
- Ενίσχυση του φυσικού εξαερισμού με πύργους αερισμού ή ηλιακές καμινάδες
- Δροσισμός με εξάτμιση νερού με τεχνικές όπως: επιφάνειες νερού, πύργος δροσισμού, ψυκτικές μονάδες εξάτμισης (άμεσης, έμμεσης ή συνδυασμένης εξάτμισης), ή και βλάστηση (μέσω της εξατμισοδιαπνοής των φυτών)
- Δροσισμός με απόρριψη της θερμότητας στην ατμόσφαιρα με ακτινοβολία στο νυκτερινό ουρανό

- Δροσισμός με απόρριψη της θερμότητας από το κτήριο στη γη με αγωγή, (υπόσκαφα ή ημιυπόσκαφα κτήρια, ή υπεδάφιο σύστημα αγωγών και εναλλάκτες εδάφους – αέρα).

### iii. Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού

Ο φυσικός φωτισμός στοχεύει στην επίτευξη οπτικής άνεσης μέσα στα κτήρια, αλλά και στη γενικότερη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης μέσα στους χώρους, συνδυάζοντας φως, θέα, δυνατότητα αερισμού, αξιοποίηση και ρύθμιση της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας. Ιδιαίτερη σημασία κατά το σχεδιασμό των συστημάτων φυσικού φωτισμού έχει η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη των απαιτήσεων σε φωτισμό από το φυσικό φως, ανάλογα με τη χρήση του κτηρίου και την εργασία που επιτελείται μέσα στους χώρους.

Μέσω των κατάλληλων συστημάτων και τεχνικών εξασφαλίζεται στους εσωτερικούς χώρους επαρκής ποσότητα (στάθμη φωτισμού), αλλά και ομαλή κατανομή, ώστε να αποφεύγονται έντονες διαφοροποιήσεις της στάθμης, οι οποίες προκαλούν φαινόμενο «θάμβωσης».

Τα συστήματα φυσικού φωτισμού διακρίνονται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες:

1. Ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία
2. Ανοίγματα οροφής
3. Αίθρια
4. Φωταγωγοί

Τα συστήματα αυτά συνδυάζονται με συγκεκριμένες τεχνικές που αφορούν στο σχεδιασμό των ανοιγμάτων, στις οπτικές ιδιότητες των υαλοπινάκων, στα φωτομετρικά χαρακτηριστικά επιφανειών του χώρου και των ανοιγμάτων του (υφή, χρώμα, φωτοδιαπερατότητα υλικών) και στη χρήση ανακλαστήρων, για την εξασφάλιση επάρκειας και ομαλής κατανομής του φυσικού φωτός. Οι συνηθέστερες τεχνολογίες φυσικού φωτισμού αφορούν υαλοπίνακες με συγκεκριμένες ιδιότητες, πρισματικά φωτοδιαπερατά στοιχεία, διαφανή μονωτικά υλικά και ανακλαστήρες (ράφια φωτισμού ή ανακλαστικές περσίδες).

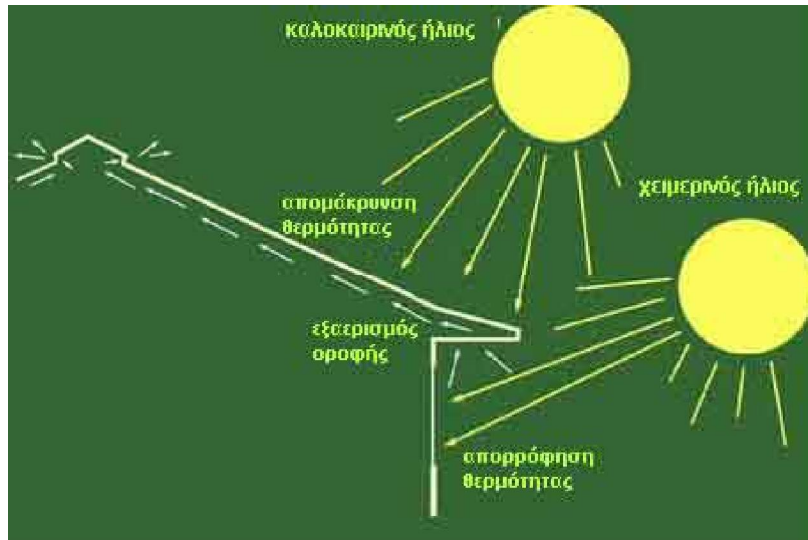
#### 4.3.1.3 Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική – Βιοκλιματικός Σχεδιασμός

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά στο σχεδιασμό κτηρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών – υπαίθριων) με βάση το τοπικό κλίμα, με σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες περιβαλλοντικές πηγές αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος. Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν τα παθητικά συστήματα που ενσωματώνονται στα κτήρια με στόχο την αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών (π.χ. ήλιο, αέρα – άνεμο, βλάστηση, νερό, έδαφος, ουρανό) για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτηρίων.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός εξαρτάται από το τοπικό κλίμα και βασίζεται στις παρακάτω αρχές:

- ❖ Θερμική προστασία των κτηρίων τόσο το χειμώνα, όσο και το καλοκαίρι με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών που εφαρμόζονται στο εξωτερικό κέλυφος των κτηρίων, ιδιαίτερα με την κατάλληλη θερμομόνωση και αεροστεγάνωση του κτηρίου και των ανοιγμάτων του.
- ❖ Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των κτηρίων τη χειμερινή περίοδο και για φυσικό φωτισμό όλο το χρόνο. Αυτό επιτυγχάνεται με τον προσανατολισμό των χώρων και ιδιαίτερα των ανοιγμάτων (ο νότιος προσανατολισμός είναι ο καταλληλότερος) και την διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων ανάλογα με τις θερμικές τους ανάγκες και με τα παθητικά ηλιακά συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και αποτελούν «φυσικά» συστήματα θέρμανσης, αλλά και φωτισμού.
- ❖ Προστασία των κτηρίων από τον καλοκαιρινό ήλιο, κυρίως μέσω της σκίασης, αλλά και της κατάλληλης κατασκευής του κελύφους.
- ❖ Απομάκρυνση της θερμότητας που το καλοκαίρι συσσωρεύεται μέσα στο κτήριο με φυσικό τρόπο προς το εξωτερικό περιβάλλον με συστήματα και τεχνικές παθητικού δροσισμού, όπως ο φυσικός αερισμός, κυρίως κατά τις νυχτερινές ώρες.
- ❖ Βελτίωση – ρύθμιση των περιβαλλοντικών συνθηκών μέσα στους χώρους έτσι ώστε οι άνθρωποι να νιώθουν άνετα και ευχάριστα

- ❖ Εξασφάλιση επαρκούς ηλιασμού και ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας για φυσικό φωτισμό των κτηρίων, ο οποίος θα πρέπει να εξασφαλίζει επάρκεια και ομαλή κατανομή του φωτός μέσα στους χώρους.
- ❖ Βελτίωση του κλίματος έξω και γύρω από τα κτήρια, με τον βιοκλιματικό σχεδιασμό των χώρων γύρω και έξω από τα κτήρια και εν γένει, του δομημένου περιβάλλοντος, ακολουθώντας όλες τις παραπάνω αρχές.



Εικόνα 4.23: Βιοκλιματική θέρμανση και ψύξη.

Σημαντικά σημεία:

- ⇒ Τα κτήρια είναι σημαντικοί καταναλωτές ενέργειας και συνεισφέρουν σε μεγάλο βαθμό στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή, προκαλώντας σοβαρή περιβαλλοντική επιβάρυνση.
- ⇒ Ζώντας μέσα στα κτήρια, μπορούμε να κάνουμε τη ζωή μας πιο άνετη, να προστατεύσουμε το περιβάλλον και την υγεία μας και να βελτιώσουμε την ποιότητα διαβίωσής μας. Μπορούμε λοιπόν να τα χρησιμοποιούμε ορθολογικά για το σκοπό αυτό.
- ⇒ Η ενέργεια που καταναλώνουμε στα κτήρια κοστίζει. Αξίζει να αναρωτηθούμε για το ποιός πληρώνει αυτή την κατανάλωση και για ποιό σκοπό.
- ⇒ Όλοι επηρεάζουμε την ενεργειακή συμπεριφορά των κτηρίων στα οποία διαβιούμε. Εφόσον γνωρίζουμε για το σωστό σχεδιασμό, τα υλικά και τη

χρήση των τεχνολογιών μπορούμε να εφαρμόσουμε ό,τι είναι εφικτό σε κάθε περίπτωση. Κάθε ενέργεια, ακόμα και η πιο απλή, μπορεί να έχει ενεργειακό όφελος για το κτήριό μας.

- ⇒ Ο ήλιος θερμαίνει και τα κτήρια. Μπορούμε να αξιοποιήσουμε τη γνώση αυτή με τα παθητικά ηλιακά συστήματα και το βιοκλιματικό σχεδιασμό.
- ⇒ Προστατεύουμε τα κτήρια από το κρύο και τη ζέστη με την κατάλληλη μόνωση.
- ⇒ Όπως προστατευόμαστε από τον ήλιο το καλοκαίρι, μπορούμε και να προστατεύσουμε τα κτήριά μας.
- ⇒ Ο φυσικός δροσισμός, σε σχέση με τα κλιματιστικά (air condition), δεν έχει μόνο ενεργειακά, οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, αλλά αποτελεί και μια διαφορετική προσέγγιση με στόχο την ανθρώπινη άνεση και ευεξία.
- ⇒ Μπορούμε να αξιοποιούμε τις φυσικές πηγές, μειώνοντας παράλληλα τα εσωτερικά φορτία των κτηρίων.
- ⇒ Μπορούμε να αξιοποιήσουμε το φυσικό φως του ήλιου, αλλά πρέπει να κατανοούμε και να αντιμετωπίζουμε το φαινόμενο της θάμβωσης.
- ⇒ Τα κτήρια θα πρέπει να λειτουργούν ορθολογικά για να εξασφαλίζεται η απόδοση των παθητικών συστημάτων και των τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας. Να μην ξεχνάμε να ανοίγουμε και να κλείνουμε παράθυρα και τα στόρια όποτε πρέπει.
- ⇒ Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η κατανάλωση ενέργειας προκαλεί περιβαλλοντική υποβάθμιση. Αντίθετα, τα βιοκλιματικά και χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης κτήρια βελτιώνουν την ποιότητα ζωής των ανθρώπων μέσα σε αυτά.

#### 4.3.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Όλοι έχουμε συναντήσει φωτοβολταϊκά συστήματα σε μικρούς υπολογιστές και ρολόγια. Πρόκειται για συστήματα που στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου και που, εδώ και πολλά χρόνια, χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση μη διασυνδεδεμένων

στο ηλεκτρικό δίκτυο καταναλώσεων. Δορυφόροι, φάροι και απομονωμένα σπίτια χρησιμοποιούν παραδοσιακά τα φωτοβολταϊκά για την ηλεκτροδότησή τους.

#### 4.3.2.1 Απευθείας μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική

Στα ηλιακά κύτταρα, το φωτοβολταϊκό φαινόμενο πραγματοποιείται σε ένα λεπτό στρώμα κατάλληλου υλικού, π.χ. πυριτίου, όπου ζεύγη οπών – ηλεκτρονίων δημιουργούνται από την πρόσπτωση ηλιακών φωτονίων, ενώ η ασυνέχεια του δυναμικού του κυττάρου διαχωρίζει τις οπές από τα ηλεκτρόνια και δημιουργεί διαφορά δυναμικού. Ενώ η θεωρητική απόδοση είναι 25%, οι πρακτικές τιμές είναι περίπου 15%, αν και κοντά στο Tempe της Αριζόνα κατασκευάστηκε φωτοβολταϊκός σταθμός 20kW με πρωτοποριακά ηλιακά κύτταρα από κρυσταλλικό πυρίτιο στηριγμένα κάτω από ακρυλικούς συγκεντρωτικούς φακούς, απόδοσης 20%. Δυναμικά εισέρχεται στην αγορά και η πρωτοποριακή τεχνολογία λεπτών στρωμάτων άμορφου πυριτίου (που είναι πολύ φθηνότερη από την τεχνολογία του κρυσταλλικού πυριτίου), που προμήθευσε τα τελευταία δύο χρόνια ηλιακά κύτταρα ισχύος 25MW, ενώ εκτιμάται ότι η συνολική ισχύς των κυττάρων πλησιάζει τα 150MW (1998). Η μεγαλύτερη απόδοση, περίπου 22%, επετεύχθη με κύτταρα γαλλίου – αρσενικού, αλλά η τοξικότητα του αρσενικού και οι υπάρχουσες μικρές ποσότητες γαλλίου δεν επιτρέπουν την εμπορική εκμετάλλευση αυτών των κυττάρων.

Ανάλογα με τη χρήση του παραγόμενου ρεύματος, τα Φ/Β κατατάσσονται σε:

- ✓ Αυτόνομα συστήματα, η παραγόμενη ενέργεια των οποίων καταναλώνεται επιτόπου και εξολοκλήρου από την παραγωγή στην κατανάλωση
- ✓ Διασυνδεδεμένα συστήματα, η παραγόμενη ενέργεια των οποίων διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να μεταφερθεί και να καταναλωθεί αλλού

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.

Μία τυπική Φ/Β συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

#### 4.3.2.2 Κατηγορίες Φ/Β Συστημάτων

Σαν κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών Φ/Β συστημάτων μπορούν να θεωρηθούν οι εξής:

➤ Καταναλωτικά προϊόντα (1Wp – 100Wp)

Τα συστήματα της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικρής κλίμακας ισχύος όπως τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής, εξωτερικός φωτισμός κήπων, ψύξη και προϊόντα όπως μικροί φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φανοί κ.ά.

➤ Αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα (100Wp – 200kWp)

Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για κατοικίες και μικρούς οικισμούς που δεν είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Ακόμη χρησιμοποιούνται για:

- ✓ Ηλεκτροδότηση Ιερών Μονών
- ✓ Αφαλάτωση / άντληση / καθαρισμό νερού
- ✓ Συστήματα εξωτερικού φωτισμού δρόμων, πάρκων, αεροδρομίων κλπ.
- ✓ Συστήματα τηλεπικοινωνιών, τηλεμετρήσεων και συναγερμού
- ✓ Συστήματα σηματοδότησης οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας κλπ.
- ✓ Αγροτικές εφαρμογές όπως άντληση νερού, ιχθυοκαλλιέργειες, ψύξη αγροτικών προϊόντων, φαρμάκων κλπ.

➤ Μεγάλα Διασυνδεδεμένα στο Δίκτυο Φ/Β Συστήματα

Η κατηγορία αυτή αφορά Φ/Β σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγέθους 50kWp έως μερικά MWp, στους οποίους η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο.

➤ Διασυνδεδεμένα Φ/Β Συστήματα – Οικιακός Τομέας

Στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν Φ/Β συστήματα τυπικού μεγέθους 1,5kWp έως 20kWp, τα οποία έχουν εγκατασταθεί σε στέγες ή προσόψεις κατοικιών και τροφοδοτούν άμεσα τις καταναλώσεις του κτηρίου, η δε πλεονάζουσα ενέργεια διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Όπως προαναφέρθηκε, η κατηγορία αυτή αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας αγοράς Φ/Β συστημάτων.

Επίσης, οι Φ/Β συστοιχίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως δομικά στοιχεία των κτηρίων, εφόσον γίνει σωστός σχεδιασμός. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται η οικονομική απόδοση του συστήματος, λόγω αποφυγής κόστους συμβατικών οικοδομικών υλικών.

#### **4.3.2.3 Εφαρμογές Φ/Β Συστημάτων στην Ελλάδα**

Η ηλεκτροπαραγωγή από Φ/Β έχει ένα τεράστιο πλεονέκτημα: αποδίδει την μέγιστη ισχύ της κατά τη διάρκεια της ημέρας που παρουσιάζεται η μέγιστη ζήτηση. Στην Ελλάδα, η προοπτική ανάπτυξης και εφαρμογής των Φ/Β συστημάτων είναι τεράστια, λόγω του ιδιαίτερα υψηλού δυναμικού ηλιακής ενέργειας.

Οι κύριες εφαρμογές Φ/Β συστημάτων στον Ελλαδικό χώρο είναι οι εγκαταστάσεις της ΔΕΗ στα νησιά (Κύθνος, Αρκοί, Αντικύθηρα, Γαύδος, Σίφνος κλπ.), οι ηλεκτροδότηση του συνόλου του φαρικού δικτύου από την αντίστοιχη υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού, αναμεταδότες σταθερής και κινητής τηλεφωνίας, καθώς και διάφορες εγκαταστάσεις στα πλαίσια πιλοτικών εφαρμογών μέσω επιδοτούμενων έργων της ΕΕ, αλλά και του Ε.Π.ΑΝ. (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητας).

Η εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα εκτιμάται σε 2,2MWp στο τέλος του έτους 2003, το 50% των οποίων είναι Φ/Β εγκαταστάσεις διασυνδεδεμένες στο δίκτυο. Η



ετήσια παραγωγή ενέργειας από Φ/Β κατά το 2002 και 2003, ήταν 2,3GWh και 2,7 GWh αντίστοιχα. Το εκτιμώμενο δυναμικό της βιομηχανίας Φ/Β στην Ελλάδα είναι 60 – 70 άτομα και ο ετήσιος κύκλος εργασιών είναι της τάξης των €3 εκατομμυρίων (Κ.Α.Π.Ε., 2012).

Η δυνητική αγορά των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα αλλά και η παραγωγική δραστηριότητα είναι αντίστοιχη της αγοράς των ηλιακών συλλεκτών ζεστού νερού. Η ανάπτυξη της αγοράς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προώθηση βέλτιστων μέτρων και κινήτρων εκ μέρους της πολιτείας.

#### **4.3.2.4 Παράγοντες που συντελούν στην ανάπτυξη των Φ/Β στην Ελλάδα**

Η Ελλάδα παρουσιάζει αξιοσημείωτες προϋποθέσεις για ανάπτυξη και εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων. Οι λόγοι για την προώθηση της Φ/Β τεχνολογίας, της έρευνας και των εφαρμογών στην Ελλάδα συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Αξιοποίηση μιας εγχώριας και ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που είναι σε αφθονία, με συμβολή στην ασφάλεια παροχής ενέργειας.
- Υποστήριξη του τουριστικού τομέα για ανάπτυξη φιλική προς το περιβάλλον και οικολογικό τουρισμό, ιδιαίτερα στα νησιά. Η ενεργειακή εξάρτηση των νησιωτικών σταθμών παραγωγής ενέργειας από το πετρέλαιο και το τεράστιο κόστος μεταφοράς της, έχουν άμεσο αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής των κατοίκων, στην τουριστική ανάπτυξη και στο κόστος παραγωγής ενέργειας, το οποίο τελικώς χρεώνεται η ΔΕΗ.
- Ενίσχυση του ηλεκτρικού δικτύου τις ώρες των μεσημβρινών αιχμών, όπου τα Φ/Β παράγουν το μεγάλο μέρος ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο που παρατηρείται έλλειψη ή πολύ υψηλό κόστος ενέργειας.
- Μείωση των απωλειών του δικτύου, με την παραγωγή ενέργειας στον τόπο της κατανάλωσης, ελάφρυνση των γραμμών και χρονική μετάθεση των επενδύσεων στο δίκτυο.
- Περιορισμός του ρυθμού ανάπτυξης νέων κεντρικών σταθμών ισχύος συμβατικής τεχνολογίας.

- Συμβολή στη μείωση των διακοπών ηλεκτροδότησης λόγω υπερφόρτωσης του δικτύου ΔΕΗ.
- Σταδιακή απεξάρτηση από το πετρέλαιο και κάθε μορφής εισαγόμενη ενέργεια και εξασφάλιση της παροχής ενέργειας μέσω αποκεντρωμένης παραγωγής.
- Κοινωνική προσφορά του παραγωγού / καταναλωτή και συμβολή στην αειφόρο ανάπτυξη, την ποιότητα ζωής και προστασία του περιβάλλοντος στα αστικά κέντρα και στην περιφέρεια.
- Ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων με σημαντική συμβολή σε αναπτυξιακούς και κοινωνικούς στόχους.
- Ανάπτυξη της Ελληνικής Βιομηχανίας Φ/Β Συστημάτων με άριστες προοπτικές για πλήρη κάλυψη της Ελληνικής αγοράς και εξαγωγικές δραστηριότητες. Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και ανάπτυξη Ελληνικής τεχνογνωσίας. Εκτίμηση 2004: 2 βιομηχανίες για κατασκευή Φ/Β, 3 ΜΜΕ για ανάπτυξη ηλεκτρονικών ισχύος και 3 μονάδες παραγωγής μπαταριών για Φ/Β εφαρμογές.

#### **4.3.2.5 Διεθνής Αγορά Φ/Β Συστημάτων**

Η αγορά των Φ/Β στην Ευρώπη είναι σημαντική κυρίως στις χώρες Γερμανία, Ολλανδία, Ισπανία και Ιταλία. Ιδιαίτερα στη Γερμανία, το αρχικό Εθνικό Πρόγραμμα των 1.000 Φ/Β Στεγών (1990) και μετέπειτα των 100.000 Φ/Β Στεγών (1999) σε συνδυασμό με επιδότηση της παραγόμενης ηλιακής kWh, δημιούργησαν ιδιαίτερη ανάπτυξη τόσο στις εφαρμογές όσο και στη βιομηχανία. Το συνολικό μέγεθος της Ευρωπαϊκής αγοράς στο τέλος του έτους 2003 ήταν περίπου 561MWp, από τα οποία το 71%, δηλαδή 398MWp, είχαν εγκατασταθεί στη Γερμανία.

Από την ανάλυση των παραπάνω μεγεθών της Ευρωπαϊκής αγοράς, προκύπτει ότι δημιουργήθηκαν 15.000 άμεσες θέσεις εργασίας (πολλές από τις οποίες είναι υψηλής τεχνολογίας απασχόληση), ο ετήσιος κύκλος εργασιών ήταν €1 δις, τη διετία 2002 – 2003 καταγράφηκε αύξηση της αγοράς κατά 33% και έγιναν νέες επενδύσεις σε έρευνα και καινοτόμα προϊόντα υψηλής τεχνολογίας.

Σήμερα, η μεγαλύτερη αγορά Φ/Β στον κόσμο είναι αυτή της Ιαπωνίας. Το έτος 2003, οι Ιαπωνικές εταιρείες Φ/Β γεννητριών παρήγαγαν περίπου 400MWp, από τα οποία τα 250MWp εγκαταστάθηκαν στη χώρα και τα υπόλοιπα εξήχθησαν, κυρίως στην Ευρώπη και τις Η.Π.Α. (Κ.Α.Π.Ε., 2012).

Καθώς το κόστος των Φ/Β συστημάτων συνεχίζει να μειώνεται, όλο και περισσότερες Φ/Β εφαρμογές γίνονται οικονομικά ανταγωνιστικές, σε σύγκριση με παραγωγή ενέργειας από συμβατικές μορφές. Παράλληλα, η αυξανόμενη ευαισθησία της κοινής γνώμης, λόγω των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής και χρήσης ενέργειας, σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων, έχει σαν αποτέλεσμα αυτά να αποτελούν μια από τις περισσότερα υποσχόμενες ενεργειακές τεχνολογίες.

Όπως έχει προκύψει από τη διεθνή εμπειρία, το μεγάλο μερίδιο της αγοράς των Φ/Β συστημάτων στις αναπτυσσόμενες χώρες βρίσκεται σε αστικά κέντρα, σε εγκαταστάσεις όπως κτήρια, συμπλέγματα οικιών, δημόσια κτήρια, εξωτερικοί χώροι κλπ.

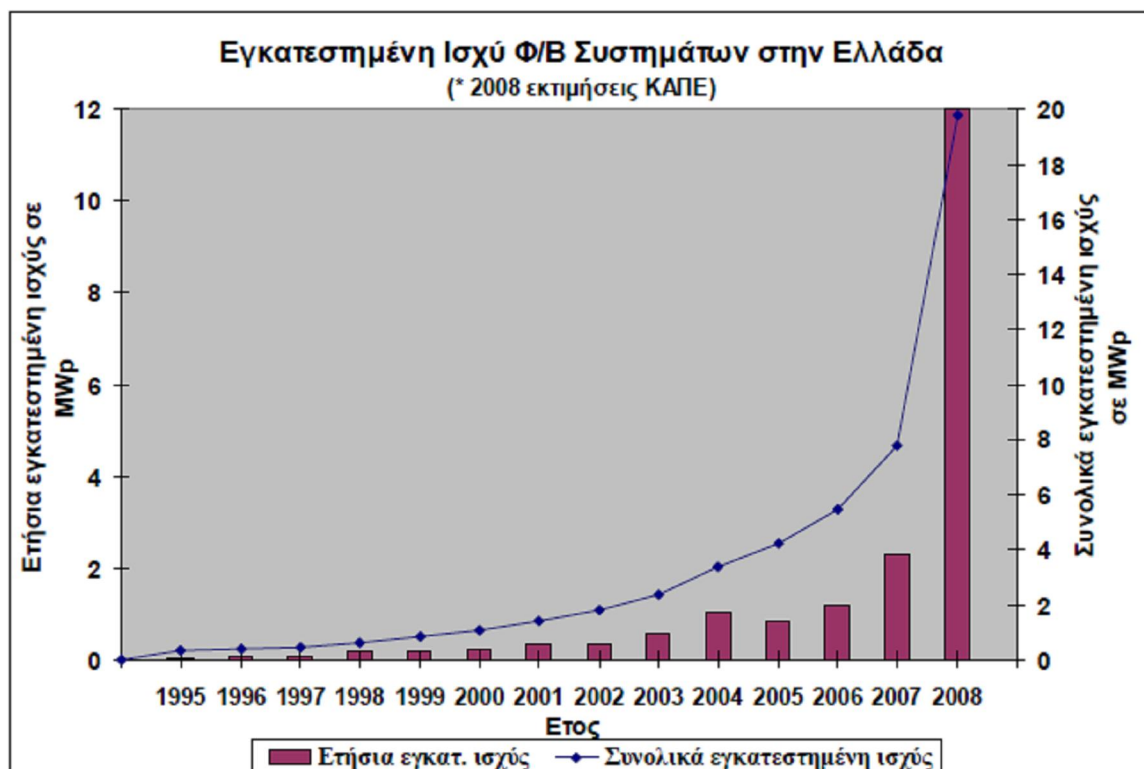
#### 4.3.2.6 Γενικές πληροφορίες για τα Φ/Β συστήματα (Πηγή: Κ.Α.Π.Ε., Ιούλιος 2009)

- 1kWp (ισχύος αιχμής του Φ/Β συστοιχίας σε κατάσταση πλήρους ηλιοφάνειας 1.000 W/m<sup>2</sup> και θερμοκρασία 25°C) Φ/Β κρυσταλλικού πυριτίου έχει επιφάνεια 8 με 10 m<sup>2</sup> ανάλογα με την απόδοση που διαθέτει και παράγει κατά μέσο όρο 1.350 kWh AC το χρόνο (με ηλιοφάνεια Αττικής), πάνω σε σταθερή βάση στήριξης. Η επιφάνεια που απαιτείται για την εγκατάσταση ενός Φ/Β συστήματος σε επίπεδο οικόπεδο μπορεί να είναι 2 με 2,5 φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική επιφάνεια των Φ/Β.
- Ένα πλήρες σύστημα 1kWp, εγκατεστημένο και συνδεδεμένο με τη ΔΕΗ κοστίζει περίπου 4.000 με 6.000 €, ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης, τη θέση και την τεχνολογία που χρησιμοποιείται.
- Ενδεικτικά αναφέρεται ότι τα Φ/Β συστήματα παρακολούθησης του ήλιου σε 2 άξονες αποδίδουν περίπου 25 με 30% επιπλέον ενέργεια το χρόνο στην Ελλάδα ενώ το κόστος τους είναι 10 με 15% ανώτερο από αυτό των Φ/Β

συστημάτων σε σταθερές βάσεις. Κρίσιμο θέμα είναι η αξιοπιστία και το κόστος συντήρησης των συστημάτων παρακολούθησης του ήλιου και η επίδρασή τους στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και βιωσιμότητα της επένδυσης.

- Για να καλυφθούν οι ανάγκες ενός σπιτιού απαιτούνται περίπου 2 – 3 kWp και επιφάνεια περίπου 30 – 50m<sup>2</sup>, ανάλογα την τεχνολογία Φ/Β που θα επιλεγεί.
- Ένας ιδιώτης με οικιακό Φ/Β σύστημα, δικαιούται φοροαπαλλαγή η οποία έχει οριστεί στο ποσό 20% του κόστους και μέχρι των 700 € για το 2007. Για να πουληθεί το σύνολο της παραγόμενης ενέργειας, πρέπει να ιδρυθεί εταιρεία και σε αυτήν την περίπτωση δεν ισχύει το καθεστώς φοροαπαλλαγής.
- Εάν ο ιδιώτης είναι αυτοπαραγωγός τότε μπορεί να διαθέσει στο ηλεκτρικό δίκτυο μέχρι 20% της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο ακόλουθο διάγραμμα (Εικ. 4.24) παρουσιάζεται η ετήσια και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα μέχρι το 2008:



Εικόνα 4.24: Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα μέχρι και το 2008

(Πηγή: Κ.Α.Π.Ε., Ιούλιος 2009).

#### 4.4 Γεωθερμική Ενέργεια

Γεωθερμία ή γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται υπό μορφή:

- Ζεστού νερού, με τιμές θερμοκρασίας που κυμαίνονται μεταξύ 600°C και 1000°C
- Υγρού ατμού, δηλαδή νερού που απελευθερώνεται με πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής και με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 1000°C
- Κεκορεσμένου ξηρού ατμού

Ως γεωθερμικό δυναμικό, σύμφωνα με την ισχύουσα Εθνική νομοθεσία (N3175/2003), νοείται το σύνολο των γηγενών φυσικών ατμών, των θερμών νερών, επιφανειακών ή υπογείων, και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών που υπερβαίνουν τους 25°C. Τα πεδία, όπου εντοπίζονται, χαρακτηρίζονται ως «γεωθερμικά» και διακρίνονται σε υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας, με τιμή μεγαλύτερη των 90°C και τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 25°C και 90°C αντίστοιχα. Επιστημονικά, διακρίνονται τρεις (3) κατηγορίες γεωθερμικών ρευστών:

1. Υψηλής ενθαλπίας, με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 150°C
2. Μέσης ενθαλπίας, με τιμές της θερμοκρασίας που κυμαίνονται μεταξύ 90°C και 150°C
3. Χαμηλής ενθαλπίας, με τιμές της θερμοκρασίας που κυμαίνονται μεταξύ 25°C και 90°C

Το γεωθερμικό δυναμικό μιας χώρας δύναται να αξιοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος ή/και θέρμανσης, καλύπτοντας ένα πολύ μεγάλο πεδίο εφαρμογών, από βιομηχανικές χρήσεις και θερμοκήπια έως τη θέρμανση κατοικιών.

Τα γεωθερμικά συστήματα δεν παράγουν εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και είναι διαθέσιμα μέρα και νύχτα. Μπορούν να εγκατασταθούν οπουδήποτε στον κόσμο αλλά αποτελούν μία μεγάλη επένδυση, λόγω του υψηλού κόστους των γεωτρήσεων και της τοποθέτησης των αντλιών που χρησιμοποιούνται για τη μετακίνηση μεγάλης ποσότητας νερού διαμέσου των πετρωμάτων μεγάλου βάθους (**AiD Engineering, 2012**).

Ωστόσο, στα πλαίσια της ενδοχώρας η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας κινείται σε πολύ χαμηλά επίπεδα παρά το πλούσιο δυναμικό της. Ειδικότερα, δεν υπάρχει καμία εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής, ενώ η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σε άμεσες χρήσεις είναι μόλις 88MW, συμπεριλαμβανομένων και των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, οι οποίες έχουν εγκατεστημένη ισχύ 14MW. Στις άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας γίνεται αξιοποίηση της θερμότητας των ρευστών χωρίς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Ελλάδα περιλαμβάνονται, εκτός των αντλιών θερμότητας, και η λουτροθεραπεία, η θέρμανση θερμοκηπίων και εδάφους, οι υδατοκαλλιέργειες, η θέρμανση χώρων και η ξήρανση αγροτικών προϊόντων, η υπεδάφια θέρμανση και η θέρμανση κτηνοτροφικών και πτηνοτροφικών μονάδων. Αξίζει να σημειωθεί πως σημαντική ανάπτυξη παρουσιάζεται τελευταία στην εφαρμογή συστημάτων γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

Γενικά, η ποσότητα του γεωθερμοηλεκτρικού δυναμικού που δύναται να αξιοποιηθεί στη χώρα μας εκτιμάται ότι είναι μεταξύ 200 και 300MW και βρίσκεται διάσπαρτο στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα, αλλά κυρίως στις νήσους Μήλο, Νίσυρο, και Λέσβο, όπου η σύνθλιψη των λιθοσφαιρικών πλακών στην περιοχή του Αιγαίου δημιούργησε το ομώνυμο ηφαιστειακό τόξο. Η απόδοση αυτών των σταθμών είναι μικρότερη των σταθμών που χρησιμοποιούν γεωλογικά καύσιμα, αλλά το κόστος κατασκευής τους είναι μικρότερο και φυσικά το καύσιμο είναι δωρεάν. Τέλος, σε παγκόσμια κλίμακα η εγκατεστημένη ισχύς των ηλεκτρικών σταθμών που χρησιμοποιούν γεωθερμική ενέργεια, είναι περίπου 500MW, ενώ δυνατότητες υπάρχουν για επέκταση μόνο μέχρι 2.000MW.

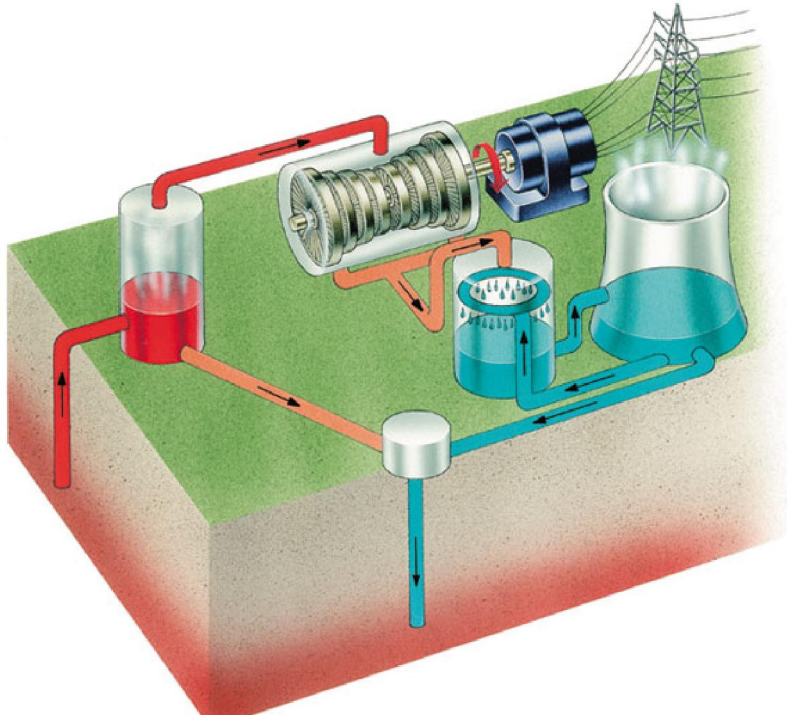
### **Εκτόνωση του ατμού**

Τα θερμό διάλυμα νερού και ατμού που εξέρχεται από την παραγωγική γεώτρηση, αρχικά εισάγεται σε μία δεξαμενή εκτόνωσης (flash), όπου η μειωμένη πίεση της

οδηγεί στην επιπλέον ατμοποίηση του διαλύματος. Ο παραγόμενος ατμός διοχετεύεται σε έναν ατμοστρόβιλο με σκοπό την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στην γεννήτρια του ατμοστροβίλου. Το υδάτινο διάλυμα το οποίο δεν κατάφερε να εκτονωθεί και παρέμεινε στην υγρή κατάσταση του, συμπεριλαμβανομένου των συμπυκνωμάτων του ατμού από την έξοδο της ατμογεννήτριας, επιστρέφουν στην υπόγεια υδροφορία από όπου αντλήθηκαν μέσω μίας γεώτρησης εμπλουτισμού. Ο εμπλουτισμός του διαλύματος θα πρέπει να πραγματοποιείται αρκετά βαθιά ώστε να φτάσει τα υπόγεια πετρώματα που βρίσκονται σε θερμοκρασία υψηλότερη από το σημείο βρασμού του νερού, έτσι ώστε το διάλυμα να μετατραπεί σε ατμό και να ανέλθει εκ νέου στην επιφάνεια. Το νερό φιλτράρεται από τα πετρώματα όπου γίνεται θερμότερο και τελικά ανεβαίνει προς την επιφάνεια διαμέσου της παραγωγικής γεώτρησης (AiD Engineering, 2012).

Στην παρακάτω εικόνα (Εικ. 4.25) περιγράφεται το εν λόγω σύστημα ηλεκτροπαραγωγής. Ευκρινώς διακρίνεται η γεώτρηση εξαγωγής. Στο δοχείο με κόκκινο χρώμα διακρίνονται τα παραπροϊόντα της γεώτρησης, δηλαδή το υδάτινο διάλυμα που αναφέρθηκε παραπάνω. Από την κορυφή του δοχείου φεύγει υπέρθερμος ατμός χωρίς υγρασία ή άλλες προσμίξεις, και οδηγείται στο στρόβιλο ο οποίος κινεί τη γεννήτρια που παράγει το ρεύμα. Στη συνέχεια, ο ατμός, που στην εικόνα αναπαρίσταται με πορτοκαλί χρώμα, έχοντας πλέον χαμηλή θερμοκρασία, βγαίνει από το στρόβιλο και οδηγείται στον εναλλάκτη / πύργο ψύξης όπου και υγροποιείται, με μπλε χρώμα στην εικόνα, και οδηγείται πίσω στον ταμιευτήρα μαζί με το υδάτινο διάλυμα.

Η εγκατάσταση δύναται να χρησιμοποιηθεί τόσο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όσο και για την παραγωγή θερμικής ενέργειας, μια διαδικασία γνωστή με τον όρο «τηλεθέρμανση». Η αξιοποίηση του ενεργειακού δυναμικού του εδάφους για την παραγωγή θερμότητας πραγματοποιείται με τις αντλίες θερμότητας εδάφους, γνωστές και ως γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Οι αντλίες χρησιμοποιούν νερό που κυκλοφορεί μέσα σε σωλήνες ενός υπόγειου κλειστού κυκλώματος, το οποίο βρίσκεται σε γεωτρήσεις μικρού βάθους. Από το κύκλωμα αυτό οι αντλίες αφαιρούν θερμότητα, μειώνοντας τη θερμοκρασία του νερού κατά 5 με 6°C και προσθέτουν θερμότητα σε ένα άλλο κλειστό κύκλωμα ζεστού νερού, το οποίο τροφοδοτεί αερόθερμα ή/και ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης κτηρίων.



**Εικόνα 4.25:** Ο μηχανισμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω θερμών ρευστών που προέρχονται από μια γεώτρηση σε γεωθερμικό ταμιευτήρα. (Πηγή: <http://polyvotis.wordpress.com>, 2012).

Η διαδικασία μπορεί να αντιστραφεί, ώστε η αντλία θερμότητας να παρέχει κλιματισμό / ψύξη κατά τη θερινή περίοδο. Σημειώνεται ότι οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας απαιτούν μικρές ηλεκτρικές καταναλώσεις, της τάξεως του 1/3 με 1/5 της θερμικής ενέργειας που παρέχουν.

### Ξηρός Ατμός

Αρκετές γεωθερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασίζονται στις υψηλές θερμοκρασίες του ατμού, ώστε να παρέχουν άμεσα την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία των γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτός ο τύπος εγκατάστασης καλείται εγκατάσταση «ξηρού ατμού» επειδή ο ατμός απελευθερώνεται από την πίεση ενός πεδίου μεγάλου βάθους, διαμέσου ενός βραχώδους πετρώματος και οδηγείται στους στροβίλους.

Τα εδάφη ξηρού ατμού χρησιμοποιούν το νερό από το φλοιό της γης, το οποίο θερμαίνεται από το μανδύα και απελευθερώνεται από διεξόδους σε μορφή ατμού. Η



συγκεκριμένη εγκατάσταση είναι κατάλληλη εκεί όπου ο γεωθερμικός ατμός δεν αναμιγνύεται με νερό. Ο υπέρθερμος ατμός οδηγείται στην εγκατάσταση διαμέσου στροβίλων ατμού ώστε να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Σε απλές εγκαταστάσεις ο ατμός χαμηλής πίεσεως που εξάγεται από τον στρόβιλο οδηγείται στην ατμόσφαιρα, αλλά συνήθως ο ατμός περνάει από ένα συμπυκνωτή ώστε να μετατραπεί σε νερό. Αυτό βελτιώνει την απόδοση του στροβίλου και προλαμβάνει τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται από την άμεση εκτόνωση του ατμού στην ατμόσφαιρα.

Το νερό αυτό οδηγείται μέσω γεωτρήσεων εμπλουτισμού πίσω στο έδαφος. Ο ταμιευτήρας επανατροφοδοτείται με το νερό της βροχής καθώς αυτό οδηγείται στο φλοιό της γης. Επειδή αυτό συμβαίνει σε συνεχή βάση η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Αυτός είναι ο παλαιότερος τύπος γεωθερμικής εγκατάστασης. Στη μέγιστη παραγωγή η εγκατάσταση μπορεί να παρέχει πάνω από 2.000MW ηλεκτρικής ενέργειας την ώρα. Αυτό είναι περίπου διπλάσιο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας από αυτό που μπορεί να παράγει μια πυρηνική μονάδα. Η μονάδα εκπέμπει μόνο μεγάλες ποσότητες ατμού και πολύ μικρά ποσά αερίων (AiD Engineering, 2012).

### **Διαδικός Κύκλος**

Οι συγκεκριμένες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που το γεωθερμικό ρευστό είναι χαμηλής θερμοκρασίας, η οποία δεν είναι αρκετή ώστε να παράγει ατμό που θα μπορούσε να περιστρέψει ένα στρόβιλο. Τα γεωθερμικά ρευστά μέσης θερμοκρασίας είναι πολύ πιο συχνά από τα γεωθερμικά ρευστά υψηλής θερμοκρασίας. Το νερό από το υπέδαφος δεν έρχεται ποτέ σε άμεση επαφή με τα πτερύγια του στροβίλου, ενώ η θερμοκρασία των γεωθερμικών υγρών που χρησιμοποιούνται κυμαίνεται μεταξύ 80°C και 180°C.

Στο δυαδικό σύστημα το θερμό γεωθερμικό ρευστό αντλείται στην επιφάνεια και περνάει μέσα από εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος περιέχει ένα ρευστό όπως βουτάνιο ή πεντάνιο με πολύ χαμηλότερο σημείο βρασμού από το νερό. Η θερμότητα από το γεωθερμικό ρευστό προκαλεί το δευτερεύον ή το δυαδικό υγρό να ατμοποιηθεί. Ο ατμός από το πεντάνιο οδηγείται στον στρόβιλο που τροφοδοτεί τη γεννήτρια, καθώς το θερμό γεωθερμικό ρευστό εισάγεται πίσω στον γεωλογικό

σηματισμό από τον οποίο προήλθε, αναθερμαίνεται και είναι διαθέσιμο ώστε να επανακυκλοφορήσει ξανά διαμέσου του εναλλάκτη. Γι αυτό το λόγο η γεωθερμία θεωρείται ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, καθώς ένας γεωλογικός σχηματισμός κατάλληλα διαμορφωμένος μπορεί να παράγει ενέργεια επ' άοριστον (Aid Engineering, 2012).

### **Θερμά Ξηρά Πετρώματα**

Εκτός των υπολοίπων, υπάρχει και η τεχνολογία των Θερμών Ξηρών Πετρωμάτων, η οποία ασχολείται με μεγάλα γρανιτικά σώματα ή γνευσιακούς σχηματισμούς που είναι γεμάτα με διακλάσεις, με σχεδόν μηδενικό πορώδες και χαρακτηρίζονται από υδροπερατότητα, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να συγκρατήσουν ποσότητες νερού. Τα πετρώματα αυτά είναι ξηρά και ταυτόχρονα θερμά, λόγω της παρουσίας ραδιενεργών ορυκτών. Η εν λόγω τεχνολογία αποτελεί μια τεχνητή ή ενισχυμένη παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας, διότι σε αντίθεση με τη φυσική γεωθερμική ενέργεια, ο ατμός δεν εκτονώνεται αλλά δημιουργείται.

Οι εγκαταστάσεις αυτού του τύπου λειτουργούν με την ίδια αρχή όπως η φυσική γεωθερμική ενέργεια με την εκτόνωση του ατμού στον φλοιό του πλανήτη, αν και η εκμετάλλευση των θερμών ξηρών πετρωμάτων βρίσκεται ακόμη σε πειραματικό στάδιο. Η γεωθερμική ισχύς παράγεται όταν θερμοί βράχοι με ρηγματώσεις μετατρέπουν το νερό σε ατμό. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιείται διάνοιξη δύο γεωτρήσεων μεγάλου βάθους και θραύση του πετρώματος μεταξύ τους, έτσι ώστε να δημιουργηθούν δίοδοι διαπερατές από το νερό μεταξύ των δύο γεωτρήσεων. Στη συνέχεια, νερό διοχετεύεται στο πέτρωμα από τη μια γεώτρηση, το οποίο θερμαίνεται κατά τη δίοδό του από τα θερμά πετρώματα και αντλείται στην επιφάνεια από τη δεύτερη γεώτρηση.

Στις περιπτώσεις των θερμών πετρωμάτων, πρώτα δημιουργείται η γεώτρηση εμπλουτισμού κι έπειτα η παραγωγική γεώτρηση. Το νερό διοχετεύεται από την επιφάνεια προς τα θερμά πετρώματα με στόχο τη θέρμανση του και την παραλαβή του ίδιου διαλύματος σε μορφή ατμού πια, διαμέσου της παραγωγικής γεώτρησης. Τα πλεονεκτήματα των συγκεκριμένων συστημάτων είναι ότι προλαμβάνουν τον κίνδυνο της ξηρής οπής που σχετίζεται με τη συμβατική υδροθερμική γεωθερμία και απαιτεί την ανεύρεση ήδη υπαρχόντων πετρωμάτων που περιέχουν υψηλή ροή θερμού νερού.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι μια τεχνητή γεωθερμική εγκατάσταση μπορεί να ανακτήσει περίπου 40% της θερμότητας που βρίσκεται στο υπέδαφος και να μετατρέψει το 15% σε ηλεκτρική διαμέσου απλών στροβίλων χαμηλών θερμοκρασιών στην επιφάνεια.

### **Συνδυασμός συστημάτων**

Δύναται ο συνδυασμός των παραπάνω συστημάτων με σκοπό την αύξηση του βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης και την επίτευξη μέγιστης εξοικονόμησης. Για παράδειγμα, στην περίπτωση εφαρμογής του συστήματος ξηρού ατμού μπορούμε να τοποθετήσουμε ένα σύστημα δυαδικού κύκλου στην έξοδο του συμπυκνωτή με σκοπό την αξιοποίηση του ρευστού για την παραγωγή επιπρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, στην εγκατάσταση εκτόνωσης του ατμού δύναται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε δύο βαθμίδες μέσω τοποθέτησης δύο υποσυστημάτων δυαδικού κύκλου στην έξοδο του συμπυκνωτή και στην έξοδο της δεξαμενής εκτόνωσης. Παρόμοια συστήματα ενεργειακής ολοκλήρωσης μπορούν να εγκατασταθούν και στην περίπτωση των θερμών ξηρών πετρωμάτων (Aid Engineering, 2012).

## **4.5 Ενέργεια από Βιομάζα**

Η έρευνα και η τεχνολογική πρόοδος που έχει πραγματοποιηθεί τα τελευταία 10 χρόνια έχουν καταστήσει τις τεχνολογίες ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας εξαιρετικά ελκυστικές σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι προοπτικές, μάλιστα, της βιοενέργειας καθίστανται διαρκώς μεγαλύτερες και πιο ελπιδοφόρες. Στις πιο προηγμένες οικονομικά χώρες, αναμένεται να καλύπτει σημαντικό τμήμα της ενεργειακής παραγωγής μελλοντικά.

Ως αποτέλεσμα του πλήθους των διαφόρων ειδών βιομάζας, οι τεχνολογίες μετατροπής τους σε βιοενέργεια είναι πολλές και αρκετά διαφορετικές μεταξύ τους. Συνήθως διακρίνονται, αναλόγως του τρόπου με τον οποίο παράγεται το καύσιμο, σε θερμικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες.

#### 4.5.1 Θερμική Επεξεργασία

Στις θερμικές διεργασίες κυριαρχεί η καύση της βιομάζας και η παραγωγή ενέργειας είτε μέσω ατμοστρόβιλου ή μέσω Οργανικού Κύκλου Rankine (ORC). Πρόκειται για την τεχνολογία με τις περισσότερες εφαρμογές για την παραγωγή βιοενέργειας παγκοσμίως. Θερμικές, αλλά εν μέρει και χημικές, θεωρούνται οι διεργασίες της αεριοποίησης και της πυρόλυσης, όπου παράγεται αέριο προϊόν που μετά τον καθαρισμό του αποτελεί άριστη καύσιμη ύλη για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Πρόκειται για δυο πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες οι οποίες αναμένεται να έχουν τεράστια ανάπτυξη τα προσεχή έτη. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των θερμικών τεχνολογιών είναι η απαίτηση για χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία της βιομάζας.

Στο σημείο αυτό αξίζει να τονιστεί ότι η καύση της βιομάζας και των προϊόντων της που προέρχονται από θερμική κατεργασία χωρίς να έχουν υποστεί περαιτέρω επεξεργασία, δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Με την καύση της βιομάζας το διοξείδιο του άνθρακα που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα επαναπροσλαμβάνεται από τη νέα βιομάζα που θα παραχθεί η οποία δεσμεύει τον άνθρακα και ελευθερώνει το οξυγόνο, με αυτόν τον τρόπο δεν έχουμε αύξηση της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, το οποίον ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Για το λόγο αυτό, η βιομάζα παρουσιάζει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα και στην ουσία θεωρείται ένα «ουδέτερο» καύσιμο ως προς το συγκεκριμένο αέριο του θερμοκηπίου. Ακολουθώντας αναλύονται οι υπάρχουσες τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας βιομάζας.

#### Σύστημα ORC (Πηγή: [www.biomassenergy.gr](http://www.biomassenergy.gr))

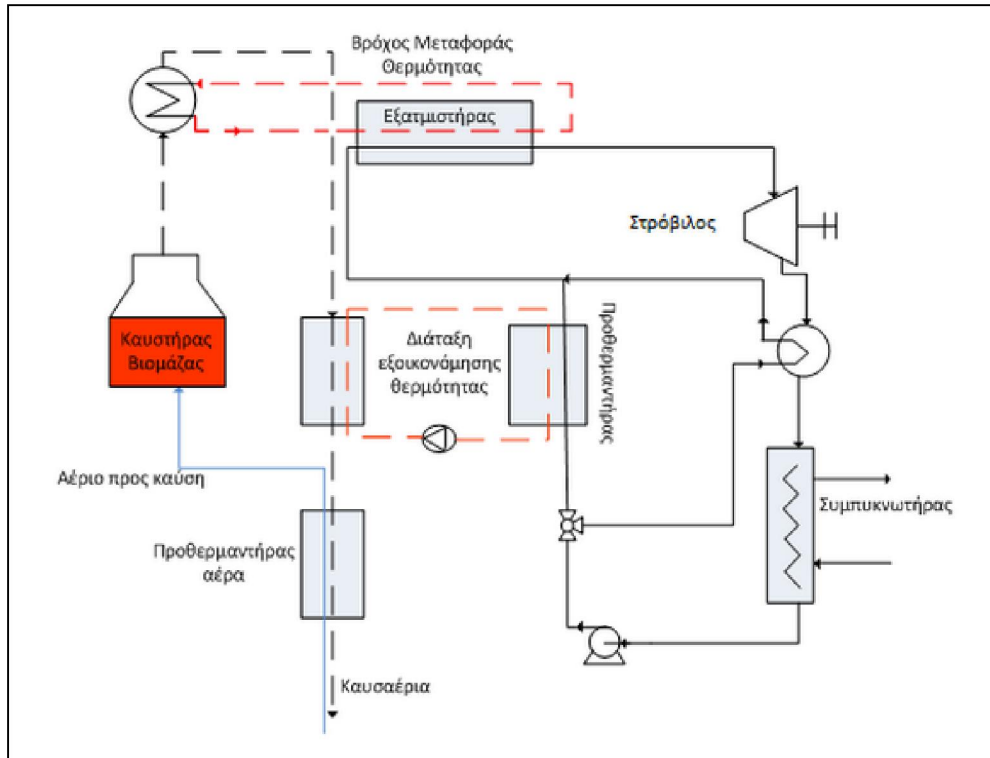
Η παραγωγή ηλεκτρισμού ή/και θερμότητας από την καύση της βιομάζας σε σύστημα ORC αποτελεί μια σημαντική εναλλακτική στα συμβατικά συστήματα καύσης της βιομάζας, με ξεχωριστά οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα. Οι πρώτες εμπορικές εφαρμογές του ORC εμφανίστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και τη δεκαετία του 1980 με μεσαίας κλίμακας ισχύος συστήματα που τροφοδοτούνταν είτε από την ηλιακή ενέργεια ή από τη γεωθερμία. Πλέον περισσότερες από 200 μονάδες ηλεκτροπαραγωγής έχουν εγκατασταθεί, με συνολική ισχύ μεγαλύτερη των 1,8 GW. Η πλειοψηφία των ORC μονάδων χρησιμοποιούν βιομάζα για την παραγωγή ενέργειας.

Η αρχή λειτουργίας των συστημάτων ORC με βιομάζα είναι παρόμοια με εκείνη του κύκλου Rankine με ατμό. Η θεμελιώδης διαφορά του Οργανικού Κύκλου Rankine (ORC) με τους υπόλοιπους θερμοδυναμικούς Κύκλους Rankine είναι ότι ο ORC δεν χρησιμοποιεί νερό ως κινούμενο ρευστό, αλλά κάποια άλλη κατάλληλη οργανική ουσία, γεγονός που αποδίδει στο σύστημα το όνομά του. Ειδικότερα, η θερμότητα από την καύση της βιομάζας μεταφέρεται από τα καυσαέρια σε διαθερμικό λάδι μέσω δυο εναλλακτών θερμότητας σε θερμοκρασία που κυμαίνεται από 150 μέχρι 320°C. Ακολουθώντας, το διαθερμικό λάδι μεταφέρεται στον κύκλο του ORC, όπου θερμαίνεται και εξατμίζει το οργανικό κινούμενο ρευστό σε θερμοκρασία γύρω στους 300°C. Το εξατμισμένο ρευστό στη συνέχεια εκτονώνεται παράγοντας ενέργεια, ενώ ακολουθεί η δίοδος του μέσω του κατάλληλου εναλλάκτη θερμότητας (recuperator) για την προθέρμανση νέας ποσότητας ρευστού και η συμπύκνωσή του. Έτσι μειώνεται η απαιτούμενη ποσότητα θερμότητας για την εξάτμιση του οργανικού μέσου στον εξατμιστήρα (Εικ. 4.26). Συνήθως η οργανική ουσία που χρησιμοποιείται είναι κάποιος υδρογονάνθρακας όπως βουτάνιο, πεντάνιο, εξάνιο, κ.λπ., κάποιο σιλικονούχο λάδι ή υπερφθοράνθρακας (PFC).

Σε γενικές γραμμές, ένα οργανικό ρευστό συστήματος ORC πρέπει να έχει ιδιότητες όπως χαμηλό σημείο ζέσεως, χαμηλή κρίσιμη θερμοκρασία και πίεση, μικρό ειδικό όγκο, χαμηλό ιξώδες και επιφανειακή τάση, υψηλή θερμική αγωγιμότητα και να είναι συμβατό και μη διαβρωτικό προς τα υλικά κατασκευής του μηχανολογικού εξοπλισμού, όπως τις αντλίες, τους εναλλάκτες, τον στρόβιλο, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να είναι περιβαλλοντικά φιλικό.

Σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν στις ORC διεργασίες είναι οι νομοθετικοί περιορισμοί που υπάρχουν για μερικά από τα οργανικά ρευστά που χρησιμοποιούνται λόγω της καταστροφής του όζοντος που προκαλούν ή της έντασης της παγκόσμιας θέρμανσης. Αρκετά από τα ρευστά που είχαν χρησιμοποιηθεί κατά το παρελθόν ανήκουν στους χλωροφθοράνθρακες (Freon και CFCs), ενώσεις που αποδεδειγμένα οδηγούν στην καταστροφή του όζοντος του πλανήτη, ενώ άλλες, όπως οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs) και οι υδροφθοράνθρακες (HFCs), ενώσεις που χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα των CFCs, δεν επιβαρύνουν μεν το όζον της ατμόσφαιρας, είναι όμως υπεύθυνα για την μεγέθυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Κατά συνέπεια, η χρήση τους σε διατάξεις ORC έχει απαγορευτεί και αντί αυτών χρησιμοποιούνται ενώσεις όπως ο

υδροφθοροαιθέρας (HFES) και το πεντάνιο. Σημειώνεται ότι ο τύπος της χημικής ουσίας που χρησιμοποιείται ως οργανικό ρευστό επηρεάζει και την συνολική ενεργειακή απόδοση της διάταξης ORC.



Εικόνα 4.26: Διάγραμμα ροής του συστήματος ORC (Πηγή: [www.biomassenergy.gr](http://www.biomassenergy.gr), 2012).

Ο βασικός λόγος αύξησης της κατασκευής σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με ORC είναι ότι αποτελεί μια αποδεδειγμένα ώριμη τεχνολογία για την αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας από στερεά καύσιμα όπως είναι η βιομάζα. Ωστόσο, η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι δύσκολο να υποδιαστασιοποιηθεί, συνεπώς απαντάται μόνο σε μεγάλης ισχύος μονάδες οι οποίες απαιτούν και μεγάλες ποσότητες πρώτων υλών βιομάζας και υψηλό κόστος επένδυσης. Σημειώνεται ότι η βιομάζα αποτελεί σημαντική πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας μέσω μιας μηχανής που δουλεύει με ORC διεργασία.

Γενικά, η ηλεκτρική απόδοση των σταθμών ORC κυμαίνεται μεταξύ 6 και 20% και εξαρτάται από παράγοντες όπως η ποιότητα της θερμότητας που χρησιμοποιείται και η απόδοση των επιμέρους τμημάτων του εξοπλισμού, όπως ο λέβητας, οι εναλλάκτες θερμότητας κ.λπ. Αν και η ηλεκτρική απόδοση των συστημάτων ORC είναι χαμηλή,

εν τούτοις εμφανίζουν ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως το γεγονός ότι έχουν πολύ μικρά κόστη συντήρησης και λειτουργίας. Το σύστημα ORC προσφέρει σημαντικά επιμέρους πλεονεκτήματα μεταξύ των οποίων είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής της μηχανής και η δυνατότητα πλήρους αυτοματοποιημένης λειτουργίας.

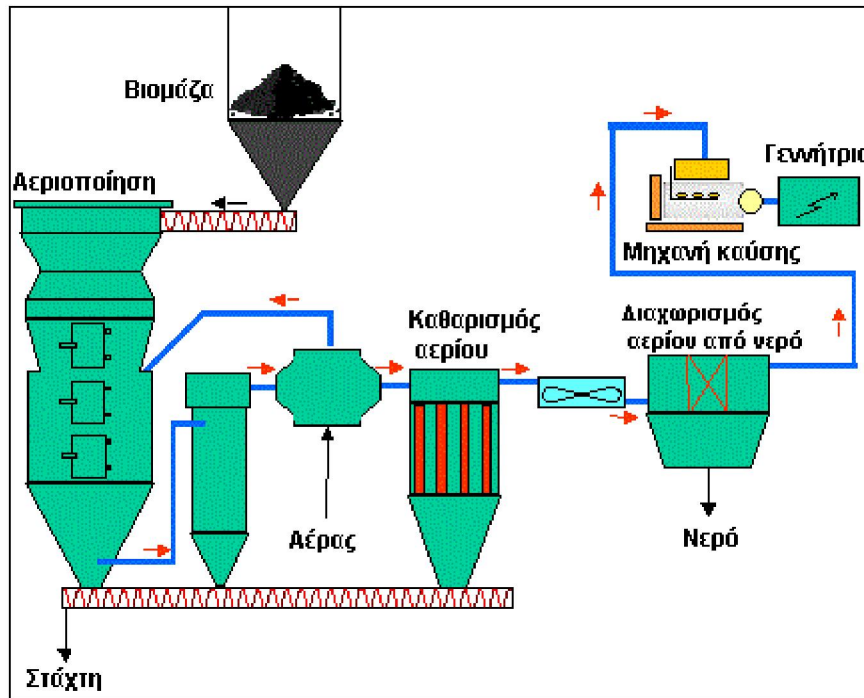
Η βασική ανταγωνιστική τεχνολογία για την παραγωγή ηλεκτρισμού από βιομάζα είναι η αεριοποίησή της. Συγκρίνοντας τις δυο τεχνολογίες, η αεριοποίηση έχει σημαντικά υψηλότερα κόστη εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης. Παράλληλα, η ORC είναι μια απολύτως ώριμη τεχνολογία με πλήθος αναφορών σε όλο τον κόσμο, σε αντίθεση με την αεριοποίηση όπου ο αριθμός των εμπορικών τους εφαρμογών είναι ακόμα περιορισμένος. Από την άλλη μεριά, όμως, ο βαθμός ηλεκτρικής απόδοσης της διεργασίας αεριοποίησης είναι πολύ υψηλότερος. Κατά συνέπεια, μόνο μετά από λεπτομερή μελέτη και ανάλυση όλων των παραμέτρων μπορεί να αποφασιστεί ποιο είδος επένδυσης είναι πιο συμφέρον για την κάθε περίπτωση.

#### **Αεριοποίηση Βιομάζας (Πηγή: [www.biomassenergy.gr](http://www.biomassenergy.gr))**

Η αεριοποίηση της βιομάζας είναι μια ενδόθερμη θερμική διεργασία κατά την οποία η στερεή βιομάζα μετατρέπεται σε καύσιμο αέριο (Εικ 4.27). Το παραγόμενο αυτό αέριο αποτελεί μίγμα πολλών καυσίμων και μη, αερίων: μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα, υδρογόνο, μεθάνιο, υδρατμοί, ίχνη υδρογονανθράκων και άζωτο, σε περίπτωση που για την διεργασία χρησιμοποιείται αέρας και όχι καθαρό οξυγόνο. Πέραν των παραπάνω ενώσεων στο αέριο προϊόν εμφανίζονται και διάφοροι επιμολυντές, κυριότεροι εκ των οποίων είναι τα σωματίδια πίσσας, η τέφρα, η αμμωνία, καθώς επίσης διάφορα οξέα και σύνθετοι υδρογονάνθρακες.

Το καύσιμο προϊόν της διεργασίας αεριοποίησης ονομάζεται αέριο σύνθεσης. Σε περίπτωση που η διεργασία γίνει με τη χρήση αέρα και όχι καθαρού οξυγόνου, που αποτελεί και την πιο οικονομική και συνήθη επιλογή, το αέριο σύνθεσης έχει καθαρή θερμογόνο δύναμη περίπου  $4,6\text{MJ/m}^3$ , ποσό που αντιστοιχεί περίπου στο 1/7 της θερμογόνου δύναμης του φυσικού αερίου. Αντιθέτως, όταν χρησιμοποιείται καθαρό οξυγόνο, η θερμογόνος δύναμη του αερίου μπορεί ακόμα και να τριπλασιαστεί. Και στις δυο περιπτώσεις πάντως, η θερμογόνος δύναμη κάνει το αέριο σύνθεσης

κατάλληλο για την παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρισμού, με χρήση του σε καυστήρες και αεριοστρόβιλους.



Εικόνα 4.27: Διαδικασία αεριοποίησης βιομάζας (Πηγή: Μαρινάκης Ι., 2012)

Από χημικής πλευράς, η διεργασία της αεριοποίησης της βιομάζας είναι αρκετά μια σύνθετη διαδικασία. Η απαιτούμενη θερμότητα για την αεριοποίηση της βιομάζας παρέχεται από την καύση μέρους της αρχικής ποσότητας της βιομάζας. Καθοριστικό ρόλο στη διεργασία αεριοποίησης κατέχει το είδος της φυτικής βιομάζας. Οι ιδιότητες της μπορεί να διαφέρουν σημαντικά αναλόγως την προέλευση της βιομάζας, με άμεση συνέπεια στην τεχνολογία της διεργασίας και την βιωσιμότητα της μονάδας. Οι παράμετροι της βιομάζας που εξετάζονται περισσότερο είναι η υγρασία του υλικού, η περιεκτικότητα της σε τέφρα, η στοιχειακή της ανάλυση, η θερμογόνο δύναμή της, η πυκνότητα και η κοκκομετρία της.

Αναφορικά με το είδος και τον σχεδιασμό του αντιδραστήρα αεριοποίησης, οι παραλλαγές και η κατηγοριοποίηση τους, ύστερα από δεκαετίες έρευνας στην τεχνολογία αεριοποίησης, είναι πολλές. Έτσι, οι αντιδραστήρες αυτοί διακρίνονται ανάλογα με το μέσο αεριοποίησης (αέρας, οξυγόνο ή ατμός), τον τρόπο παροχής της απαιτούμενης θερμότητας (αυτοθερμικοί ή αλλοθερμικοί αεριοποιητές), την πίεση λειτουργίας (ατμοσφαιρικοί ή υπό πίεση αντιδραστήρες) και τον σχεδιασμό τους (σταθερής ή ρευστοποιημένης κλίνης).



Πρέπει να τονισθεί ότι το αέριο σύνθεσης δεν χρησιμοποιείται απευθείας στις μηχανές παραγωγής ενέργειας, καθώς εξέρχεται από τον αντιδραστήρα. Αρχικά απαιτείται η προεπεξεργασία του αερίου σύνθεσης ώστε να μειωθούν οι ποσότητες των ακαθαρσιών που περιέχονται σε αυτό (σωματίδια πίσσας, αμμωνία, θείο, κ.λπ.), καθώς επίσης και η ψύξη του. Παράλληλα, εκτός του αερίου σύνθεσης, η διεργασία παράγει και κάποιες ποσότητες πίσσας, η ποσότητα της οποίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως για παράδειγμα το είδος της βιομάζας. Εξαιτίας της υψηλής θερμογόνου δύναμης της, ως βέλτιστος τρόπος διαχείρισης της πίσσας θεωρείται η ενεργειακή εκμετάλλευσή της εντός της μονάδας αεριοποίησης.

Αναμφίβολα η αεριοποίηση της βιομάζας είναι μια τεχνολογία πολύπλοκη και με λιγότερες εμπορικές εφαρμογές, σε σχέση με την συνήθη καύση της βιομάζας. Τα πλεονεκτήματα, όμως, που παρουσιάζει, με κυριότερο όλων την πολύ μεγάλη αύξηση της ενεργειακής απόδοσης της μονάδας, έχει οδηγήσει στον διαρκή πολλαπλασιασμό τέτοιου είδους μονάδων στην «αιχμή της τεχνολογίας», τα τελευταία χρόνια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της εξέλιξης είναι ότι το 2008, η μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας μέσω αεριοποίησης βιομάζας στην Yamagata της Ιαπωνίας, βραβεύθηκε ως η καλύτερη μονάδα παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές παγκοσμίως, στα πλαίσια της φημισμένου συνεδρίου Power Gen Asia. Η συγκεκριμένη μονάδα έχει ισχύ 2MW και επεξεργάζεται 60 τόνους chips ξύλου ημερησίως.

### **Πυρόλυση Βιομάζας ([www.biomassenergy.gr](http://www.biomassenergy.gr))**

Η ταχεία πυρόλυση της βιομάζας είναι μια διεργασία κατά την οποία η πρώτη ύλη θερμαίνεται ταχύτατα σε θερμοκρασίες 450 – 500°C, σε συνθήκες έλλειψης αέρα, άρα και οξυγόνου. Σε αυτές τις συνθήκες παράγονται ατμοί οργανικών ενώσεων, μη συμπυκνώσιμα αέρια και ρευστή πίσσα. Οι ατμοί των οργανικών ενώσεων στη συνέχεια συμπυκνώνονται, παράγοντας το έλαιο πυρόλυσης, γνωστό και ως βιοέλαιο. Στις συνήθεις περιπτώσεις, περίπου 50 – 75% κατά βάρος της τροφοδοτούμενης βιομάζας μετατρέπεται σε έλαιο πυρόλυσης.

Το τεράστιο πλεονέκτημα της διεργασίας είναι ότι μετατρέπει οποιαδήποτε προβληματική στη διαχείριση βιομάζα, διαφορετικής προέλευσης, σε ένα καθαρό και ομοιογενές υγρό καύσιμο. Το έλαιο πυρόλυσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την

παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, καυσίμων ή χημικών προϊόντων. Η ενεργειακή πυκνότητα του ελαίου, δηλαδή η ενέργεια που αποδίδει ανά μονάδα όγκου του, είναι έως και 5 φορές μεγαλύτερη από εκείνη της αρχικής βιομάζας, γεγονός που προσφέρει ουσιαστικά διαχειριστικά πλεονεκτήματα. Επιπρόσθετο πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα χρήσης του ελαίου σε υψηλότερης απόδοσης στροβίλους παραγωγής ενέργειας. Τέλος, η δυνατότητα μεταφοράς του καυσίμου από το σημείο παραγωγής του σε διαφορετικό σημείο παραγωγής ενέργειας παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στο σύστημα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνοντας αποφασιστικά τις απώλειες του δικτύου.

Μεγάλη ποικιλία διαφορετικών ειδών βιομάζας μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διεργασία. Για την επιτυχημένη μετατροπή της βιομάζας είναι απαραίτητη η προεπεξεργασία της: τεμαχισμός της σε ομοιόμορφα μικρά κομμάτια (μικρότερα από 10 mm) και ξήρανση της ώστε η υγρασία της να είναι μικρότερη από 10%. Με ορθό ενεργειακό σχεδιασμό της μονάδας πυρόλυσης, η απαιτούμενη θερμότητα για την ξήρανση της βιομάζας μπορεί να προέλθει από την ίδια την μονάδα, μειώνοντας έτσι τα λειτουργικά της κόστη και ενισχύοντας το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα.

Τα πλεονεκτήματα που συνοδεύουν την τεχνολογία ταχείας πυρόλυσης της βιομάζας έχουν οδηγήσει σε ραγδαία αύξηση των ερευνητικών προσπαθειών στο αντικείμενο. Ως επιστέγασμα των προσπαθειών αυτών, έρχεται η εμφάνιση των πρώτων μονάδων πυρόλυσης της βιομάζας σε εμπορική πλέον κλίμακα. Στην Αλμπέρτα του Καναδά, για παράδειγμα, βρίσκεται στη φάση του σχεδιασμού και της αδειοδότησης η μεγαλύτερη μονάδα παραγωγής ενέργειας από πυρόλυση βιομάζας. Η συγκεκριμένη μονάδα θα επεξεργάζεται 400 τόνους βιομάζας ημερησίως (κυρίως πριονίδι και chips ξύλου) ενώ αναμένεται ότι θα παράγει αρκετή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να καλυφθούν πλήρως οι ετήσιες ανάγκες 3.800 κατοικιών.

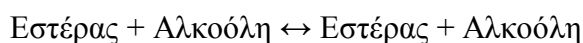
#### **4.5.2 Χημική Επεξεργασία**

Η βασικότερη χημική διεργασία παραγωγής βιοκαυσίμων είναι η μετεστεροποίηση. Πρόκειται για τη συνηθισμένη μέθοδο παραγωγής βιοντίζελ, το οποίο μπορεί να τροφοδοτήσει κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η διαδικασία της μετεστεροποίησης πραγματοποιείται μετατρέποντας τα τριγλυκερίδια των ελαίων και λιπών σε αλκυλεστέρες, δηλαδή τις ενώσεις που αποτελούν το βιοντίζελ. Η χημική σύσταση

των πρώτων υλών είναι καθοριστική για την απόδοση της μετεστεροποίησης. Ακολούθως, θα δούμε αναλυτικά τις λεπτομέρειες της κλασσικής διεργασίας παραγωγής βιοντίζελ, τη μέθοδο της αλκαλικά καταλυόμενης μετεστεροποίησης.

### Αλκαλικά καταλυόμενη μετεστεροποίηση

Μετεστεροποίηση ή αλκοόλυση, είναι η αντικατάσταση της αλκοόλης σε έναν εστέρα από μία άλλη αλκοόλη χρησιμοποιώντας μια διαδικασία παρόμοια με την υδρόλυση, με τη διαφορά ότι η αλκοόλη χρησιμοποιείται αντί για το νερό. Η παραπάνω διαδικασία έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για τη μείωση του υψηλού ιξώδους των τριγλυκεριδίων. Η αντίδραση μετεστεροποίησης αντιπροσωπεύεται από την εξής γενική αντίδραση:



Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται η μεθανόλη, τότε η παραπάνω διαδικασία καλείται μεθανόλυση. Γενικά, η μετεστεροποίηση είναι μια αντιστρεπτή αντίδραση και ουσιαστικά λαμβάνει χώρα με την ανάμειξη των αντιδρώντων. Εντούτοις, η παρουσία ενός καταλύτη, όπως για παράδειγμα ενός ισχυρού οξέος ή μιας βάσης, επιταχύνει τη μετατροπή.

Το είδος του καταλύτη που χρησιμοποιείται στην αντίδραση μετεστεροποίησης είναι σημαντικός παράγοντας, αφού καθορίζει την ποιότητα που πρέπει να έχουν οι πρώτες ύλες. Οι συνθήκες της αντίδρασης, όπως η θερμοκρασία, η πίεση και οι αναλογίες των ποσοτήτων των αντιδραστηρίων, καθώς επίσης και τα στάδια διαχωρισμού των προϊόντων, ομοίως καθορίζονται από την ποιότητα των πρώτων υλών σε συνδυασμό με το είδος του καταλύτη. Οι διεργασίες στις οποίες βασίζεται η έως τώρα ανάπτυξη των μονάδων παραγωγής βιοντίζελ πρώτης γενιάς σε ολόκληρο τον κόσμο χρησιμοποιούν ως καταλύτες κυρίως ισχυρές βάσεις οι οποίες διαλύονται στη μεθανόλη, σπανίως δε, ισχυρά οξέα. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιείται εκτενέστερα η βασικά καταλυόμενη μετεστεροποίηση είναι γιατί είναι έως και 400 φορές γρηγορότερη από την όξινα καταλυόμενη μετεστεροποίηση και γιατί οι βασικοί καταλύτες είναι λιγότερο διαβρωτικοί από τους όξινους.

Συγκεκριμένα, τα αλκοξείδια όπως το μεθοξείδιο του νατρίου στην περίπτωση της μεθανόλυσης, είναι οι πιο βασικοί, άρα και οι πιο ενεργοί, καταλύτες και δίνουν πολύ υψηλές αποδόσεις (>98%) σε χρονικό διάστημα 30 λεπτών, ακόμα κι όταν χρησιμοποιούνται σε μικρές συγκεντρώσεις (0,5%). Αντιθέτως, τα υδροξείδια του καλίου και του νατρίου είναι μεν φθηνότερα από τα αντίστοιχα αλκοξείδια αλλά λιγότερο ενεργά. Παρόλα αυτά, αποτελούν μία καλή εναλλακτική λύση, αφού μπορούν να δώσουν τις ίδιες υψηλές μετατροπές, αυξάνοντας μόνο την περιεκτικότητα του καταλύτη στο 1 – 2%.

Στην περίπτωση των υδροξειδίων, η αντίδραση γίνεται κοντά στο σημείο ζέσης της μεθανόλης, σε θερμοκρασίες 60° έως 63°C, οπότε η πίεση στο χώρο της αντίδρασης δεν υπερβαίνει το 1 bar, ο χρόνος που απαιτείται είναι περίπου μία (1) ώρα, η μοριακή αναλογία μεθανόλης / λαδιού που προτείνεται είναι ίση με 6:1, ενώ οι μετατροπές που επιτυγχάνονται είναι της τάξης του 98%. Συνήθως, ως καταλύτης, επιλέγεται το υδροξείδιο του καλίου γιατί διαλύεται στη μεθανόλη πολύ καλύτερα από το υδροξείδιο του νατρίου.

Ο πλέον κλασικός και τυπικός τρόπος παραγωγής βιοντίζελ με τη μέθοδο της αλκαλικής μετεστεροποίησης περιγράφεται εν συντομία παρακάτω:

Αρχικά, τοποθετούνται οι κατάλληλες ποσότητες του ελαίου, της μεθανόλης και του καταλύτη, δηλαδή του υδροξειδίου του καλίου, στον αντιδραστήρα. Η αντίδραση πραγματοποιείται υπό συνεχή ανάδευση για μια (1) ώρα στους 62°C. Μετά το τέλος της αντίδρασης το μίγμα βιοντίζελ και γλυκερίνης που σχηματίζεται αφήνεται να ηρεμήσει. Σε λίγη ώρα το μίγμα διαχωρίζεται σε στιβάδες, στη στιβάδα του βιοντίζελ και στη στιβάδα της γλυκερίνης. Η γλυκερίνη, η οποία αποτελεί παραπροϊόν της αντίδρασης, οδηγείται στη μονάδα ανάκτησης της μεθανόλης. Το βιοντίζελ με τη σειρά του οδηγείται στη μονάδα έκπλυσης, όπου με τη βοήθεια νερού καθαρίζεται από υπολείμματα μεθανόλης, καταλύτη και γλυκερίνης που περιέχει. Τέλος, το προϊόν ξηραίνεται και οδηγείται στη δεξαμενή αποθήκευσης για διάθεση.

Η παραπάνω διεργασία (η οποία χρησιμοποιεί βασικούς ομογενείς καταλύτες) απαιτεί πρώτες ύλες με χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία και λιπαρά οξέα. Η παρουσία του νερού ευνοεί την υδρόλυση μερικών από τους παραγόμενους μονοεστέρες, με συνέπεια το σχηματισμό σαπουνιών. Αυτή η ανεπιθύμητη αντίδραση σαπωνοποίησης μειώνει τις αποδόσεις σε εστέρες και αυξάνει τις δυσκολίες στην

ανάκτηση γλυκερίνης εξαιτίας του σχηματισμού γαλακτωμάτων. Κατά συνέπεια, πρέπει να εφαρμοστεί προ-επεξεργασία του ακατέργαστου ελαίου (Πηγή: [www.agroenergy.gr](http://www.agroenergy.gr))

#### 4.5.3 Βιολογική Επεξεργασία

Δύο είναι οι βιολογικές διεργασίες που παράγουν τεράστιες ποσότητες βιοκαυσίμων σε όλο τον κόσμο: η ζύμωση λιγνοκυτταρινούχων και σακχαρούχων υλικών για την παραγωγή βιοαιθανόλης και η αναερόβια χώνευση οργανικών αποβλήτων για την παραγωγή βιοαερίου. Η ζύμωση εφαρμόζεται για την παραγωγή καυσίμου κίνησης, την βιοαιθανόλη, που είναι υποκατάστατο της βενζίνης. Αντίστοιχα, το βιοαέριο παράγεται από την αναερόβια χώνευση της απόβλητης βιομάζας κτηνοτροφικών μονάδων και χρησιμοποιείται, κατά κανόνα, για την καύση σε μηχανές συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας με σκοπό την παραγωγή ενέργειας με υψηλές αποδόσεις. Η βιολογική, όμοια με τη θερμική, επεξεργασία δεν επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με διοξείδιο του άνθρακα, δεδομένου ότι τα προϊόντα της βιομάζας που προέρχονται από βιολογική κατεργασία δεν έχουν υποβληθεί σε περαιτέρω επεξεργασία.

Παρακάτω αναλύονται οι υπάρχουσες τεχνολογίες βιολογικής επεξεργασίας βιομάζας.

#### Ζύμωση

Πρόκειται για μια διαδικασία που εφαρμόζεται σε εμπορική κλίμακα για την παραγωγή αιθανόλης από τη ζύμωση σακχαρούχων (ζαχαροκάλαμο, ζαχαρότευλα) και αμυλούχων καλλιεργειών (καλαμπόκι, σιτάρι). Η βιομάζα αλέθεται και το άμυλο μετατρέπεται από ένζυμα σε σάκχαρα και στη συνέχεια σε αλκοόλη. Η βιοαιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο κίνησης.

Η παραγωγή βιοαιθανόλης από αγροτικά προϊόντα – κοινώς γνωστή ως παραγωγή βιοκαυσίμων 1<sup>ης</sup> γενιάς – αποτελεί μια δοκιμασμένη και πλήρως εμπορική τεχνολογία με εφαρμογές σε χώρες όπως η Βραζιλία και οι Η.Π.Α.. Οι τυπικές πρώτες ύλες για τα βιοκαύσιμα 1<sup>ης</sup> γενιάς είναι πλούσιες σε σάκχαρα ή/και άμυλο: ζαχαροκάλαμο και σπόροι καλαμποκιού. Ωστόσο, καθώς αυτά τα προϊόντα είναι βρώσιμα από τους

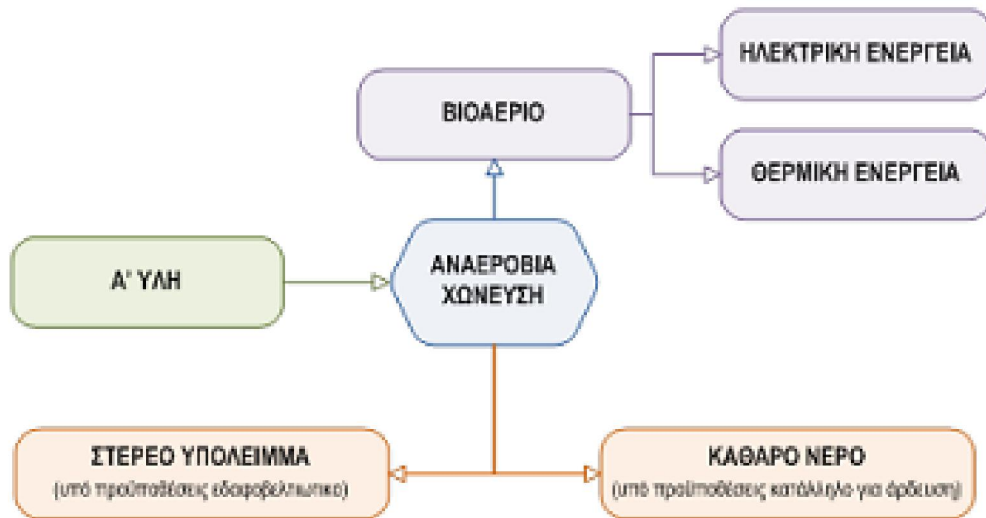
ανθρώπους, η παραγωγή βιοκαυσίμων 1<sup>ης</sup> γενιάς αποτελεί αντικείμενο διενέξεων στα πλαίσια της παγκόσμιας συζήτησης «τρόφιμα εναντίον καυσίμων».

Η παραγωγή βιοαιθανόλης από πρώτες ύλες όπως άχυρο, υπολείμματα αραβοσίτου και άλλα αγροτικά υπολείμματα (βιοκαύσιμο 2<sup>ης</sup> γενιάς), θεωρείται πιο αποδεκτή, θέτει όμως και μεγαλύτερες τεχνολογικές προκλήσεις. Αυτές οι πρώτες ύλες περιέχουν κυτταρίνη και ημικυτταρίνη, οι οποίες μπορούν να διασπαστούν σε σάκχαρα με χρήση κατάλληλων ενζύμων. Ωστόσο, η δομή της βιομάζας και η παρουσία της λιγνίνης, η οποία είναι μη χωνεύσιμη, απαιτεί κάποιο είδος προεπεξεργασίας ώστε να γίνει η κυτταρίνη εύκολα προσβάσιμη από τα ένζυμα.

Η παρούσα κατάσταση των τεχνολογιών προεπεξεργασίας και η έλλειψη ή/και το υψηλό κόστος αποτελεσματικών ενζύμων για την αποδόμηση της κυτταρίνης και της ημικυτταρίνης ήταν τα κύρια εμπόδια για την παραγωγή βιοαιθανόλης από πρώτες ύλες πλούσιες βιομάζας. Ωστόσο, αρκετές ερευνητικές και επιδεικτικές δραστηριότητες έχουν φέρει αυτή την τεχνολογία πολύ πιο κοντά στην εμπορική εφαρμογή.

### **Αναερόβια χώνευση**

Η αναερόβια χώνευση είναι μια βιοχημική διεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθενται, απουσία οξυγόνου, από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών. Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης είναι κοινή σε πολλά φυσικά περιβάλλοντα, όπως τα ιζήματα θαλάσσιου ύδατος, το στομάχι των μηρυκαστικών ή τα έλη τύρφης. Σε μία εγκατάσταση βιοαερίου, το αποτέλεσμα της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης είναι το βιοαέριο και το κομπόστ. Όταν το υπόστρωμα για την αναερόβια χώνευση είναι ένα ομοιογενές μίγμα από δύο ή περισσότερους τύπους πρώτων υλών, όπως για παράδειγμα ζωικοί πολτοί και οργανικά απόβλητα από τις βιομηχανίες τροφίμων, τότε έχουμε την λεγόμενη «συγχώνευση» η οποία είναι κοινή με πολλές από τις εφαρμογές του βιοαερίου σήμερα. Στην εικόνα που ακολουθεί (**Εικ. 4.28**) δίνεται το διάγραμμα ροής της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης.



**Εικόνα 4.28:** Διάγραμμα ροής της διαδικασίας αναερόβιας χώνευσης  
(Πηγή: [www.agroenergy.gr](http://www.agroenergy.gr), 2012).

Η πλήρης βιολογική αποδόμηση της οργανικής ύλης προς βιοαέριο σε συνθήκες απουσίας οξυγόνου (αναερόβιες συνθήκες), αποτελεί μία σύνθετη διεργασία που συνίσταται στην αλληλεπίδραση διαφορετικών ομάδων μικροοργανισμών. Κάθε μία από αυτές τις ομάδες ευθύνεται για την πραγματοποίηση διαφορετικού μέρους της συνολικής διεργασίας. Έτσι, το υλικό που μπορεί να αποτελεί απόβλητο για μια ομάδα μικροοργανισμών μπορεί να αποτελέσει πρώτη ύλη για κάποια άλλη ομάδα τους. Σε σύγκριση με την αερόβια χώνευση της οργανικής ύλης, δηλαδή την αποδόμηση της οργανικής ύλης παρουσία αέρα – οξυγόνου, ο ρυθμός αύξησης των αναερόβιων βακτηρίων είναι σημαντικά μικρότερος από εκείνο των αερόβιων βακτηρίων. Κατά συνέπεια, το τελικό παραπροϊόν που προκύπτει από την αναερόβια χώνευση είναι μικρότερο ανά μονάδα βάρους της οργανικής ύλης σε σχέση με την αερόβια. Το χαρακτηριστικό αυτό της αναερόβιας χώνευσης, δηλαδή η σημαντική μείωση του τελικού όγκου που επιτυγχάνεται, την καθιστά ιδιαίτερα ελκυστική ως μέθοδο επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων.

Κατά τη διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης παράγεται πολύ λίγη θερμότητα. Η ενέργεια, που είναι χημικά δεσμευμένη μέσα στο υπόστρωμα, παραμένει κυρίως στο παραγόμενο βιοαέριο με τη μορφή μεθανίου. Η διεργασία σχηματισμού του βιοαερίου είναι ένα αποτέλεσμα συνδυαστικών βημάτων, στα οποία το αρχικό υλικό συνεχώς διασπάται σε μικρότερα στοιχεία. Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης παρουσιάζει τέσσερα κύρια διακριτά στάδια: την υδρόλυση, την οξεογένεση, την

ακετογένεση (οξικοποίηση) και την μεθανογένεση. Διαφορετικά είδη μικροοργανισμών είναι υπεύθυνα για την ομαλή ολοκλήρωση καθενός από τα παραπάνω στάδια. Τα στάδια της διεργασίας λαμβάνουν χώρα παράλληλα στη δεξαμενή χώνευσης. Η ταχύτητα της συνολικής διεργασίας αποδόμησης καθορίζεται από τα πιο αργά στάδια των διαφορετικών φάσεων.

## 1. Υδρόλυση

Κατά το στάδιο της υδρόλυσης, που είναι και το πρώτο βήμα της διεργασίας, υδρολυτικά βακτηρίδια εκκρίνουν υδρολυτικά ένζυμα, μετατρέποντας τα βιοπολυμερή σε απλούστερες και διαλυτές ενώσεις. Με αυτόν τον τρόπο οργανικές μακρομοριακές ενώσεις, όπως οι πρωτεΐνες, οι υδατάνθρακες, τα νουκλεϊκά οξέα και τα λιπίδια, διασπώνται σε ενώσεις μικρότερης μοριακής αλυσίδας, συγκεκριμένα στα oligομερή και μονομερή τους. Η διεργασία αυτή είναι εξωκυτταρική, δηλαδή λαμβάνει χώρα εξωτερικά του κυτταρικού τοιχώματος των μικροοργανισμών, στην κυρίως μάζα του υγρού.

Ενώσεις όπως οι πρωτεΐνες, το άμυλο και κάποια απλά σάκχαρα υδρολύονται με μεγάλη ευκολία σε αναερόβιες συνθήκες. Αντίθετα, η λιγνοκυτταρίνη και η λιγνίνη, οι οποίες είναι βασικά φυτικά συστατικά, αποδομούνται υπό αναερόβιες συνθήκες αργά και ατελώς. Η υδρόλυση των υδρογονανθράκων ολοκληρώνεται εντός ολίγων ωρών. Αντίθετα, εκείνη των πρωτεϊνών και των λιπιδίων ολοκληρώνεται εντός ολίγων ημερών.

## 2. Οξυγένεση

Κατά τη διάρκεια της οξυγένεσης, τα προϊόντα της υδρόλυσης μετατρέπονται από οξεογενή βακτηρίδια σε μεθανογενή υποστρώματα. Οι oligοσακχαρίτες και οι μονοσακχαρίτες, τα αμινοξέα και τα λιπαρά οξέα υποβιβάζονται σε οξικό οξύ σε ποσοστό 50% του τελικού προϊόντος, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο σε ποσοστό 20%, ενώ το υπόλοιπο 30% αποτελείται από πτητικά λιπαρά οξέα (VFAs) και αλκοόλες.



### 3. Ακετογένεση

Κατά τη διάρκεια της ακετογένεσης, τα προϊόντα από την οξυγένεση που δεν μπορούν να μετατραπούν άμεσα σε μεθάνιο από τα μεθανογενή βακτηρίδια μετατρέπονται σε μεθανογενή υποστρώματα. Τα πτητικά λιπαρά οξέα και οι αλκοόλες οξειδώνονται σε μεθανογενή υποστρώματα, όπως οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Τα πτητικά λιπαρά οξέα με αλυσίδες άνθρακα με περισσότερους από δύο δεσμούς και οι αλκοόλες με αλυσίδες άνθρακα με περισσότερους από ένα δεσμό οξειδώνονται σε οξικό οξύ και υδρογόνο. Η παραγωγή του υδρογόνου αυξάνει την μερική πίεση του. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως «υπόλειμμα» της ακετογένεσης και εμποδίζει το μεταβολισμό των ακετογενών βακτηριδίων. Κατά τη διάρκεια της μεθανογένεσης, το υδρογόνο μετατρέπεται σε μεθάνιο. Η ακετογένεση και η μεθανογένεση συνήθως λαμβάνουν χώρα παράλληλα, ως συμβίωση δύο ομάδων οργανισμών.

### 4. Μεθανογένεση

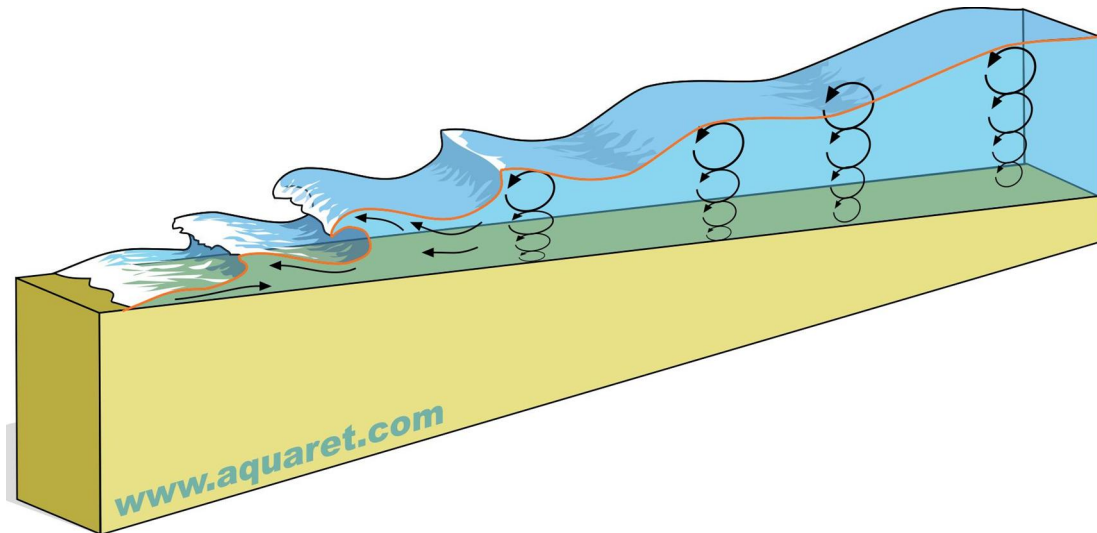
Αποτελεί το τελευταίο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης και πραγματοποιείται από τα μεθανογενή βακτήρια. Το 70% του παραγομένου μεθανίου προέρχεται από οξικό άλας, ενώ το υπόλοιπο 30% παράγεται από τη μετατροπή του υδρογόνου και του διοξειδίου του άνθρακα. Η μεθανογένεση είναι ένα κρίσιμο βήμα σε ολόκληρη τη διεργασία της χώνευσης, δεδομένου ότι είναι η πιο αργή βιοχημική και επομένως ρυθμορυθμιστική αντίδραση της διεργασίας. Τα μεθανογενή βακτήρια παρουσιάζουν το βραδύτερο ρυθμό ανάπτυξης από όλους του αναερόβιους μικροοργανισμούς στη διεργασία, συγκεκριμένα περίπου το 20% του ρυθμού ανάπτυξης των οξυγενών βακτηρίων. Τα μεθανοβακτήρια παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ευαισθησία και επηρεάζονται σοβαρά από τις συνθήκες λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα. Η σύνθεση της πρώτης ύλης, ο ρυθμός τροφοδοσίας, η θερμοκρασία και το pH είναι παραδείγματα παραγόντων που επηρεάζουν τη μεθανογένεση. Η υπερφόρτωση του χωνευτήρα, οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας, καθώς επίσης και η αυξημένη παρουσία διαλυμένου οξυγόνου οδηγούν στη μείωση ή ακόμη και τον τερματισμό της παραγωγής μεθανίου.

## 4.6 Ενέργεια Ωκεανών

Παρά το γεγονός ότι οι ωκεανοί, που καλύπτουν σχεδόν τα  $\frac{3}{4}$  της γήινης επιφάνειας, αποτελούν ένα τεράστιο ενεργειακό ρεζερβουάρ, η βιομηχανία παραγωγής ενέργειας από τη θάλασσα εμφανίζει υστέρηση σε σχέση με την ανάπτυξη άλλων κλάδων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμους πόρους. Υπάρχουν πολλές καινοτόμες ιδέες αλλά με πιλοτικές, κυρίως, εφαρμογές. Αυτό οφείλεται εν μέρει στην πολυπλοκότητα και την ποικιλομορφία των συστημάτων, το δυσμενές περιβάλλον, τη μικρή, μέχρι πρότινος, συνέργια για την κάλυψη ενδεχόμενων τεχνολογικών κενών με τη βιομηχανία κατασκευής υπεράκτιων συστημάτων παραγωγής και εκμετάλλευσης πετρελαϊκών κοιτασμάτων (offshore industry), καθώς και το ύψος των συναφών επενδύσεων.

### 4.6.1 Κυματική Ενέργεια

Οι φορείς ανάπτυξης ακολουθούν διάφορους σχεδιασμούς για την απόσπαση της ενέργειας που περικλείεται στα κύματα. Οι κυματικές συσκευές κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τη θέση και το βάθος στο οποίο κατασκευάζονται για να λειτουργήσουν ή με τη μέθοδο που εφαρμόζεται για την απόσπαση της κυματικής ενέργειας. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των θέσεων εφαρμογής τους, οι τεχνολογίες κυματικής ενέργειας διακρίνονται συνήθως σε **επάκτιες**, **παράκτιες** και **υπεράκτιες** συσκευές. Οι φυσικές συνθήκες (π.χ. βάθος νερού, επίπεδο ισχύος, φορά του νερού και υδροδυναμικά χαρακτηριστικά) που σχετίζονται με τη μετατροπή της κυματικής ενέργειας διαφέρουν ανάλογα με το βάθος των υδάτων και την απόσταση από την ακτή. Τα κύματα ταξιδεύουν στα βαθιά ύδατα των ωκεανών σχεδόν χωρίς καμιά απώλεια ενέργειας, και αυτός είναι άλλωστε ο λόγος που οι πλωτές τεχνολογίες που αγκυρώνονται στα βαθιά ύδατα αναμένεται να έχουν το μεγαλύτερο δυναμικό για εφαρμογή σε μεγάλη κλίμακα. Τα τυπικά βάθη υδάτων για τις υπεράκτιες τεχνολογίες είναι γύρω στα 50 μέτρα. Στα ρηχότερα ύδατα, η ισχύς των κυμάτων εξασθενίζει όλο και περισσότερο λόγω της τριβής στο βυθό (**Εικ. 4.29**), πράγμα που καθιστά τις θέσεις αυτές λιγότερο ενδιαφέρουσες από ενεργειακής απόψεως.



**Εικόνα 4.29:** Η ενέργεια που περικλείεται στα κύματα ελαττώνεται καθώς αυτά φτάνουν στην ακτή λόγω της τριβής στον πυθμένα της θάλασσας (Πηγή: ιστοσελίδα AQUARET, 2012).

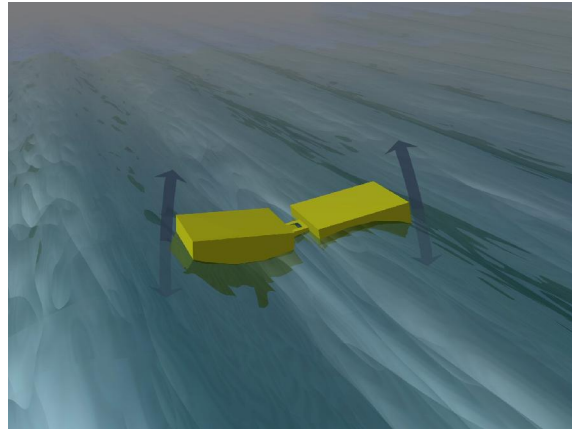
Ωστόσο, όσο πιο κοντά προς την ακτή («παράκτια») βρίσκονται οι διατάξεις αυτές, τα κόστη αγκύρωσης και σύνδεσης με το δίκτυο μειώνονται και, σε ορισμένες περιπτώσεις, οι συσκευές που θεμελιώνονται στον πυθμένα μπορεί να αποτελούν βιώσιμη λύση. Τελικά, οι επάκτιες συσκευές, οι οποίες τυπικά ενσωματώνονται στην ακτογραμμή ή σε κάποια τεχνητή επάκτια κατασκευή ανάσχεσης, συνεπάγονται χαμηλότερα επίπεδα διαθέσιμης προσπίπτουσας ισχύος αλλά εύκολη πρόσβαση και διαφορετικές κατασκευαστικές λύσεις.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιείται η εφαρμοζόμενη μέθοδος απόσπασης της κυματικής ενέργειας ως κριτήριο για την κατηγοριοποίηση των συσκευών ως ακολούθως:

### Εξασθενητές κυματισμών

(Attenuators, Εικ. 4.30):

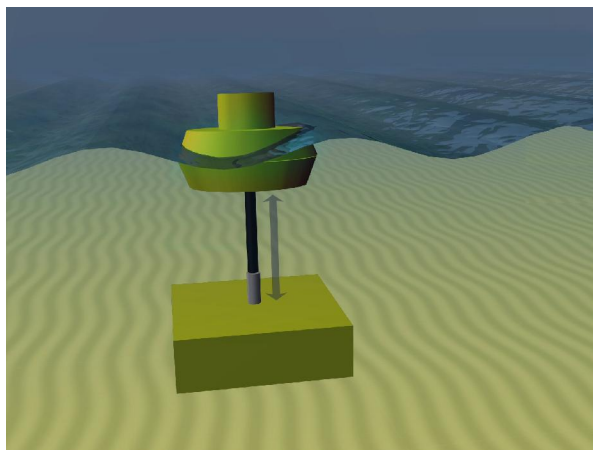
Είναι μακρόστενη πλωτή συσκευή ευθυγραμμισμένη κάθετα προς το μέτωπο του κύματος. Η συσκευή ουσιαστικά επιπλέει επί των διερχόμενων κυμάτων και αποσπά την ενέργεια τους με την επιλεκτική δέσμευση των κινήσεων καθ' όλο της το μήκος. Ένα σημερινό παράδειγμα εξασθενητή κυματισμών είναι η συσκευή Pelamis. Προηγούμενα σχέδια ήταν η Κυματική Αντλία McCabe (θαλάσσιες δοκιμές) και η Σχεδία Cockerel (στο στάδιο ανάπτυξης της ιδέας).



Εικόνα 4.30: Εξασθενητής κυματισμών (Πηγή: Ιστοσελίδα AQUARET, 2012).

### (Αξονοσυμμετρικοί) Σημειακοί Απορροφητές (Point Absorbers, Εικ. 4.31):

Πλωτή κατασκευή η οποία απορροφά την κυματική ενέργεια από κάθε διεύθυνση μέσω των κινήσεων της στην επιφάνεια των υδάτων ή κοντά σε αυτή. Έχει μικρές διαστάσεις σε σχέση με το τυπικό μήκος κύματος, με διάμετρο συνήθως της τάξης των λίγων μέτρων. Το χαρακτηριστικό της σημειακής απορρόφησης σημαίνει βασικά



Εικόνα 4.31: (Αξονοσυμμετρικός) Σημειακός Απορροφητής (Πηγή: Ιστοσελίδα AQUARET, 2012).

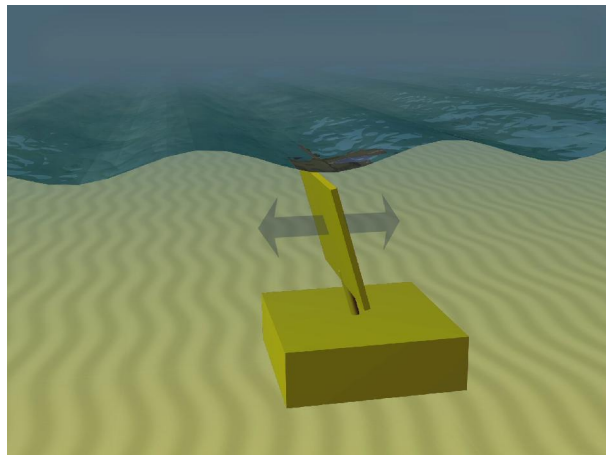
την ικανότητα απορρόφησης της ενέργειας μιας θαλάσσιας περιοχής μεγαλύτερης από τις διαστάσεις της συσκευής. Σε σχέση με το ουσιαστικά ίδιο φαινόμενο που παρουσιάζεται στα ραδιοκύματα (π.χ. ακουστικά), το φαινόμενο αυτό καλείται «φαινόμενο κεραίας». Οι σχεδιασμοί τύπου σημαδούρας, για παράδειγμα, ενεργούν ως σημειακοί απορροφητές. Τυπικά, όχι όμως κι απαραίτητα, οι πλωτοί αυτοί σχεδιασμοί είναι αξονοσυμμετρικοί.

Σημερινά παραδείγματα στην κατηγορία αυτή είναι οι συσκευές Wavebob, OPT

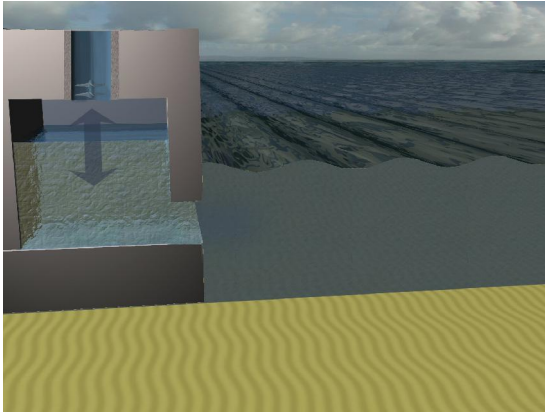
PowerBuoy και Aquabuoy. Ωστόσο, παράδειγμα μη αξονοσυμμετρικού σημειακού απορροφητή, με σχεδόν παρόμοια χαρακτηριστικά, είναι και η SeaREV. Οι πλωτές κατασκευές OWC (OEBuoy, Sperbuoy, MRC) έχουν κι αυτές χαρακτηριστικά σημειακής απορρόφησης, αλλά εξετάζονται συνήθως στην κατηγορία των OWC.

### Παλλόμενοι μετατροπείς των κυματικών κλυδωνισμών (Oscillating Wave Surge Converters, OWSC, Εικ. 4.32):

Συλλέκτης κοντά στην επιφάνεια, ο οποίος εδράζεται πάνω σε περιστρεφόμενο βραχίονα που είναι αγκυρωμένος κοντά στον πυθμένα. Ο βραχίονας ταλαντεύεται ως ανάστροφο εκκρεμές λόγω της κίνησης των σωματιδίων νερού των κυμάτων. Σημερινά παραδείγματα της κατηγορίας αυτής είναι η υποβρύχια συσκευή Waveroller και το διατρητικό επιφάνειας Oyster. Ένας προηγούμενος τύπος της συσκευής αυτής, το Ιαπωνικό Εκκρεμές, είχε το αγκυρωμένο κοντά στην επιφάνεια πτερύγιο να κρέμεται προς τα κάτω και να εισέρχεται μέσα στον υδατοστεγή θάλαμο.



**Εικόνα 4.32:** Παλλόμενος μετατροπέας κυματικών κλυδωνισμών – OWSC (Πηγή: Ιστοσελίδα AQUARET, 2012).



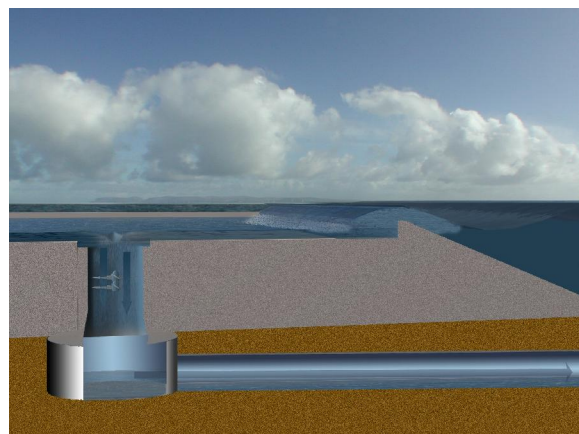
*Εικόνα 4.33: Παλλόμενη υδάτινη στήλη - ΠΥΣ (Πηγή: Ιστοσελίδα AQUARET, 2012).*

**Παλλόμενη υδάτινη στήλη (Oscillating Water Column, OWC, Εικ. 4.33):**

Μερικώς υποβρύχια κοίλη κατασκευή η οποία έχει ένα άνοιγμα στη θάλασσα κάτω από την επιφάνεια των υδάτων ώστε να εγκλωβίζει αέρα πάνω από την υδάτινη στήλη. Τα κύματα προκαλούν το σκαμπανέβασμα της στήλης, που ενεργεί ως έμβολο που συμπιέζει και αποσυμπιέζει τον αέρα. Ο αέρας διέρχεται μέσα από αεροστρόβιλο για την παραγωγή ενέργειας. Όταν σχεδιάζονται σωστά για την επικρατούσα κατάσταση θαλάσσης, οι OWC ρυθμίζονται κατάλληλα για το επικείμενο μήκος κύματος ώστε να υπάρχει συντονισμός τους. Με τον τρόπο αυτό, οι συσκευές OWC μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματικές και παρουσιάζουν χαρακτηριστικά σημειακής απορρόφησης. Ειδική περίπτωση της κατηγορίας αυτής είναι η πλωτή OWC. Μεταξύ των προτεινόμενων σήμερα συσκευών είναι η Sperbooy, η MRC και η τύπου αγωγού Οπίσθιας Κλίσης OE Buoy. Οι κλασικές OWC είναι επάκτιες συσκευές που κατασκευάζονται επί της ακτής (Pico OWC, Limpet OWC) ή ενσωματώνονται σε κυματοθραύστες (Mutriko OWC).

**Συσκευή υπερακόντισης (Overtopping, Εικ. 4.34):**

Η συσκευή αποτελείται από ένα τοίχωμα πάνω στο οποίο σπάνε τα κύματα και το νερό συλλέγεται σε μία δεξαμενή αποθήκευσης. Τα προσκρούοντα κύματα δημιουργούν ένα ύψος πτώσης το οποίο ελευθερώνεται πίσω στη θάλασσα μέσω συμβατικών στροβίλων χαμηλής

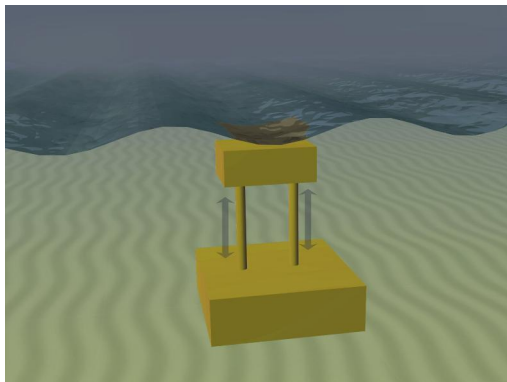


*Εικόνα 4.34: Συσκευή υπερακόντισης (Πηγή: Ιστοσελίδα AQUARET, 2012).*

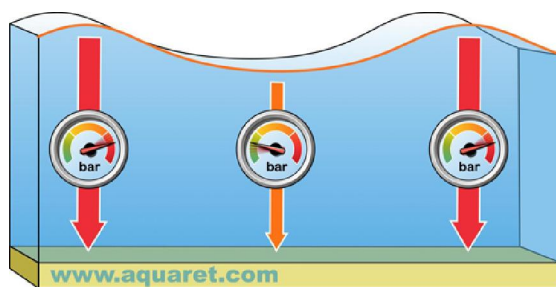
πίεσης που είναι εγκατεστημένοι στον πυθμένα της δεξαμενής. Η συσκευή υπερακόντισης μπορεί να κάνει χρήση συλλεκτών για την συγκέντρωση της κυματικής ενέργειας. Οι συσκευές υπερακόντισης είναι συνήθως μεγάλες κατασκευές λόγω του απαιτούμενου χώρου για τη δεξαμενή, η οποία χρειάζεται να εξασφαλίζει μια ελάχιστη χωρητικότητα αποθήκευσης. Οι συσκευές μπορεί να είναι πλωτές, όπως η Wave Dragon, που επί του παρόντος είναι ο μεγαλύτερος μετατροπέας κυματικής ενέργειας που αναπτύσσεται, ή σταθερές κατασκευές στη στεριά όπως η SSG (ενσωματώνεται σε κυματοθραύστη). Παράδειγμα πρώιμης συσκευής υπερακόντισης είναι η συσκευή TAPChan στο Tofstallen της Νορβηγίας, όπου ένας αγωγός με σταδιακή μείωση της διαμέτρου του προκαλούσε την υπερχειλίση του νερού σε μία επίγεια δεξαμενή.

**Βυθιζόμενη συσκευή διαφορικής πίεσης (Submersible Pressure Transducer, Εικ. 4.35):**

Βυθιζόμενη συσκευή που συνήθως εγκαθίσταται κοντά στην ακτή και προσαρτάται στον πυθμένα. Η κίνηση των κυμάτων προκαλεί την άνοδο και την πτώση της στάθμης της θάλασσας πάνω από τη συσκευή, πράγμα που δημιουργεί μια διαφορά πίεσης η οποία αναγκάζει τη συσκευή να ανεβοκατεβαίνει με τα κύματα.



**Εικόνα 4.35:** Βυθιζόμενη συσκευή διαφορικής πίεσης (Πηγή: Ιστοσελίδα των κυμάτων (Πηγή: Ιστοσελίδα AQUARET, AQUARET, 2012).



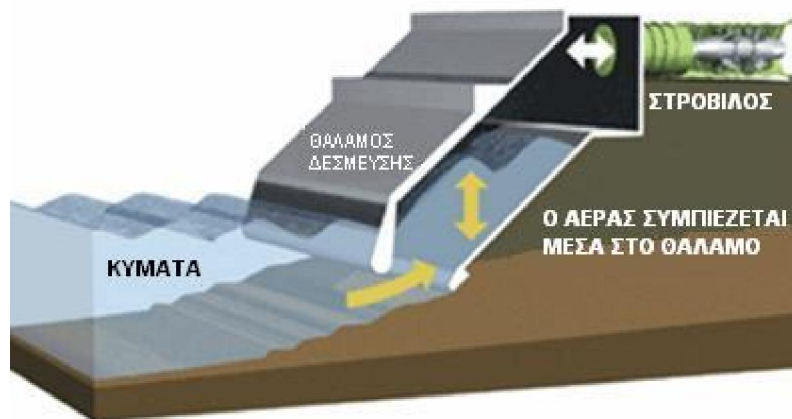
**Εικόνα 4.36:** Διαφορά πίεσης λόγω κίνησης (Πηγή: Ιστοσελίδα AQUARET, AQUARET, 2012).

Όταν σχεδιαστεί σωστά για την συγκεκριμένη κατάσταση της θάλασσας, η κατηγορία αυτή διαθέτει και αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά σημειακής απορρόφησης. Ένα καλό παράδειγμα υλοποίησης της σχεδίασης αυτής μέχρι σήμερα είναι η AWS

(Archimedes Wave Swing), η οποία έχει και αυτή καλά χαρακτηριστικά σημειακής απορρόφησης. Μια ακόμα συσκευή που μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκει στην κατηγορία αυτή είναι η Waverotor.

Όπως φαίνεται, υπάρχουν αρκετές κατηγορίες διατάξεων κυματικής ενέργειας βάσει των μηχανισμών απόσπασης της ενέργειας και οι διακρίσεις είναι δύσκολες. Συχνά, διακρίνονται μόνο τρεις στοιχειωδώς διαφορετικές κατηγορίες: η παλλόμενη υδάτινη στήλη, η διάταξη υπερχειλίσσης και σώματα με προκαλούμενη από τα κύματα (σχετική) κίνηση. Τυπικά, όλες οι διατάξεις πλην αυτής της υπερχειλίσσης διαθέτουν και χαρακτηριστικά σημειακού απορροφητή. Σημειακή απορρόφηση είναι η ικανότητα απορρόφησης της ενέργειας από μια μεγάλη περιοχή σε σχέση με τις φυσικές διαστάσεις της διάταξης – επίσης γνωστό και ως φαινόμενο «κεραίας». Δεν υπάρχει μία κοινή και ευρέως αποδεκτή κατηγοριοποίηση από τη διεθνή κοινότητα έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης, λόγω της διαφορετικής οπτικής γωνίας. Η παραπάνω λίστα έγινε με σκοπό τη διάκριση των σχεδιάσεων που είναι σήμερα οι πλέον δημοφιλείς, βάσει της αρχής λειτουργίας τους.

Μέχρι σήμερα, η τεχνολογία που έχει ερευνηθεί περισσότερο, και εγκαθίσταται συχνότερα, είναι η ταλαντευόμενη στήλη νερού (Εικ. 4.37).



*Εικόνα 4.37: Εγκατάσταση ταλαντευόμενης στήλης νερού στην ακτή.*

Πρωτότυπα σε πλήρη κλίμακα της ταλαντευόμενης στήλης νερού, με εγκατεστημένη ισχύ της τάξης των αρκετών δεκάδων kW, κατασκευάστηκαν και δοκιμάστηκαν υπό πραγματικές συνθήκες θαλάσσης στη Νορβηγία (Toftehallen, 1985), την Ιαπωνία (Sanze, Niigata, Kujukuri, Sakata, ~1985 – 1990), την Ινδία (Vizhinjam, ~1990), την



Πορτογαλία (Pico/Azores, 1999) και το HB (Islay, 1986 – LIMPET, 2000, Islay Island, Σκωτία).

Ωστόσο, φαίνεται ότι η συσκευή που βρίσκεται πιο κοντά στην αξιοποίησή της σε πάρκα πλήρους κλίμακας είναι η τεχνολογία εκμετάλλευσης της υπεράκτιας κυματικής ενέργειας με το όνομα Pelamis. Τη συσκευή ανέπτυξε και εκμεταλλεύεται εμπορικά η εταιρεία Pelamis Wave Power Ltd (που εδρεύει στη Σκωτία και πριν ήταν γνωστή ως Ocean Power Delivery Ltd). Πρωτότυπό της δοκιμάστηκε το 2004 / 2005 (Orkney, HB). Η κάθε συσκευή αποτελείται από τέσσερα τμήματα σωλήνα, αρθρωτά συνδεδεμένα μεταξύ τους, μήκους 150m, πλάτους 3,5m και συνολικής ισχύος 750kVA (**Εικ. 4.38**).

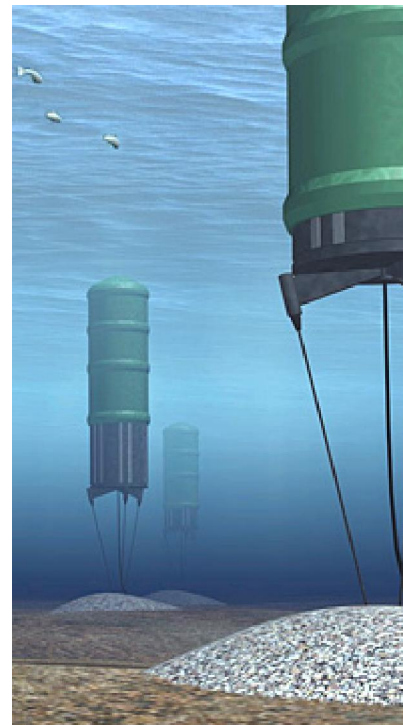


**Εικόνα 4.38:** Το πρωτότυπο Pelamis στο Orkney της Σκωτίας (2004 – 2005).

Το 2006 η εταιρεία ξεκίνησε την εφαρμογή σε ένα μικρό πάρκο (διάταξη 3 μονάδων) στη βόρεια Πορτογαλία (Aguçadoura) στα πλαίσια μιας εμπορικής συμφωνίας με τον φορέα ανάπτυξης έργων ΑΠΕ Enersis. Η εγκατάσταση λειτούργησε αρχικά στα μέσα του 2008 με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 2,25MW και με σκοπό να φτάσει τις 25 εγκατεστημένες μονάδες, συνολικής ισχύος 21MW. Ωστόσο, βλάβες που παρουσιάστηκαν στις μονάδες (διαρροές που κατέληγαν στη βύθισή τους) και που συνέπεσαν χρονικά με σοβαρές οικονομικές δυσκολίες που αντιμετώπισε η τότε

διαχειρίστρια εταιρεία, είχαν ως αποτέλεσμα τη διακοπή της λειτουργίας του πάρκου των € 9 εκατ. μόλις λίγους μήνες αργότερα.

Η Archimedes Wave Swing (AWS) είναι ένα ακόμα παράδειγμα τεχνολογίας νέας γενιάς της κυματικής ενέργειας και ανήκει στην κατηγορία των σημειακών απορροφητών (Εικ. 4.39). Η επινοήση και ανάπτυξη της συσκευής έγινε από την ολλανδική εταιρεία Teamwork Technology στα μέσα της δεκαετίας του 1990 και σήμερα προωθείται από την Σκωτσέζικη εταιρεία AWS Ocean Ltd.

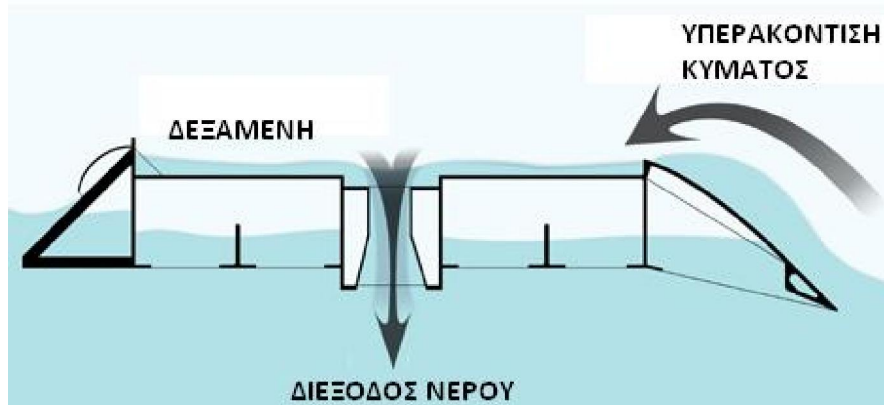


*Εικόνα 4.39: Το προ-εγκατεστημένο AWS ισχύος 2MW πριν τη βύθισή του & αναπαράσταση πάρκου AWS όπως θα φαίνεται από το βυθό (Πηγή: [www.waveswing.com](http://www.waveswing.com)).*

Μεταξύ των τεχνολογιών που βρίσκονται σε ένα προηγμένο στάδιο ανάπτυξης είναι οι: Wave Dragon, WaveBob, AquaBuoy, OE Buoy, Powerbuoy, FO3 και Wavestar.

Η διάταξη Wave Dragon (συσκευή υπερακόντισης) διαφέρει από τις άλλες συσκευές κυματικής ενέργειας όσον αφορά τη φιλοσοφία υδροδυναμικής μετατροπής και τις διαστάσεις. Η συσκευή – η ανάπτυξη και διαχείριση της οποίας γίνεται από την Wave Dragon ApS/Δανία – αποτελείται βασικά από μια μεγάλη πλωτή λεκάνη στην οποία

συσσωρεύεται νερό για στάθμες νερού πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας μέσω της υπερακόντισης των κυμάτων προς την συσκευή (Εικ. 4.40).



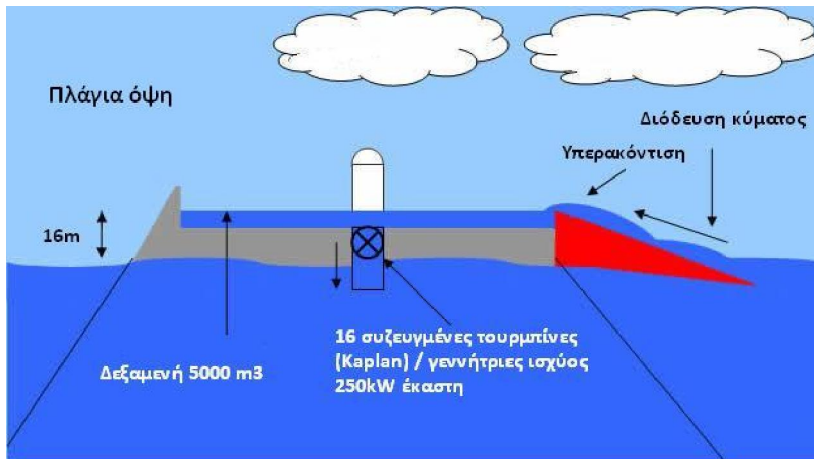
Εικόνα 4.40: Διάγραμμα λειτουργίας του Wave Dragon.

Επιπλέον, σ' αυτό το εγχείρημα, προτεραιότητα αποτέλεσε η χρήση εμπορικής τεχνολογίας και η επαγγελματική προσέγγιση για την σταδιακή αναβάθμιση της εμπειρίας από την περιορισμένης κλίμακας λειτουργική εμπειρία (Nissum Bredning/Δανία) στο τρέχον προ-εμπορικό έργο επίδειξης στην Ουαλία, ονομαστικής ισχύος 5 – 7 MW (Εικ. 4.41)

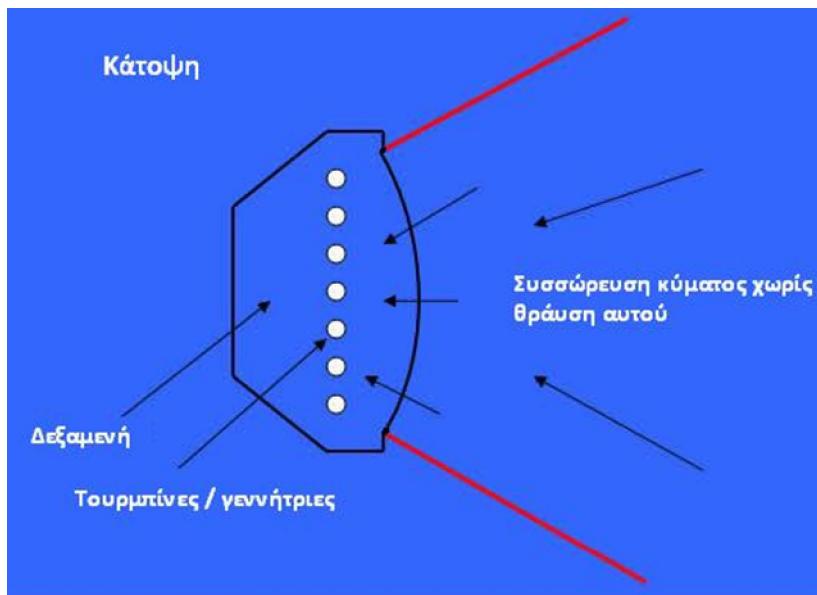


Εικόνα 4.41: Η πιλοτική εφαρμογή του Wave Dragon κοντά στις Ουαλικές ακτές (Πηγή: [www.marineenergypembrokeshire.co.uk](http://www.marineenergypembrokeshire.co.uk)).

Η τυπική διάταξη της συσκευής φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν (Εικ 4.42 – 4.43).



*Εικόνα 4.42: Πλάγια όψη και κάτοψη διάταξης Wave Dragon ισχύος 4kW (Πηγή: [www.climateandfuel.com](http://www.climateandfuel.com)).*



Άλλες σχεδιάσεις που πρόσφατα έφτασαν στο στάδιο της πραγματικής θαλάσσιας δοκιμής είναι αυτές του τύπου του πλωτού σημειακού απορροφητή, π.χ. η OPT Power Buoy (Ocean Power Technologies, Η.Π.Α./ΗΒ), η WaveBob (Wave Bob Ltd, Ιρλανδία), η Aquabuoy (Finavera Ltd, Ιρλανδία) και η OE Buoy (Ocean Energy Ltd, Ιρλανδία) (η οποία είναι μια πλωτή OWC του τύπου Αγωγού Οπίσθιας Κλίσης).

Επιπλέον, έχουν δοκιμαστεί σε μεγαλύτερη κλίμακα πλωτές μικρές σχεδίες σημειακού απορροφητή στηριζόμενες σε πλατφόρμες, όπως π.χ. η FO3 (Fred Olsen, Νορβηγία) και η Wavestar (Δανία).

Σε μεγαλύτερο βαθμό απ' ό,τι συμβαίνει με τις άλλες τεχνολογίες ΑΠΕ, η κυματική ενέργεια θεωρείται αναξιόπιστη, υψηλού κόστους και μη ρεαλιστική για να συμβάλει σε μεγάλη κλίμακα. Ο σημαντικότερος παράγοντας γι' αυτήν την εικόνα είναι

ασφαλώς η έλλειψη προετοιμασίας εκ μέρους των ομάδων ανάπτυξης για το απαιτητικό υπεράκτιο περιβάλλον. Η ποικιλομορφία των ιδεών και η ανάγκη για εξαιρετικά οικονομικούς μηχανισμούς πρόσληψης της ισχύος που κατά καιρούς υπόκεινται σε ακραία φορτία (π.χ. μεγάλα φορτία που συμβαίνουν μόνο σε εξαιρετικά σπάνιες περιστάσεις) και ο μεγάλος αριθμός των κύκλων λειτουργίας (η κυματική συσκευή συνήθως οδηγείται από κυκλικές ευθύγραμμες κινήσεις κάθε λίγα δευτερόλεπτα, βάσει της περιόδου του κύματος) δεν επιτρέπουν την σύγκριση με άλλες τεχνολογίες. Έχοντας να αντιμετωπίσει πολλά θέματα σχετικά με τα υλικά και τη συντήρηση, αφού η κυματική ενέργεια είναι παρόμοια με τον τομέα της υπεράκτιας εξόρυξης πετρελαίου και αερίου, η εφαρμογή των υφιστάμενων λύσεων οδηγεί σε απαγορευτικές δαπάνες. Οι τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας είναι μικρότερης έντασης εσόδων απ' ό,τι τα ορυκτά καύσιμα και αυτός άλλωστε είναι ο λόγος για τον οποίο η μόνη επιλογή φαίνεται να είναι οι νέες μεθοδολογίες και τα εναλλακτικά υλικά.

Η διάσταση αυτή καθυστέρησε σημαντικά την ανάπτυξη και συνέβαλε στην επιφυλακτικότητα με την οποία οι ισχυροί βιομηχανικοί φορείς αντιλαμβάνονται την πιθανή συμμετοχή τους.

Υπεράκτιες συσκευές – παλλόμενα σώματα, πλωτά ή πλήρως βυθισμένα, μπορούν να εκμεταλλευτούν τις ισχυρότερες θάλασσες στα βαθύτερα νερά και αρκετές βρίσκονται στο στάδιο δοκιμής στη θάλασσα ή έχουν ολοκληρώσει τις σχετικές δοκιμές. Αναμένεται ότι τουλάχιστον δύο ή τρεις από τις διαφορετικές τεχνολογίες που έχουν επιτύχει κάποια στοιχεία απόδειξης της ιδέας σε στάδιο πρωτοτύπου και βρίσκονται σε ικανοποιητική εμπορική θέση προς το παρόν, θα μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας στο εγγύς μέλλον. Κάποιος αποκλειστικός «νικητής», όπως στην περίπτωση της αιολικής ενέργειας, δεν αναμένεται να υπάρξει απαραίτητα λόγω των διαφορετικών στη θέση και τη ζήτηση, καθώς και των ποικίλων ταυτόχρονων περιφερειακών προσπαθειών για την προώθηση συγκεκριμένων σχεδίων.

#### **4.6.2 Παλιρροϊκή Ενέργεια & Ενέργεια Θαλασσιών Ρευμάτων**

Η τεχνογνωσία όσον αφορά στο φαινόμενο των παλιρροιών, καθώς επίσης και το ενδιαφέρον για τη συστηματική αξιοποίηση του, πέρασε από πολλά στάδια και

εξελίχθηκε αργά αλλά σταθερά. Οι ιδέες ήταν πολλές και οι ευρεσιτεχνίες ακόμα περισσότερες, όμως καμία προσπάθεια δεν κατάφερε να ανθίσει παρά μόνο έπειτα από την ανάπτυξη των υδραυλικών τουρμπίνων και των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, γεγονός που συντελέστηκε κυρίως από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα και μετά.

Στα μέσα της δεκαετίας του '60 η τεχνολογία αξιοποίησης του παλιρροιακού φαινομένου μπορεί πλέον να θεωρηθεί «ώριμη». Αδιαμφισβήτητος εκπρόσωπος της τεχνολογικής υπέρβασης της εποχής αποτελεί ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από παλίρροιες στην εκβολή του ποταμού La Rance στη Βρετανία της Γαλλίας, το πρώτο στον κόσμο μεγάλης κλίμακας εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής συνολικής ισχύος 240MW. Η λειτουργία του βασίζεται στη μέθοδο των αντλιο – στροβίλων, σύμφωνα με την οποία αποθηκεύεται η δυναμική ενέργεια του νερού μέσω της άντλησής του. Ο εν λόγω σταθμός λειτουργεί με επιτυχία μέχρι σήμερα, τροφοδοτώντας και υποστηρίζοντας το δημόσιο δίκτυο ηλεκτροδότησης.

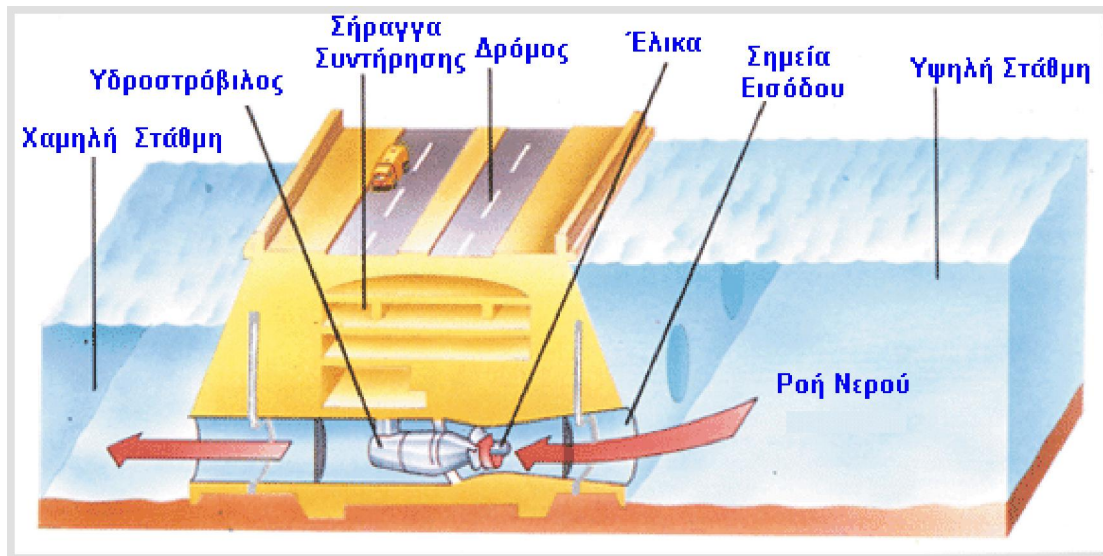
Στις μέρες μας, ως κυρίαρχη τεχνολογία σε θέματα ηλεκτροπαραγωγής από παλίρροιες παραμένουν οι υδροηλεκτρικοί μηχανισμοί, και ειδικότερα οι υδατοστρόβιλοι. Η εν λόγω τεχνολογία έχει φτάσει σε τέτοιο τεχνικό στάδιο, ώστε η μαζική αξιοποίηση της θάλασσας για παραγωγή «καθαρής» και «φτηνής» ενέργειας να θεωρείται πλέον εφικτή. Οι υδατοστρόβιλοι τοποθετούνται σε ένα φράγμα που κατασκευάζεται στις εκβολές ενός ποταμού προς τη θάλασσα, παράλληλα προς τη ροή του νερού, την οποία και ρυθμίζουν από και προς τη φυσική δεξαμενή. Σε λίγα όμως σημεία της Γης η διαφορά της στάθμης είναι τόσο σημαντική, ώστε να είναι αξιοποιήσιμη, γεγονός που εξηγεί και τους ελάχιστους εν ενεργεία παλιρροιακούς σταθμούς ανά την υφήλιο.

### **Παλιρροιακό φράγμα**

Οι παλιρροιακοί φράκτες είναι αποτελεσματικά φράγματα που κατασκευάζονται συνήθως στις εκβολές ποταμών με έντονο παλιρροιακό φαινόμενο και είναι σε θέση να ρυθμίσουν τη ροή του νερού από και προς τον περιφραγμένο χώρο, τη λεγόμενη φυσική δεξαμενή. Το βασικό χαρακτηριστικό της μεθόδου ηλεκτροπαραγωγής από παλίρροιες, εξετάζοντας από άποψη τεχνολογίας, είναι η χρήση υδροηλεκτρικών μηχανισμών. Η στροβίλο – γεννήτρια είναι ένα μηχάνημα αξονικής ροής το οποίο τοποθετείται οριζόντια μέσα στο πέρασμα του φράγματος από το οποίο διέρχεται το

νερό εντός και εκτός της φυσικής δεξαμενής. Μαζί με τη στροβίλο – γεννήτρια λειτουργεί και ο εναλλάκτης, μια συσκευή που εναλλάσσει τη φορά άντλησης του νερού από τον στρόβιλο και περιέχεται μέσα σε μια υποβρύχια ατσάλινη βαλβίδα (Εικ. 4.43).

Η λειτουργία του στροβίλου εξαρτάται από την παλίρροια. Έτσι, όταν η στάθμη του νερού ανεβαίνει, ο στρόβιλος αντλεί νερό προς τη δεξαμενή και συνεχίζει να αντλεί επιπρόσθετο νερό, ακόμα και μετά το πέρας της βαρυτικής πλημμυρίδος. Το γεγονός αυτό δίνει μεγάλη ελαστικότητα στη λειτουργία του σταθμού καθώς επιτρέπει στη δεξαμενή να γεμίζει έως μια στάθμη σαφώς υψηλότερη από εκείνη που θα γέμιζε κανονικά με την παλίρροια. Εφόσον οι φτερωτές του στροβίλου είναι αναστρέψιμες, η μονάδα μπορεί να αντλήσει νερό και από τη φυσική δεξαμενή, γεγονός που συμβαίνει όταν η στάθμη του νερού έχει πλέον υποχωρήσει.



**Εικόνα 4.43:** Απεικόνιση ενός τυπικού παλιρροιακού φράγματος (Πηγή: Μαρινάκης Ι., 2012).

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ένα ενδιαφέρον φαινόμενο που επηρεάζει άμεσα το εύρος της παλίρροιας. Η περίοδος των παλιρροιακών κυμάτων ανέρχεται στις 12,5 ώρες περίπου και είναι αρκετή ώστε να κάνει το μήκος κύματος του νερού γενικά μεγαλύτερο από το φυσικό μήκος μιας εκβολής. Στις περιπτώσεις όμως που το μήκος της εκάστοτε εκβολής είναι περίπου το μισό ή το ένα τέταρτο του μήκους κύματος του νερού και ταυτόχρονα το βάθος της εκβολής είναι το κατάλληλο, είναι πολύ πιθανό να συμβεί αντήχηση και το εύρος των παλιρροιακών κυμάτων να αυξηθεί κατά μήκος της εκβολής. Ευρέως γνωστά παραδείγματα είναι ο κόλπος του

Fundy στην ανατολική ακτή του Καναδά και το κανάλι του Bristol στη δυτική ακτή της Αγγλίας. Ειδικότερα στην περίπτωση του κόλπου του Fundy, οι παλίρροιες στο στόμιο του κόλπου αυξάνονται κατά 2,5 φορές (Δουκάκης, 1998).

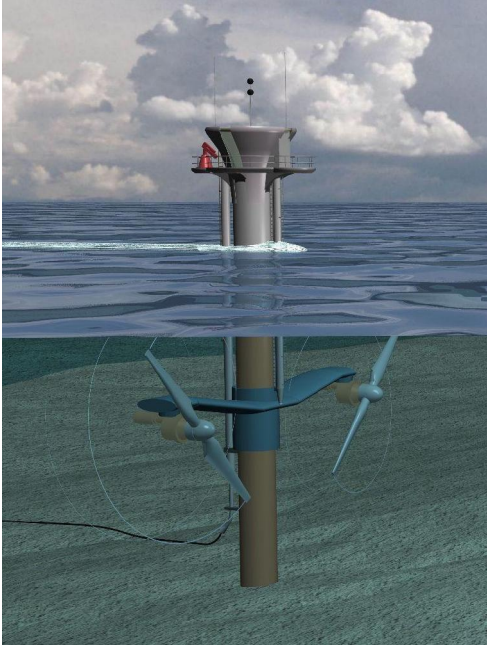
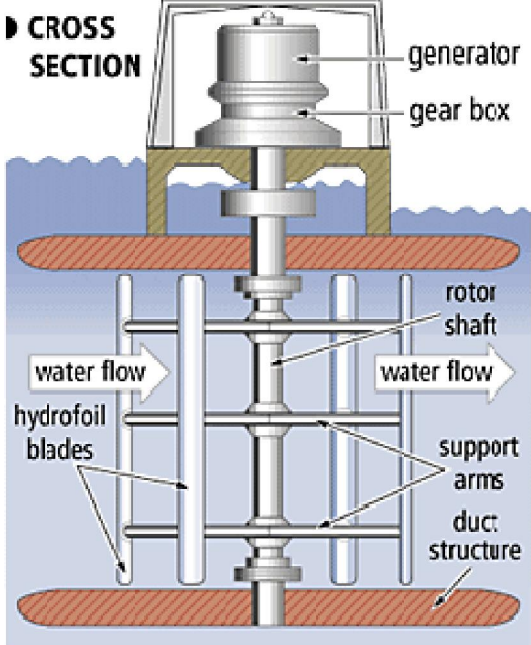
### Παλιρροιακός στρόβιλος

Οι παλιρροιακοί στρόβιλοι αποτελούν έναν από τους κυριότερους ανταγωνιστές της τεχνολογίας των παλιρροιακών φρακτών. Πρόκειται για μια σειρά από υποβρύχιες τουρμπίνες, με την πλειοψηφία των εγκαταστάσεων να είναι κρυμμένη κάτω από τη μέση στάθμη της θάλασσας, ενώ όλες οι καλωδιώσεις είναι τοποθετημένες κατά μήκος του βυθού.

Τα παλιρροιακά ρεύματα θεωρούνται ιδιαίτερα αποδοτική πηγή ενέργειας. Την τελευταία δεκαετία πολλοί ευρωπαϊκοί οργανισμοί και τεχνικές εταιρείες έχουν εστιάσει τις δραστηριότητές τους σε αυτόν τον τομέα. Οι τεχνολογίες είναι παρόμοιες με αυτές που εφαρμόζονται για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, χρησιμοποιούν δηλαδή στρόβιλους οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα, πλωτούς ή πακτωμένους στον θαλάσσιο πυθμένα. Λόγω της πολύ μεγαλύτερης πυκνότητας του ύδατος, το μέγεθος ενός στρόβιλου παλιρροιακού ρεύματος είναι πολύ μικρότερο, περίπου το ένα τέταρτο από αυτό μίας ανεμογεννήτριας της ίδιας ηλεκτρικής ισχύος. Επιπλέον, η οπτική και ακουστική όχληση από στρόβιλους παλιρροιακών ρευμάτων είναι μηδαμινή.

Οι παλιρροιακοί στρόβιλοι λειτουργούν καλά όπου τα ρεύματα τρέχουν με μια μέση ταχύτητα των 2 με 2,5 m/s. Ρεύματα με μεγαλύτερη ή μικρότερη ταχύτητα αποτελούν εμπόδιο στην ορθή λειτουργία του εξοπλισμού, καθότι στη μεν πρώτη περίπτωση οι στρόβιλοι υπολειτουργούν ενώ στη δεύτερη περίπτωση ασκείται πίεση στον εξοπλισμό που είναι απαγορευτική για τη λειτουργία του. Αντιθέτως, τα ρεύματα μέσης ταχύτητας παρέχουν μια ενεργειακή πυκνότητα τέσσερις φορές μεγαλύτερη από τον αέρα, με άλλα λόγια ένας στρόβιλος διαμέτρου 15m θα παραγάγει τόση ενέργεια όσο ένας ανεμόμυλος διαμέτρου 60m. Οι παλιρροιακοί στρόβιλοι μπορεί να είναι οριζοντίου (Εικ. 4.44) ή καθέτου (Εικ. 4.45) άξονα.



	
<p><b>Εικόνα 4.44:</b> Υδροστρόβιλος οριζόντιου άξονα (Πηγή: <a href="http://mhk.pnnl.gov">http://mhk.pnnl.gov</a>, 2012).</p>	<p><b>Εικόνα 4.45:</b> Υδροστρόβιλος κάθετου άξονα: υδροτουρμπίνα τύπου Davis (Πηγή: <a href="http://www.pesn.com">www.pesn.com</a>, 2012).</p>

Αν και η συστηματική έρευνα στον τομέα αυτό ξεκίνησε την τελευταία δεκαετία, ήδη στην Ευρώπη έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν με επιτυχία αρκετοί πιλοτικοί σταθμοί. Κατά γενική παραδοχή, η ιδανική περιοχή για την τοποθέτηση παλιρροιακών στροβίλων είναι κοντά στην ακτή, περίπου 1km στην ανοικτή θάλασσα και σε βάθη ύδατος περίπου 20 – 30m. Για το κοντινό μέλλον προγραμματίζονται μεγάλες εγκαταστάσεις ισχύος αρκετών MW. Ο πιο πρόσφατος εγκατεστημένος σταθμός είναι το SeaGen Tidal System στο Strangford Lough της Β. Ιρλανδίας, 400 μέτρα από την ακτή. Είναι το μεγαλύτερο στον κόσμο σύστημα παραγωγής ενέργειας από παλιρροιακά ρεύματα (στο είδος του), με δυναμικότητα 1,2MW.

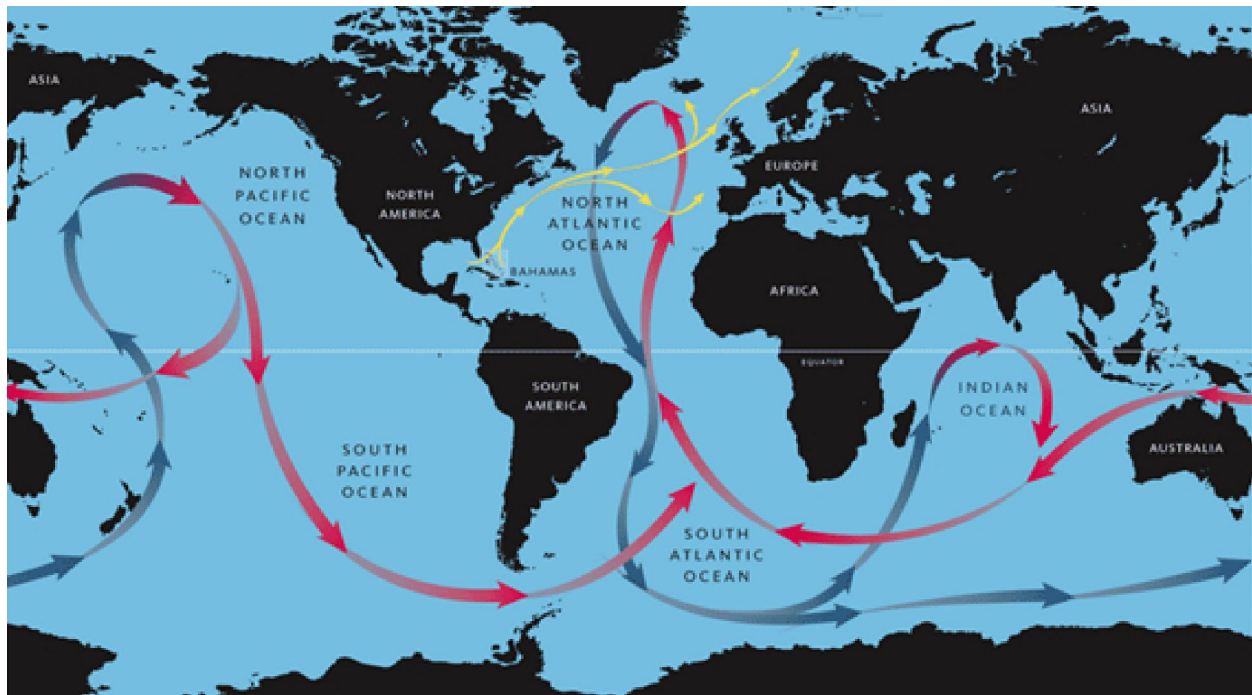
Στην Ευρώπη, αξιοποιήσιμα παλιρροιακά ρεύματα εντοπίζονται στα στενά της Μάγχης και στη νότια Ιρλανδία. Επίσης σημαντικά ρεύματα απαντώνται στην περιοχή της Μεσσίνας στην Ιταλία, καθώς και στο Αιγαίο Πέλαγος, με γνωστότερο το ρεύμα του Ευρίπου. Αξίζει να σημειωθεί πως η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει προσδιορίσει ήδη 106 περιοχές που θα ήταν κατάλληλες για την εγκατάσταση και

λειτουργία παλιρροιακών στροβίλων, ενώ οι 42 από αυτές τις περιοχές βρίσκονται γύρω από το Ηνωμένο Βασίλειο.

Τη λογική της εκμετάλλευσης της ενέργειας των παλιρροιακών ρευμάτων ακολουθεί και η ιδέα της εκμετάλλευσης όλων των θαλάσσιων ρευμάτων. Η επιφάνεια των ωκεανών βρίσκεται διαρκώς υπό την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών: της τριβής που ασκεί ο άνεμος στην επιφάνεια και παρασέρνει τις θαλάσσιες μάζες και της ηλιακής ενέργειας, της εξάτμισης και των κατακρημνισμάτων που μεταβάλλουν τοπικά την πυκνότητα του θαλασσινού νερού. Η συσσώρευση θαλασσίων μαζών σε μια περιοχή (π.χ. παρασυρόμενες από τον άνεμο) και η διαφοροποίηση της πυκνότητας οδηγούν σε οριζόντιες διαφορές πίεσης στο εσωτερικό, με αποτέλεσμα τη ροή μαζών για την αποκατάσταση της ισορροπίας.

Οι κινήσεις θα ήτα απλές αν η γη ήταν ακίνητη. Η περιστροφή της γης προσθέτει την παράμετρο Coriolis ( $2\Omega V \sin\phi$ ) η οποία τροποποιεί την κίνηση ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος,  $\phi$ , και την ταχύτητα,  $V$ , του ρεύματος ( $\Omega$ : η γωνιακή ταχύτητα της γης, σταθερή). Η πορεία των ρευμάτων εκτρέπεται προς τα δεξιά στο βόρειο ημισφαίριο και προς τα αριστερά στο νότιο. Ο Ισημερινός αποτελεί ένα όριο στο οποίο μηδενίζεται η δύναμη Coriolis και όλο το σύστημα της ωκεάνιας κυκλοφορίας αναπτύσσεται σχεδόν συμμετρικά εκατέρωθεν του νοητού αυτού ορίου, παρά του ότι οι ωκεάνιες λεκάνες δεν παρουσιάζουν κανένα φυσικό όριο στην περιοχή αυτή (**Εικ. 4.46**).

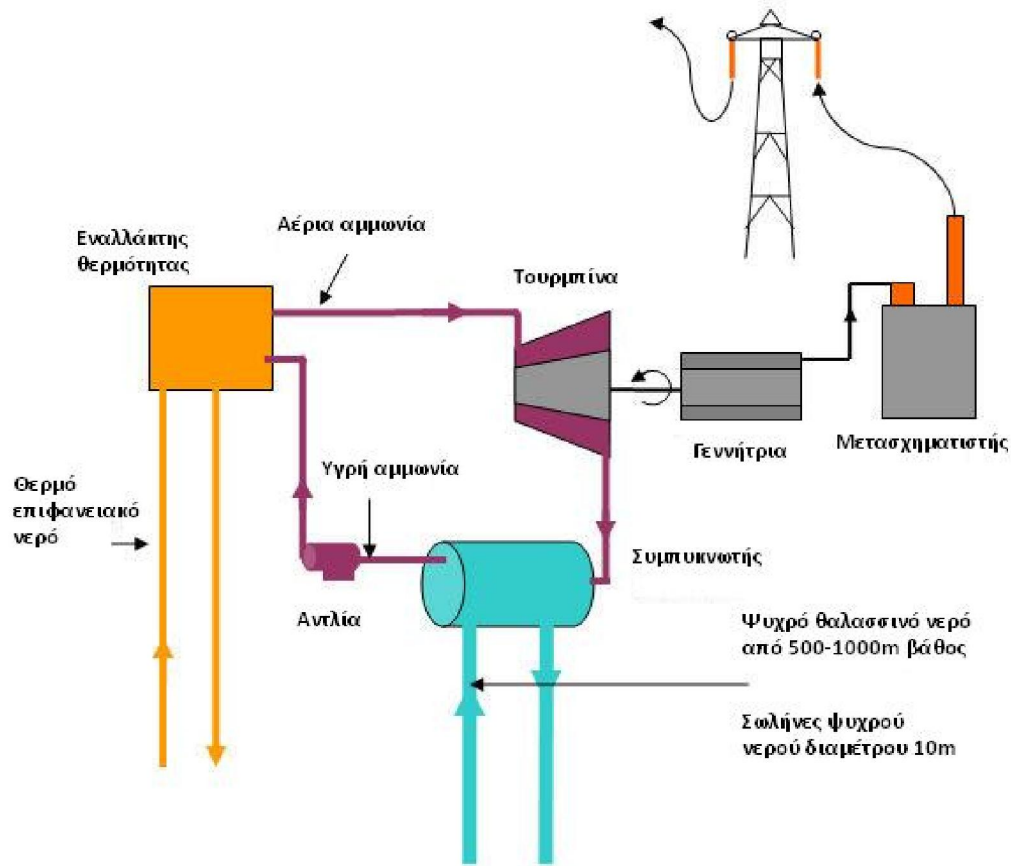
Η πρόκληση της εφαρμογής υδροστροβίλων σε αυτή την περίπτωση είναι να βρεθεί κάποιος τρόπος για να παραμένουν σταθερά στη θέση τους, π.χ. με στερέωσή τους στο βυθό, και να μην παρασύρονται από τα ωκεάνια ρεύματα. Πηγαίνοντας ένα βήμα πιο πέρα, θα μπορούσαν να δημιουργηθούν ολόκληρα υποθαλάσσια πάρκα του είδους με δεκάδες στροβίλους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.



Εικόνα 4.46: Η κίνηση των θαλάσσιων ρευμάτων του πλανήτη μας (Πηγή: <http://old.tehrantimes.com>, 2012).

#### 4.6.3 Θερμική Ενέργεια Ωκεανών

Η Μετατροπή της Ωκεάνιας Θερμικής Ενέργειας (Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC) είναι μία μέθοδος παραγωγής ηλεκτρισμού που βασίζεται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειακών και των βαθύτερων υδάτινων στρωμάτων της θάλασσας. Για να είναι οικονομικά συμφέρουσα η τεχνολογία αυτή, η διαφορά θερμοκρασίας πρέπει να είναι  $20^{\circ}\text{C}$ , ενώ τα ψυχρά νερά των βαθύτερων στρωμάτων δεν πρέπει να είναι περισσότερο από 1000 μέτρα κάτω από την επιφάνεια. Οι μεγαλύτερες θερμοκρασιακές διαφορές, συνεπώς και οι μεγαλύτεροι πόροι της Ωκεάνιας Θερμικής Ενέργειας, απαντώνται κυρίως κοντά στον ισημερινό όπου τα αποτελέσματα της θέρμανσης της επιφάνειας του ωκεανού από την ηλιακή ακτινοβολία είναι μεγαλύτερα. Η θερμοκρασιακή αυτή διαφορά, στα μέρη όπου υπάρχει, μπορεί να κινήσει μια θερμική μηχανή. Το θερμό νερό χρησιμοποιείται για τη θέρμανση και εξαέρωση ενός υγρού με χαμηλό σημείο βρασμού, όπως η αμμωνία ή ένα μίγμα αμμωνίας και νερού. Καθώς διαστέλλεται ο ατμός του εργαζόμενου ρευστού, περιστρέφει ένα στρόβιλο. Στη συνέχεια, ψυχρό νερό που αντλείται από τα βαθύτερα υδάτινα στρώματα χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση του ατμού του εργαζόμενου ρευστού και την επαναφορά του σε υγρή μορφή (Εικ. 4.47).



**Εικόνα 4.47:** Διάγραμμα εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση αμμωνίας (ή άλλου υγρού με χαμηλό σημείο βρασμού) και των θερμών επιφανειακών και ψυχρών βαθέων υδάτων (Πηγή: [www.climateandfuel.com](http://www.climateandfuel.com), 2012).

Ωστόσο, η συγκεκριμένη τεχνολογία δεν έχει τύχει ευρείας απήχησης λόγω τεχνικών δυσχερειών στην εφαρμογή της. Για παράδειγμα, μια εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρισμού 100MW θα απαιτούσε έναν κεντρικό σωλήνα με διάμετρο μεγαλύτερη από 10m και μήκους σχεδόν 1km. Ο αγωγός θα πρέπει να τοποθετηθεί κάθετα αλλά τότε θα έρθει αντιμέτωπος με την πίεση που θα του ασκούν τα ρεύματα και η κίνηση της εξέδρας στην επιφάνεια της θάλασσας με αποτέλεσμα να είναι πολύ δύσκολο να αγκιστρωθεί και να σταθεροποιηθεί σε μια θέση. Το πρόβλημα αντιμετώπισαν πριν από μερικά χρόνια στο Ινστιτούτο Ωκεάνιας Τεχνολογίας στην Ινδία (India's National Institute of Ocean Technology), όταν ένας αγωγός μήκους 800m που επιχειρήθηκε να τοποθετηθεί στον Κόλπο της Βεγγάλης χάθηκε στον πυθμένα σε βάθος 1.100m.

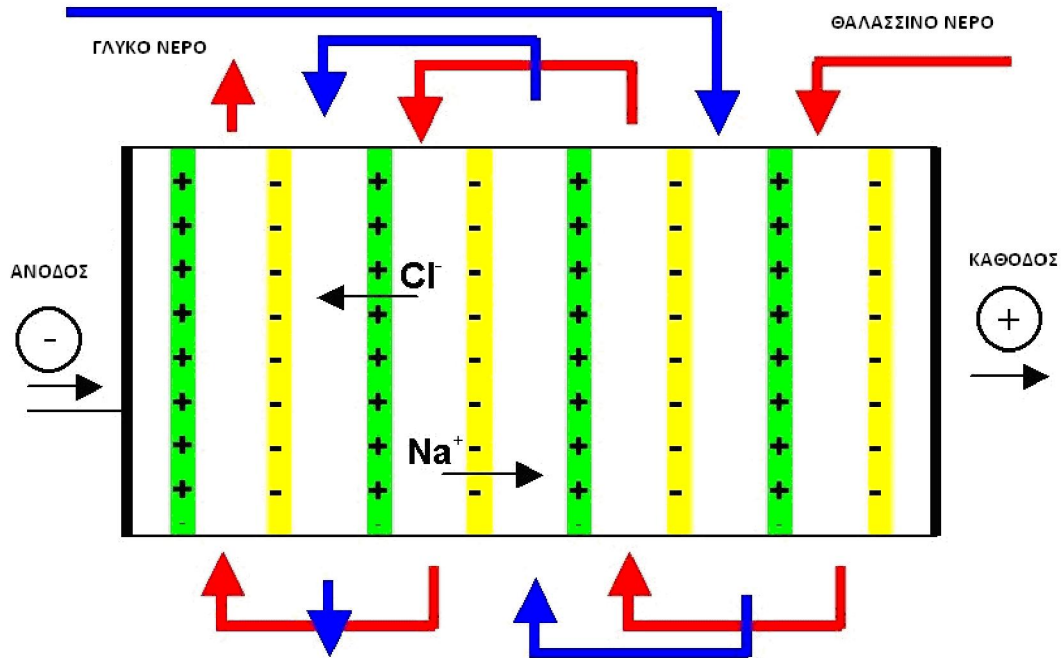
#### 4.6.4 Οσμωτική ενέργεια

Η αρχή που διέπει την παραγωγή ενέργειας από τη διαφορά αλατότητας (γνωστή και ως οσμωτική ενέργεια) βασίζεται στη διαφορά εντροπίας που υπάρχει μεταξύ του αλμυρού και του γλυκού νερού, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας. Αυτή η μορφή ενέργειας είναι αρκετά σύνθετη, αφού δεν γίνεται αντιληπτή κατά τον ίδιο τρόπο όπως οι άλλες ήπιες μορφές ενέργειας π.χ. η ηλιακή, η αιολική ή η κυματική. Ωστόσο, λαμβανομένου υπόψη ότι η αντίστροφη διεργασία, δηλαδή η αφαλάτωση του θαλάσσιου νερού, απαιτεί τεράστιες ποσότητες ενέργειας, η αρχή που διέπει την παραγωγή ενέργειας από τη διαφορά αλατότητας καθίσταται όντως περισσότερο εύλογη.

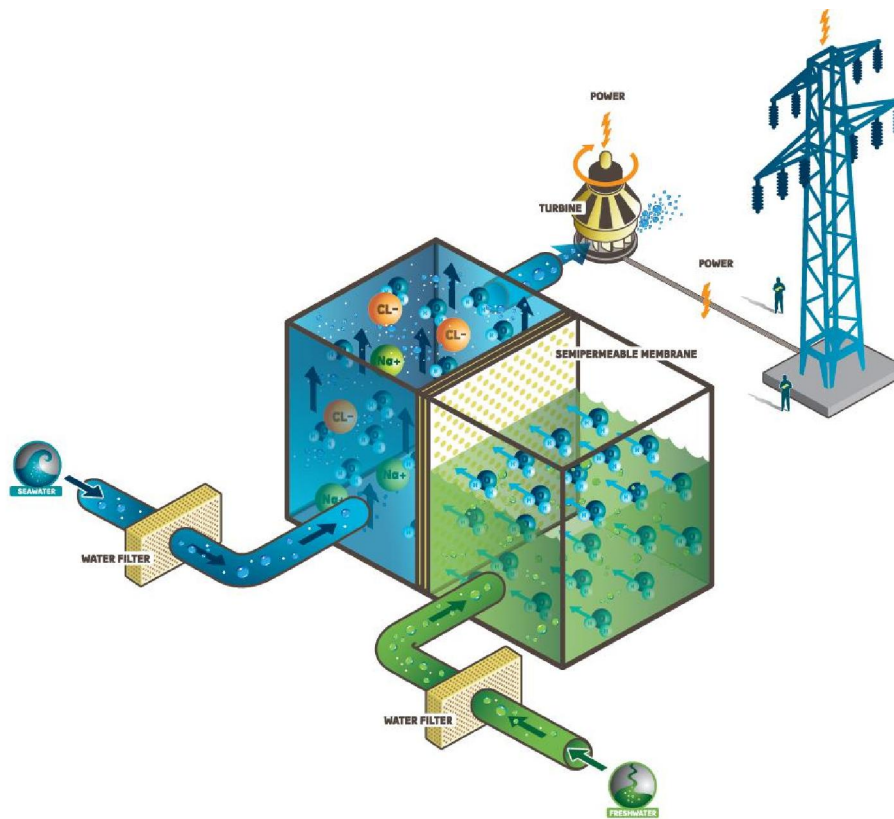
Δύο μέθοδοι είναι υπό ανάπτυξη: η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (Reversed Electrodialysis, RED) και η διεργασία της οσμωτικής ροής (Pressure – Retarded Osmosis, PRO). Και στις δύο διεργασίες χρησιμοποιούνται εναλλακτικοί θάλαμοι οι οποίοι διαχωρίζονται από ημιπερατές μεμβράνες.

Η μέθοδος της αντίστροφης ηλεκτροδιάλυσης βασίζεται στην ηλεκτροχημική αντίδραση (και όχι στην οσμωτική πίεση, όπως η μέθοδος που θα δούμε παρακάτω). Η συσκευή αποτελείται από συστοιχία μεμβρανών, οι μισές εκ των οποίων είναι διαπερατές από το  $\text{Na}^+$  και οι υπόλοιπες από το  $\text{Cl}^-$ , με το γλυκό και το θαλασσινό νερό να ρέουν εναλλάξ ανάμεσα από κάθε ζευγάρι μεμβρανών, όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί (**Εικ. 4.48**). Αυτό συνεπάγεται τη δημιουργία ενός ηλεκτρικού ρεύματος χαμηλής τάσης.

Η μέθοδος της οσμωτικής ροής (PRO) χρησιμοποιεί μια μεμβράνη η οποία επιτρέπει τη διαπερατότητα περισσότερο του νερού παρά του νατρίου. Με την άσκηση πίεσης, τα μόρια του νερού διέρχονται μέσα από τη μεμβράνη προς την πλευρά του αλμυρού νερού. Καθώς τα μόρια του νερού διέρχονται μέσα από τη μεμβράνη, αυξάνει η υδροστατική πίεση στην πλευρά του θαλάσσιου νερού, έως ένα μέγιστο όριο των 26bar. Αυτό το υπό πίεση νερό χρησιμοποιείται για την κίνηση ενός στροβίλου και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (**Εικ. 4.49**).



*Εικόνα 4.48: Διάγραμμα αρχής λειτουργίας RED. Γλυκό και θαλασσινό νερό διοδεύονται μέσα από ένα σύστημα ημιπερατών μεμβρανών από τις οποίες απορροφώνται. Η κίνησή τους συνεπάγεται ηλεκτρικό ρεύμα χαμηλής τάσης (Πηγή: <http://universeenergy.blogspot.gr>, 2012).*



*Εικόνα 4.49: Σχηματική αναπαράσταση διάταξης οσμωτικής ροής.*

*(Πηγή: <http://universeenergy.blogspot.gr>, 2012).*

Το αντιπροσωπευτικότερο παράδειγμα χρήσης της παραπάνω τεχνολογίας είναι, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, το εργοστάσιο της Νορβηγικής εταιρείας Statkraft το οποίο άνοιξε τις πύλες του το 2004 και αναμένεται μέχρι το 2015 να επιτύχει ισχύ 25MW λειτουργώντας αποκλειστικά βάσει της αρχής της οσμωτικής ροής.

## 5 Σύγκριση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας – Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι ΑΠΕ αποτελούν μορφές ενέργειας που εξ' ορισμού τους, πρακτικά, δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, κάτι που αποτελεί και το μεγαλύτερο συγκριτικό τους πλεονέκτημα έναντι των ορυκτών καυσίμων. Με τη σταδιακή διείσδυση στις ΑΠΕ, μειώνεται η εξάρτηση από τους συμβατικούς πόρους οι οποίοι με το πέρασμα του χρόνου εξαντλούνται και δεν αποκαθίστανται, τουλάχιστον σε ανθρώπινη χρονική κλίμακα.

Καλούνται και ήπιες μορφές ενέργειας καθώς, κατά κανόνα, είναι ιδιαίτερα φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο, παρουσιάζοντας ουσιαστικά μικρά έως μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα γι' αυτό και η αξιοποίησή τους είναι αποδεκτή από το ευρύ κοινό. Επιπλέον, είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.

Όσον αφορά τον εξοπλισμό τους, είναι κατά κανόνα απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και παρουσιάζει γενικά μεγάλο χρόνο ζωής. Έτσι, το λειτουργικό τους κόστος παραμένει συνήθως χαμηλό, και επιπλέον ανεπηρέαστο από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.

Είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής ενώ παράλληλα μειώνονται οι απώλειες μεταφοράς ενέργειας. Ωστόσο, το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι μερικές φορές δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος ώστε να μεταφερθεί ή και να αποθηκευθεί. Παρ' όλα αυτά, μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση υποβαθμισμένων, οικονομικά και κοινωνικά, περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση επενδύσεων που στηρίζονται στη συμβολή τους (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με γεωθερμική ενέργεια). Άλλωστε, οι επενδύσεις των ΑΠΕ είναι από μόνες τους εντάσεως εργασίας, δημιουργώντας πολλές θέσεις εργασίας ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο ενώ ταυτόχρονα αποτελούν ένα τομέα που επιδοτείται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.



Σε ατομικό επίπεδο, δίνουν τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μορφής ενέργειας που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χρήστη (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών έως αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή), επιτυγχάνοντας πιο ορθολογική χρησιμοποίηση των ενεργειακών πόρων.

Το ίδιο πλεονέκτημα παρουσιάζεται και σε εθνικό επίπεδο, με την κάθε χώρα να αξιοποιεί το φυσικό ενεργειακό πλούτο που διαθέτει, όπως για παράδειγμα η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας στις ηλιόλουστες μεσογειακές χώρες και η εκμετάλλευση του πλούσιου κυματικού δυναμικού στις βόρειες ευρωπαϊκές.

Ως εγχώριες πηγές ενέργειας, συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού. Για παράδειγμα, μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.

Πηγαίνοντας στον αντίποδα, θα πρέπει να αναφερθεί πως η τεχνολογία των ΑΠΕ είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο και ως εκ τούτου παρουσιάζονται προβληματισμοί όσον αφορά το κατά πόσο είναι σε θέση να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες της σύγχρονης κοινωνίας. Ένα βασικό σημείο σκέψης είναι ο ομολογουμένως μικρός συντελεστής απόδοσης που παρουσιάζουν στις περισσότερες περιπτώσεις, με εξαίρεση τα ΥΗΕ, της τάξης του 30% (ή και χαμηλότερο, π.χ. στα φωτοβολταϊκά). Γι' αυτό και μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται μόνο ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας και προς το παρόν δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξ' ολοκλήρου κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων. Η χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας που παρουσιάζουν έχει ως συνέπεια τις μεγάλες απαιτήσεις σε έκταση για την τοποθέτηση των εγκαταστάσεων, όταν πρόκειται για μεγάλη παραγωγή ισχύος. Βέβαια, όπως θα δούμε παρακάτω, αυτό είναι κάτι που δεν είναι απόλυτο καθώς η χρήση κάποιας έκτασης για την εγκατάσταση του εξοπλισμού δεν συνεπάγεται σε όλες τις περιπτώσεις δέσμευσή της αποκλειστικά για τη δεδομένη χρήση.

Εκ φύσεως, οι ΑΠΕ παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους, που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας, απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης. Η χαμηλή αυτή διαθεσιμότητά τους συνήθως οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους.

Κλείνοντας αυτή την πρώτη παρουσίαση της κατάστασης θα πρέπει να αναφερθεί ότι το σημαντικότερο μειονέκτημα των ΑΠΕ έναντι των συμβατικών μορφών ενέργειας, είναι ότι το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος παραμένει ακόμα υψηλό σε σχέση με τις σημερινές τιμές των ορυκτών καυσίμων. Αυτό σχετίζεται άμεσα με το ότι, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η τεχνολογία των ΑΠΕ δεν είναι ακόμα αρκετά «ώριμη» ώστε να ανταγωνιστεί τις συμβατικές πηγές, καθώς και με το ότι τα ορυκτά καύσιμα δεν έχουν ακόμα εξαντληθεί.

Ακολούθως θα εξεταστούν ποιοτικά οι διάφορες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας ως προς την αποτελεσματικότητα, τη βιωσιμότητα, το κόστος αλλά και τις επιπτώσεις τους.

## 5.1 Υδραυλική Ενέργεια

Οι εφαρμογές εκμετάλλευσης της υδραυλικής ενέργειας που λειτούργησαν στον ελλαδικό χώρο κατά το πρόσφατο παρελθόν (19<sup>ος</sup> – αρχές 20<sup>ού</sup> αι.) αλλά και που πολλές συνεχίζουν να υφίστανται ακόμα και σήμερα, όπως αναφέρθηκαν και στο Κεφ. 3, ήταν απόλυτα εναρμονισμένες με το φυσικό περιβάλλον. Πολυάριθμοι υδραυλικοί τροχοί, υδρόμυλοι, κλωστοϋφαντουργεία, δριστελλές, μπατάνια, σουσαμόμυλοι, πριονιστήρια και όλοι οι λοιποί μηχανισμοί υδροκίνησης, αποτέλεσαν εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας που αξιοποίησαν τη δύναμη του νερού συμβάλλοντας σημαντικά στην πρόοδο της τοπικής οικονομίας πολλών περιοχών, με απόλυτα φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο. Η μεγάλη διαμάχη όσον αφορά τις επιπτώσεις της τεχνολογίας υδραυλικής ενέργειας αφορά τις σύγχρονες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις.

Τα υδροηλεκτρικά έργα έχουν κατηγορηθεί σε πληθώρα περιπτώσεων, ιδιαίτερα από περιβαλλοντολογικές οργανώσεις, για τις επιπτώσεις τους στο φυσικό περιβάλλον αλλά και ορισμένες φορές, για την επικινδυνότητα που παρουσιάζουν όσον αφορά τους κατάντη πληθυσμούς, κυρίως στην περίπτωση που το έργο περιλαμβάνει φράγμα και ταμιευτήρα (μεγάλα ΥΗΕ).

Η έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση έχει δύο βασικούς άξονες. Ο πρώτος αφορά στην προς κατάκλυση περιοχή: μια μεγάλη έκταση υφίσταται ριζική αλλαγή χρήσης γης με συνακόλουθες επιπτώσεις στην τοπική χλωρίδα και πανίδα αλλά και στο τοπικό

κλίμα. Πριν την κατασκευή απαιτείται αποψίλωση της περιοχής διαμόρφωσης του ταμιευτήρα. Στο στάδιο της κατασκευής εκπέμπεται διοξείδιο του άνθρακα από το μηχανολογικό εξοπλισμό για ένα παρατεταμένο διάστημα (5 – 10 χρόνια), ενώ στο στάδιο της κατάκλυσης και μετέπειτα διαπιστώνονται εκπομπές μεθανίου λόγω της αναερόβιας διαδικασίας σήψης του οργανικού υλικού που καλύπτεται από το νερό. Το ίδιο το σώμα του φράγματος αποτελεί ένα τεχνητό εμπόδιο στην ελεύθερη κίνηση της ιχθυοπανίδας, κάτι που μπορεί να επιλυθεί, αλλά μόνο στα μικρού ύψους φράγματα με ειδική κατασκευή που ονομάζεται ιχθυόδρομος. Ο δεύτερος άξονας έχει να κάνει με την αλλαγή (έως και μηδενισμό) της παροχής νερού στη φυσική κοίτη του ποταμού. Είναι απαραίτητο να εξασφαλίζεται η ελάχιστη απαραίτητη παροχή προς τα κατάντη, που ονομάζουμε **οικολογική παροχή**, αν και ακόμα και τότε μιλάμε για ξαφνική διαφοροποίηση της ποσότητας του ρέοντος νερού. Πιο μακροπρόθεσμα, η διακοπή της ροής των φερτών υλικών από την υδρολήψια – φράγμα δημιουργεί μεταβολή στην κοίτη και την εκβολή του ποταμού, ενδεχομένως δε και ανύψωση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Ταυτόχρονα, επιβάλλεται μια αναγκαστική αλλαγή στις χρήσεις νερού κατάντη του υδροληπτικού έργου (**Μαμάσης Ν., Στεφανάκος Ι., 2012**).

Επιπλέον, όπως κάθε έργο μεγάλης κλίμακας, απαιτεί την ενδεχόμενη μετακίνηση πληθυσμών. Μάλιστα, λόγω της φύσης του έργου, αυξάνεται ο δείκτης σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής. Οι εργασίες κατά την κατασκευή δημιουργούν μια αισθητή οπτική όχληση, ενδεχόμενες κατολισθήσεις σε ασταθή εδάφη, ενώ πολλές φορές γίνεται αλόγιστη απόθεση των προϊόντων εκσκαφής σε παραπλήσια ρέματα ή χαράδρες. Η ίδια η φάση της κατασκευής ενός υδροηλεκτρικού είναι αρκετά μεγάλη, από 1 – 2 χρόνια για τα ΜΥΗΕ έως 5 – 10 χρόνια για τα μεγάλα, ενώ επίσης μεγάλη είναι η διάρκεια των μελετών και συλλογής και επεξεργασίας υδρολογικών, γεωλογικών και λοιπών στοιχείων, τα οποία επιβάλλεται να είναι τόσο πιο πλήρη και αξιόπιστα όσο μεγαλύτερο είναι το έργο (**Μαμάσης Ν., Στεφανάκος Ι., 2012**).

Ένα υδροηλεκτρικό έργο βασίζει την παραγωγή ενέργειάς του στην ποσότητα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων) και γι' αυτό η ετήσια παραγωγή υφίσταται διακυμάνσεις. Για τον ίδιο λόγο, δηλαδή την αναγκαιότητα υδατοπτώσεων, συνήθως επιβάλλεται η χωροθέτησή τους μακριά από την περιοχή κατανάλωσης της παραγόμενης ενέργειας, με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται σημαντικά το κόστος κατασκευής τους από το κόστος των έργων

μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Το ίδιο το κόστος της κατασκευής και του εξοπλισμού των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, όντας αρκετά υψηλό (όπως άλλωστε σε όλα τα μεγάλα έργα) απαιτεί την εκ των προτέρων διάθεση μεγάλων κεφαλαίων της τάξης των 2.000 – 4.000 €/kW, κάτι που αποθαρρύνει την επένδυση εκ μέρους του ιδιωτικού τομέα. Αξίζει, στο σημείο αυτό, να αναφερθεί ότι στην Ελλάδα ο μόνος φορέας κατασκευής μεγάλων ΥΗΕ είναι η ΔΕΗ.

Ένας Υδροηλεκτρικός Σταθμός ωστόσο, παρουσιάζει και ποικίλα περιβαλλοντικά οφέλη. Ακόμα και το μειονέκτημα που αναφέρθηκε νωρίτερα, των περιβαλλοντικών επιπτώσεων εξ' αιτίας των μεγάλης κλίμακας έργων πολιτικού μηχανικού, τα οποία ένα μεγάλο υδροηλεκτρικό έργο προϋποθέτει, με μια καλοσχεδιασμένη μελέτη, μπορεί να μετατραπεί σε πλεονέκτημα. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της λίμνης Πλαστήρα, κατά την οποία ο κατακλυσμός της περιοχής από ύδατα μετά τη δημιουργία του φράγματος, δημιούργησε ένα νέο υγροβιότοπο, ο οποίος σύντομα μετατράπηκε σε πόλο τουριστικής έλξης δίνοντας ταυτόχρονα νέες αρδευτικές δυνατότητες στη γύρω περιοχή. Παράλληλα, η λειτουργία τους είναι απόλυτα φιλική προς το περιβάλλον καθώς δεν παρουσιάζει εκπομπές ρύπων.

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφ. 2, η πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής των ΥΗΕ (της τάξεως των 50 – 100 ετών για τα μεγάλα και 20 – 30 για τα μικρά, ή ακόμα και μεγαλύτερη με ανανέωση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού) σε συνδυασμό με τους ιδιαίτερα υψηλούς βαθμούς απόδοσης των υδροστροβίλων (που μπορεί να ξεπεράσουν και το 90%) είναι από τα κρίσιμα στοιχεία που μαρτυρούν την τεχνολογική ωριμότητα αυτών των έργων.

Η τεχνολογία των υδροστροβίλων είναι στιβαρή και αξιόπιστη. Οι μηχανές απαιτούν μικρή συντήρηση και επίβλεψη (ο προληπτικός έλεγχος γίνεται μετά από 5.000 ώρες λειτουργίας περίπου) και για τον λόγο αυτό το προσωπικό των ΥΗΕ είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με την εγκατεστημένη ισχύ (περίπου 25 άτομα για ΥΗΕ συνολικής ισχύος 300 MW ή ακόμα και μόνο ένας τεχνίτης για την επίβλεψη ενός μικρού ΥΗΕ). Ακόλουθα, το κόστος της παραγόμενης ενέργειας δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις και αντιστοιχεί ουσιαστικά στις αποσβέσεις του έργου.

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί δύνανται να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις απαιτηθεί, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς (γαιανθράκων, πετρελαίου) που

απαιτούν σημαντικό χρόνο προετοιμασίας. Αυτό επιτρέπει, αφενός την κάλυψη των αιχμών της ενεργειακής ζήτησης από μια «καθαρή» και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα γνωστά συνακόλουθα οφέλη (εξοικονόμηση συναλλάγματος, φυσικών πόρων, προστασία περιβάλλοντος) και μηδενική υποβάθμιση του ίδιου του φυσικού μέσου, και αφετέρου, λόγω της δυνατότητας γρήγορης ανάληψης (και απόρριψης) φορτίου, την προστασία των κατάντη περιοχών από καταστροφικά πλημμυρικά γεγονότα. Η δυνατότητα κάλυψης των αιχμών ισχύος του δικτύου είναι πολύ σημαντική από τεχνικής και οικονομικής άποψης επειδή η αξία της kWh αιχμής είναι πολλαπλάσια της αξίας της kWh βάσεως. Σ' αυτό ακριβώς το πλεονέκτημα των ΥΗΕ βασίζεται η κατασκευή αναστρέψιμων μονάδων οι οποίες κατά την διάρκεια της χαμηλής ζήτησης (νύχτα) λειτουργούν αντλώντας νερό από τον κάτω ταμιευτήρα προς τον άνω δηλ. αποταμιεύοντας ενέργεια την οποία είναι έτοιμα να αποδώσουν κατά τις ώρες αιχμής. Το χαρακτηριστικό αυτό έχουν μόνο τα μεγάλης ισχύος ΥΗΕ.

Μέσω των υδατοταμιευτήρων δίνεται λοιπόν η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων, περιοχών αναψυχής και αθλητισμού, ενώ παράλληλα αποτελούν έργα υποδομής που συμβάλλουν στην ανάπτυξη της χώρας, δημιουργώντας – ανάμεσα σε άλλα – και νέες θέσεις απασχόλησης.

Συνοψίζοντας, οι ταμιευτήρες που δημιουργούνται είναι πολλαπλού σκοπού και εξυπηρετούν (Μαμάσης Ν., Στεφανάκος Ι., 2012):

- ✓ Την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς περιβαλλοντική επιβάρυνση
- ✓ Την κάλυψη αιχμών της ενεργειακής ζήτησης
- ✓ Την «αποθήκευση» ενέργειας που διαφορετικά θα έμενε ανεκμετάλλευτη
- ✓ Την ύδρευση πόλεων
- ✓ Την άρδευση γεωργικών εκτάσεων
- ✓ Την αντιπλημμυρική προστασία των κατάντη περιοχών
- ✓ Τη δημιουργία υποδομών (δρόμοι, γέφυρες, κ.λπ.)
- ✓ Την αναβάθμιση, τελικά, του φυσικού τοπίου με τη δημιουργία υγροβιότοπου

- ✓ Τη δυνατότητα δραστηριοτήτων (όπως αλιεία, αναψυχή, περιβαλλοντική εκπαίδευση, εναλλακτικός τουρισμός)
- ✓ Τη χρήση του νερού για ψύξη θερμοηλεκτρικών μονάδων
- ✓ Τη χρήση του νερού για άλλες βιομηχανικές χρήσεις

Η διεθνής πρακτική προσανατολίζεται πλέον στην κατασκευή μικρών φραγμάτων. Η αξιοποίηση του μικρού υδροδυναμικού των χιλιάδων μικρών ή μεγαλύτερων υδατορρευμάτων και πηγών της ορεινής Ελλάδος περνά από την υλοποίηση αποκεντρωμένων, αναπτυξιακών μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών πολλαπλής σκοπιμότητας.

Τα ΜΥΗΕ παρουσιάζουν παρόμοια πλεονεκτήματα με τα μεγάλα, όπως η δυνατότητα άμεσης σύνδεσης – απόζευξης στο δίκτυο, ή η αυτόνομη λειτουργία τους, η αξιοπιστία τους, η παραγωγή ενέργειας αρίστης ποιότητας χωρίς διακυμάνσεις, η άριστη διαχρονική συμπεριφορά τους, η μεγάλη διάρκεια ζωής, ο προβλέψιμος χρόνος απόσβεσης των αναγκαίων επενδύσεων που οφείλεται στο πολύ χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας και στην ανυπαρξία κόστους πρώτης ύλης, η φιλικότητα προς το περιβάλλον με τις μηδενικές εκπομπές ρύπων και τις περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η ταυτόχρονη ικανοποίηση και άλλων αναγκών χρήσης νερού (ύδρευσης, άρδευσης, κλπ.), η δυνατότητα παρεμβολής τους σε υπάρχουσες υδραυλικές εγκαταστάσεις, κ.α.

Εξ' ορισμού, ένας μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός αποτελεί ένα έργο απόλυτα συμβατό με το περιβάλλον, που μπορεί να συμβάλει ακόμη και στη δημιουργία νέων υδροβιοτόπων μικρής κλίμακας στα ανάντη των μικρών ταμιευτήρων. Το σύνολο των επί μέρους συνιστωσών του έργου μπορεί να ενταχθεί αισθητικά και λειτουργικά στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας τα τοπικά υλικά με παραδοσιακό τρόπο και αναβαθμίζοντας το γύρω χώρο.

## 5.2 Αιολική Ενέργεια

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια θεαματική άνοδος της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος από ανεμογεννήτριες στη χώρα μας (Κρήτη, Εύβοια, νησιωτική χώρα). Ο μεγάλος ρυθμός ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας συνοδεύτηκε, όπως ήταν

επόμενο, από την ανησυχία των τοπικών κοινωνιών σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις των ανεμογεννητριών στο περιβάλλον. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι φόβοι που εκφράστηκαν ακούγονται μάλλον υπερβολικοί και, κάποιες φορές, εξωπραγματικοί. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις, οι ενστάσεις που υπάρχουν στην εγκατάσταση ανεμογεννητριών ή αιολικών πάρκων έχουν κάποια βάση και χρειάζονται επιπλέον διερεύνηση. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, η αποδοχή ή μη της αιολικής ενέργειας από τις τοπικές κοινωνίες προϋποθέτει την αντικειμενική τους πληροφόρηση για τα οφέλη και τις επιπτώσεις που αυτή θα μπορούσε να έχει ως μία ακόμη επέμβαση του ανθρώπου στη φύση.

Όπως ισχύει για όλες τις ΑΠΕ, η αιολική ενέργεια είναι μια καθαρή και ήπια προς το περιβάλλον μορφή ενέργειας. Η εκμετάλλευσή της με τη χρήση αιολικών πάρκων δεν επιβαρύνει με ρύπους τα οικοσυστήματα των περιοχών εγκατάστασης. Οι απαιτήσεις γης για την κατασκευή των αιολικών πάρκων μπορεί να είναι μεγάλες, ωστόσο κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους δεν καταλαμβάνουν παρά ελάχιστο χώρο. Έτσι η γη παραμένει διαθέσιμη για άλλες χρήσεις, ενώ ελεύθερα γίνεται και η διέλευση της πανίδας. Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών όπως προαναφέρθηκε χαρακτηριστικά στο Κεφ. 2, περνάει πλέον την πρώτη περίοδο «ωριμότητας» που την καθιστά οικονομικά ανταγωνίσιμη όσον αφορά την αρχική επένδυση και το λειτουργικό κόστος. Παράλληλα, η συναρμολόγηση και εγκατάστασή τους είναι γρήγορη και τυποποιημένη.

Η τοποθέτησή τους σε πιο απομακρυσμένες περιοχές με πλούσιο αιολικό δυναμικό (όπως π.χ. τα νησιά του Αιγαίου) βοηθά στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος μειώνοντας τις απώλειες κατά τη μεταφορά της ενέργειας από το κεντρικό δίκτυο διανομής και αυξάνοντας την ανεξαρτησία των περιοχών από αυτό. Ειδικά στη χώρα μας, η σημαντική διασπορά και ανομοιομορφία του κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας στα διάφορα μέρη, έχει ως αποτέλεσμα ότι ακόμα και σε περίπτωση που η μέση τιμή διάθεσης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ελαφρώς κατώτερη του οριακού κόστους της παραγόμενης αιολικής kWh, σε αρκετές νησιωτικές περιοχές, το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολλαπλάσιο, ενίοτε και υπερδεκαπλάσιο, του οριακού κόστους παραγωγής της Δ.Ε.Η. Ακόμα όμως κι αν το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού από αιολικά είναι περίπου διπλάσιο από το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται από λιγνίτη, οι

περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι ασύγκριτα μικρότερες από την παραγωγή ηλεκτρισμού από καύσιμα.

Τα αιολικά συμβάλλουν ακόμα στην ενεργειακή ανεξαρτησία της χώρας από τα εισαγόμενα καύσιμα, τα οποία οδηγούν αφ' ενός σε συναλλαγματική αιμορραγία της, αφετέρου σε εξάρτησή της από χώρες εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης. Παρέχουν τη δυνατότητα τόνωσης της ελληνικής κατασκευαστικής δραστηριότητας με προϊόντα υψηλής Εγχώριας Προστιθέμενης Αξίας (Ε.Π.Α.) και συγκριτικά χαμηλού επενδυτικού κόστους, όπως θα μπορούσε να αποτελέσει η απόφαση συμπαραγωγής ανεμογεννητριών στην χώρα μας. Η εκτιμώμενη Ε.Π.Α. μπορεί να φθάσει και να υπερβεί με τη σταδιακή απόκτηση εμπειρίας και στο 90% του συνολικού κόστους μιας ανεμογεννήτριας, ενισχύοντας ταυτόχρονα την εθνική οικονομία. Παράλληλα, συνεισφέρουν στη μείωση της ανεργίας με τη δημιουργία νέων θέσεων απασχόλησης στην περιφέρεια.

Για την Ελλάδα ισχύουν ειδικά και τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- ✓ Πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό. Ενδεικτικά, στα νησιά του Αιγαίου, εμφανίζονται άνεμοι σημαντικής ταχύτητας και διάρκειας σχεδόν ολόκληρου του έτους.
- ✓ Απεριόριστες δυνατότητες σύστασης αιολικών εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας σε μια αγορά με σημαντικό αριθμό αναξιοποίητων θέσεων εγκατάστασης.
- ✓ Αξιόλογη εγχώρια ήλεκτρο – μηχανολογική εμπειρία, καθώς και σημαντικό επιστημονικό – ερευνητικό ενδιαφέρον και δραστηριότητα στη γνωστική περιοχή της αιολικής ενέργειας.

Οι πολέμοι της αιολικής τεχνολογίας αναφέρουν μια σειρά από ζητήματα που οφείλουν να ληφθούν υπόψη.

Όπως αναλύθηκε και στο Κεφ. 4, οι ανεμογεννήτριες αποτελούνται από απλά μηχανικά, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά υποσυστήματα, που το σύνολό τους απαρτίζουν στην ουσία ένα μικρό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με «καύσιμη» όμως ύλη τον άνεμο.



Ένα πρώτο, λοιπόν, θέμα είναι ο **θόρυβος** που εκπέμπεται από τις ανεμογεννήτριες. Ανάλογα με την προέλευσή του μπορεί να υπαχθεί σε δύο κατηγορίες:

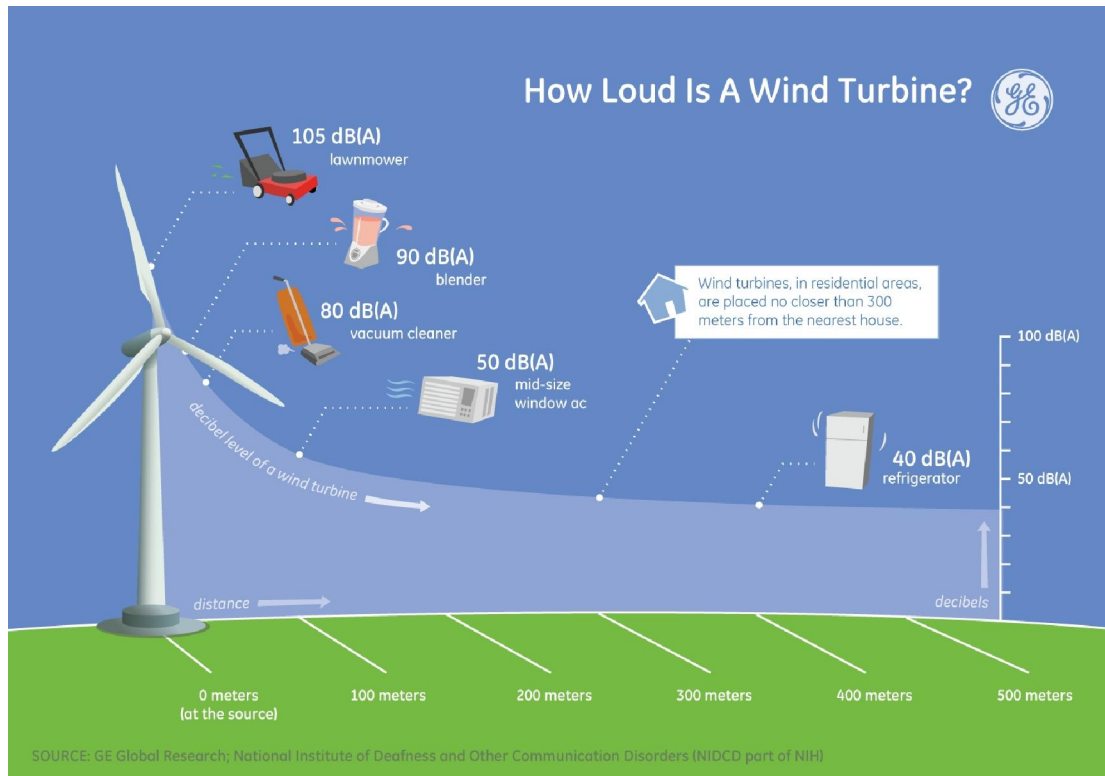
- Μηχανικός – προερχόμενος από τα περιστρεφόμενα μηχανικά τμήματα (κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρογεννήτρια, έδρανα κλπ)
- Αεροδυναμικός – από την περιστροφή των πτερυγίων

Από πλευράς περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης έχει επίσης διατυπωθεί ότι η ακουστική αυτή όχληση μπορεί να έχει επιζήμιες επιπτώσεις στην πανίδα, διαταράσσοντας την ισορροπία στο σύστημα θύτη – θηράματος και παρεμβαίνοντας στους ήχους επικοινωνίας που εκπέμπονται ιδίως κατά την αναπαραγωγή και τον προσανατολισμό.

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι μηχανές πολύ ήσυχες συγκριτικά με την ισχύ τους και με συνεχείς βελτιώσεις από τους κατασκευαστές γίνονται όλο και πιο αθόρυβες. Ο εκπεμπόμενος θόρυβος εκτιμάται σε περίπου 44dB σε απόσταση 200m για ταχύτητα ανέμου 8 m/s (σημειώνεται ότι το όριο της «θορυβώδους κατάστασης» είναι τα 75dB), αν και μπορεί να διαφέρει, εξαρτώμενος κυρίως από την ταχύτητα του ανέμου, τη διάμετρο των πτερυγίων και φυσικά, την απόσταση από την πηγή.

Οι μηχανικοί θόρυβοι ελαχιστοποιούνται με εξαρχής σχεδίαση (γρανάζια πλάγιας οδόντωσης), ή με εσωτερική ηχομονωτική επένδυση στο κέλυφος της κατασκευής. Επίσης, ο μηχανικός θόρυβος αντιμετωπίζεται στη διαδρομή του με ηχομονωτικά πετάσματα και αντικραδασμικά πέλματα στήριξης. Αντίστοιχα, ο αεροδυναμικός θόρυβος αντιμετωπίζεται με προσεκτική σχεδίαση των πτερυγίων από τους κατασκευαστές, που δίνουν άμεση προτεραιότητα στην ελάττωσή του (**Μπινόπουλος Ε., Χαβιαρόπουλος Π., 2012**).

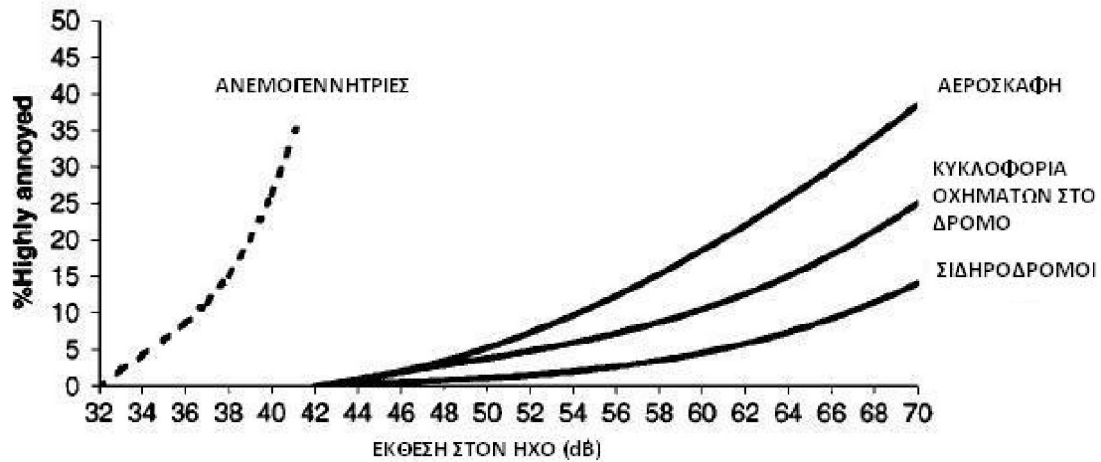
Στο σχήμα που ακολουθεί (**Εικ. 5.1**), δίνεται μια εικόνα της ακουστικής όχλησης μιας ανεμογεννήτριας συναρτήσει της απόστασης.



**Εικόνα 5.1:** Επίπεδο θορύβου ανεμογεννήτριας σε συνάρτηση με την απόσταση (Πηγή: [www.forthewind.wordpress.com](http://www.forthewind.wordpress.com), 2012).

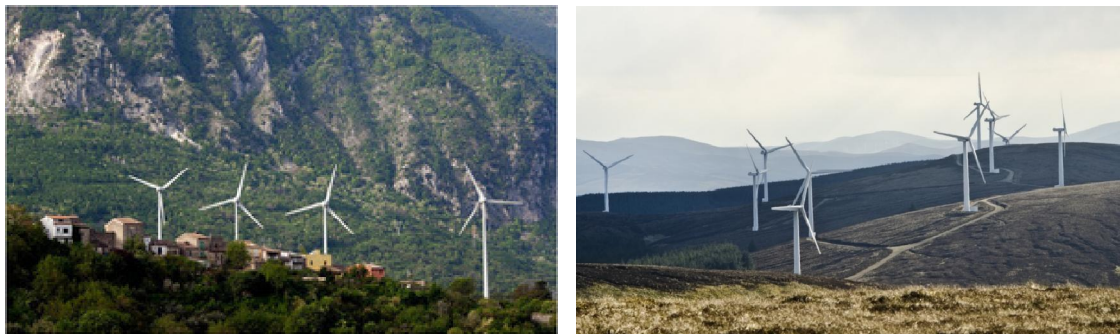
Το επίπεδο του αντιληπτού θορύβου από μία ανεμογεννήτρια σύγχρονων προδιαγραφών σε απόσταση 20m, είναι μικρότερο από αυτό που αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος μιας μικρής επαρχιακής πόλης και βεβαίως δεν αποτελεί πηγή ενόχλησης. Με δεδομένη δε, τη νομοθετημένη απαίτηση να εγκαθίστανται οι ανεμογεννήτριες σε ελάχιστη απόσταση 500m από τους οικισμούς, το επίπεδο είναι ακόμη χαμηλότερο και αντιστοιχεί πλέον σε αυτό ενός ήσυχου καθιστικού δωματίου. Επιπλέον, στις ταχύτητες ανέμου που λειτουργούν οι ανεμογεννήτριες ο φυσικός θόρυβος (θόρυβος ανέμου σε δένδρα και θάμνους) υπερκαλύπτει οποιονδήποτε θόρυβο που προέρχεται από τις ίδιες.

Ωστόσο, υπάρχουν και έρευνες που υποδεικνύουν ότι, παρά ταύτα, μέρος του πληθυσμού κείται αρνητικά ή είναι προκατειλημμένο σε ό,τι αφορά τον παραγόμενο από ανεμογεννήτριες θόρυβο, ακόμα κι αν δεν είναι τόσο έντονος όσο άλλες πηγές θορύβου, οι οποίες γίνονται ευκολότερα αποδεκτές. Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Εικ. 5.2), δίνονται τα αποτελέσματα μιας τέτοιας έρευνας για την όχληση που προκαλούν οι ανεμογεννήτριες λόγω θορύβου, σε σχέση με τα αεροσκάφη, την κίνηση των οχημάτων στο δρόμο και την κίνηση των τραίνων.



*Εικόνα 5.2: Ακουστική όχληση ανεμογεννητριών σε σχέση με άλλες πηγές θορύβου (Πηγή: [www.windvigilance.com](http://www.windvigilance.com), 2012)*

Η **οπτική όχληση** (Εικ. 5.3) είναι κάτι υποκειμενικό και δύσκολα μπορούν να τεθούν κοινά αποδεκτοί κανόνες. Ωστόσο, από έρευνες σε χώρες της Ε.Ε. προκύπτει ότι κάποιος που είναι ευνοϊκά διακείμενος απέναντι στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, αποδέχεται οπτικά τις ανεμογεννήτριες πολύ ευκολότερα από κάποιον που είναι εξαρχής αρνητικός.



*Εικόνα 5.3: Οπτική όχληση ανεμογεννητριών.*

Από τις ίδιες μελέτες, προκύπτει ότι τα αιολικά πάρκα είναι πιο αποδεκτά από αισθητικής άποψης σε ανθρώπους που είναι ενημερωμένοι για τα οφέλη που προέρχονται από την χρήση τους. Αν κάνουμε μια απλή σύγκριση μεταξύ ενός θερμικού σταθμού παραγωγής (π.χ. λιγνιτικού), και ενός αιολικού πάρκου είναι φανερό ότι η οπτική όχληση που προκύπτει από το πρώτο είναι εμφανώς και αντικειμενικά πολύ μεγαλύτερη. Σε κάθε περίπτωση, δεδομένου ότι οι ανεμογεννήτριες είναι ορατές από απόσταση, πρέπει να γίνεται προσπάθεια

ενσωμάτωσής τους στο τοπίο. Αυτό είναι κάτι που εφαρμόζει σε κάθε περίπτωση, είτε μιλάμε για χερσαία, είτε για επάκτια είτε για υπεράκτια αιολικά πάρκα.

Το ποσοστό των πουλιών που σκοτώνονται ετησίως από πρόσκρουση σε ανεμογεννήτριες είναι ασήμαντο σχετικά με το αυτό που οφείλεται σε πρόσκρουση με οχήματα και τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Από μελέτες που έχουν γίνει σε ευρωπαϊκές χώρες όπως η Γερμανία, η Ολλανδία, η Δανία και η Αγγλία, υπολογίσθηκε ότι στον

συνολικό αριθμό πουλιών που σκοτώνονται ετησίως, μόνον 20 θάνατοι οφείλονται σε ανεμογεννήτριες (για εγκατεστημένη ισχύ 1.000MW), ενώ αντίστοιχα 1.500 θάνατοι οφείλονται στους κυνηγούς και 2.000 σε πρόσκρουση με οχήματα



*Εικόνα 5.4: Σύγκρουση πουλιών με ανεμογεννήτρια  
(Πηγή: [www.windturbines.net](http://www.windturbines.net), 2012)*

και τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (καθότι είναι σχεδόν «αόρατες» για τα πουλιά) Πάντως θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη χωροθέτηση τυχόν προστατευόμενες περιοχές και να εξετάζεται η τοποθέτηση συστήματος υπερήχων για την απώθησή τους (Μπινόπουλος Ε., Χαβιαρόπουλος Π., 2012).

Όσον αφορά την εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τα μόνα τμήματα που εκπέμπουν Η/Μ ακτινοβολία, χαμηλού μάλιστα επιπέδου, είναι η ηλεκτρογεννήτρια και ο μετασχηματιστής. Όσον αφορά την ηλεκτρογεννήτρια, το Η/Μ της πεδίο είναι εξαιρετικά ασθενές και περιορίζεται σε μια πολύ μικρή απόσταση γύρω από το κέλυφός της που είναι τοποθετημένο τουλάχιστον 40 – 50m πάνω από το έδαφος. Για το λόγο αυτό δεν υφίσταται πραγματικό θέμα έκθεσης στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ούτε καν στη βάση της ανεμογεννήτριας. Ο μετασχηματιστής, πάλι, περιβάλλεται πάντα από περίφραξη ασφαλείας ή είναι κλεισμένος σε μεταλλικό υπόστεγο. Η περίφραξη είναι τοποθετημένη σε τέτοια απόσταση, όπου το επίπεδο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι αμελητέο. Μπορούμε λοιπόν να ισχυριστούμε με βεβαιότητα, ότι αυτά που ακούγονται για

εκπομπή ραδιενέργειας η ακτινοβολιών άλλου τύπου από τις ανεμογεννήτριες δεν ευσταθούν.

Τέλος, τα όποια προβλήματα **ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών** ενδέχεται να προκαλούν οι ανεμογεννήτριες λόγω των κινούμενων πτερυγίων τους έχουν πλέον επιλυθεί με τη διάδοση του ψηφιακού σήματος στον ελλαδικό χώρο.

### 5.3 Ηλιακή Ενέργεια

Για την αξιοποίηση μιας πηγής ενέργειας τόσο άφθονης όσο ο ήλιος έχουν γίνει σημαντικά βήματα στην εξέλιξη των τεχνολογιών. Προς το παρόν, η πιο συμφέρουσα εγκατάσταση εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας αφορά την κάλυψη των θερμικών αναγκών, όπως αναλύθηκε εκτενώς στο Κεφ. 4. Τα ενεργητικά (σε οικιακό επίπεδο) και παθητικά ηλιακά συστήματα που σκοπό έχουν τη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμική είναι ιδιαίτερος αποδοτικά, λαμβάνοντας βέβαια υπόψη μας ότι η θερμική ενέργεια είναι η «κατώτατη» μορφή διαθέσιμης ενέργειας. Τα πράγματα περιπλέκονται όταν αναφερόμαστε σε τεχνολογίες που στοχεύουν στην ηλεκτροπαραγωγή, είτε με χρήση της θερμικής ενέργειας των ηλιακών ακτίνων είτε με εφαρμογή του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Ωστόσο, η περιοδικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ένα θέμα το οποίο αναπόφευκτα, αναγκαστικά και εξ' ορισμού περιορίζει το χρόνο λειτουργίας των ηλιακών συστημάτων μόνο μέσα στη μέρα. Το αδιαφιλονίκητο συγκριτικό πλεονέκτημά τους όμως σε σχέση με τις υπόλοιπες ΑΠΕ είναι ότι η αιχμή της παραγόμενης ενέργειας συμπίπτει, ως επί το πλείστον, με την αιχμή της ζήτησης.

#### 5.3.1 Θερμικά Ηλιακά Συστήματα

Όπως είδαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η λειτουργία των συστημάτων αυτών συνοψίζεται στη χρήση τεχνολογιών εστίασης των ακτίνων ή της αρχής του φαινομένου του θερμοκηπίου για τη συγκέντρωση της θερμότητας που θα μεταφερθεί σε ρευστό με σκοπό την κίνηση κάποιας στροβιλομηχανής και θα οδηγήσει, τελικά, στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα είδη της αντιπροσωπευτικής τεχνολογίας περιλαμβάνουν τα ηλιακά πάρκα με πύργους εστίασης ακτινοβολίας, τα πάρκα με παραβολικούς συλλέκτες τύπου «σκάφης» και τους ηλιακούς πύργους ανοδικού

ρεύματος. Οι ηλιακοί φούρνοι αποτελούν τεχνολογία που δεν έχει ακόμα εφαρμοστεί για την ηλεκτροπαραγωγή (η πρώτη δοκιμή θα γίνει στο ηλιοθερμικό εργοστάσιο THEMIS, στα Γαλλικά Πυρηναία). Τα βασικά κοινά χαρακτηριστικά των έργων αυτών είναι ότι:

- πρόκειται για τεράστια έργα που απαιτούν υψηλότατα αρχικά κεφάλαια για την υλοποίησή τους
- τα μεγέθη της αναγκαίας έκτασης γης είναι τεράστια, γι' αυτό το λόγο μάλιστα χρειάζεται ειδική μελέτη για τη χωροθέτησή τους
- παρουσιάζουν μικρούς βαθμούς απόδοσης, της τάξεως του 15%

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πιν. 5.1) επιχειρείται μια σύγκριση των τεχνολογιών του εστιακού πύργου και των παραβολικών συλλεκτών τύπου σκάφης.

**Πίνακας 5.1:** Σύγκριση εστιακού πύργου και παραβολικών συλλεκτών σκάφης ως προς ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά (Πηγή: Αλεξόπουλος Σ., 2008, ιστοσελίδα Wikipedia, 2012).

	Εστιακός πύργος	Παραβολικοί συλλέκτες σκάφης
Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	> 550	350 – 400
Απόδοση	15 – 18%	14 – 16%
Εγκατεστημένη ισχύς (MW)	10 – 100	30 – 350
Κόστος ενέργειας 2008 (€ / kWh)	0,251	0,221
Κόστος ενέργειας 2020 (€ / kWh)	0,04 – 0,08	0,05 – 0,08

Παρά το γεγονός ότι οι εγκαταστάσεις αυτές παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον από επιστημονικής σκοπιάς, εντούτοις οι πρακτικές δυσκολίες στην εφαρμογή τους είναι πολλές και σημαντικές. Το σημαντικότερο μειονέκτημα είναι το πολύ υψηλό αρχικό κεφάλαιο που απαιτείται για το στήσιμο ενός ηλιοθερμικού σταθμού. Για

παράδειγμα, ο μεγάλος αριθμός ηλιακών κατόπτρων («ηλιοστατών») που τοποθετείται στο ηλιοστατικό πεδίο αποτελεί από μόνος του μια τεράστια επένδυση – χωρίς καν να ληφθεί υπόψη η συντήρηση και αποκατάστασή τους (όχι τόσο σημαντικό κόστος). Αντίστοιχα, τα ημιαγώγιμα υλικά που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση και μετατροπή της ενέργειας παραμένουν αντιοικονομικά. Επιπλέον, παρουσιάζουν τεράστιες απαιτήσεις σε έκταση, ενώ η αρχή λειτουργίας τους καθιστά απαγορευτική την εγκατάστασή τους σε περιοχές με μειωμένη ηλιοφάνεια (π.χ. λόγω νέφωσης ή ατμοσφαιρικής ρύπανσης). Σε τέτοιες περιπτώσεις ενδέχεται ο σταθμός να χρειάζεται να καταφύγει σε καύση ορυκτών πόρων για τη λειτουργία του εκείνο το διάστημα. Παρ' ό,τι κάποιες από τις παραπάνω τεχνολογίες επιτυγχάνουν μερική αποθήκευση ενέργειας για χρήση μετά τη δύση του ηλίου (της τάξης των λίγων ωρών), το πρόβλημα της αποθήκευσης παραμένει ένα επιπρόσθετο ζήτημα που καλούνται να αντιμετωπίσουν. Στις εγκαταστάσεις αυτές, λόγω των ιδιαίτερα υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται, είναι απαραίτητη η ψύξη και η πλύση του εξοπλισμού. Σύμφωνα με έκθεση του Υπουργείου Ενέργειας των Η.Π.Α. στο Κογκρέσο, τα παλαιότερα ψυκτικά συστήματα χρησιμοποιούσαν μέχρι και 27.000 γαλόνια (πάνω από 100 m<sup>3</sup>) νερού ανά MW παραγόμενης ισχύος. Οι νεότερες τεχνολογίες έχουν καταφέρει να μειώσουν αυτή την ποσότητα σε 500 – 600 γαλόνια (περίπου 2.000 λίτρα) ανά MW, τιμή παραπλήσια αυτής σε ένα τυπικό λιγνιτικό εργοστάσιο.

### 5.3.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Η πιο διαδεδομένη μορφή τεχνολογίας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή είναι τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων, που τα διαφοροποιούν από τις άλλες μορφές ΑΠΕ είναι (Αργυροπούλου Α., 2008):

- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα, π.χ. σε επίπεδο μερικών δεκάδων W ή και MW.
- Είναι εύχρηστα. Τα μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες.

- Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις, ενσωματωμένα σε κτήρια και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον.
- Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα).
- Μπορούν να επεκταθούν σε μεταγενέστερη φάση για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών, χωρίς μετατροπή του αρχικού συστήματος.
- Λειτουργούν αθόρυβα, εκπέμπουν μηδενικούς ρύπους, χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία κατά τη λειτουργία. Οι εγγυήσεις που δίνονται από τους κατασκευαστές για τις Φ/Β γεννήτριες είναι περισσότερο από 25 χρόνια αποδοτικής λειτουργίας.

Τα Φ/Β συστήματα μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη λεγόμενη «Διάσπαρτη Παραγωγή Ενέργειας» (Distributed Power Generation), η οποία αποτελεί το νέο μοντέλο ανάπτυξης σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαφοροποίηση στην παραγωγή ενέργειας, που προσφέρεται από τα Φ/Β συστήματα, σε συνδυασμό με την κατά μεγάλο ποσοστό ανεξάρτηση από το πετρέλαιο και την αποφυγή περαιτέρω ρύπανσης του περιβάλλοντος, μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες οικονομικής ανάπτυξης σε ένα νέο ενεργειακό τοπίο, που αυτή τη στιγμή διαμορφώνεται στις αναπτυγμένες χώρες. Επίσης, είναι δυνατή η ενσωμάτωσή τους σε κτήρια με τα ακόλουθα οφέλη:

- ✓ Συγχρονισμός ψυκτικών φορτίων κτηρίων κατά τη θερινή περίοδο με τη μέγιστη παραγόμενη ισχύ από τα Φ/Β.
- ✓ Αποφυγή χρήσης γης για την εγκατάσταση.
- ✓ Αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και επιτόπου κατανάλωση της παραγόμενης ενέργειας.

Στον αντίποδα, το κόστος εγκατάστασής τους είναι αρκετά υψηλό (ενδεικτική τιμή: 4.000 € ανά εγκατεστημένο kW, όταν μια τυπική εγκατάσταση στην Ελλάδα απαιτεί



1,5 – 3,5 kW). Η απόδοσή τους είναι ακόμα πολύ μικρή, της τάξεως του 15%, ενώ στα αυτόνομα συστήματα απαιτείται και η χρήση μπαταριών (Μαμάσης Ν., 2012).

Το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα είναι σήμερα συγκρίσιμο με το κόστος αιχμής ισχύος, που χρεώνει η εταιρεία ηλεκτρισμού τους πελάτες της λόγω της επιδότησης που χαίρουν τα Φ/Β. Χωρίς κρατική επιδότηση, μια επένδυση αποσβένεται περίπου σε 10 χρόνια, ενώ ο χρόνος αυτός μπορεί να μειωθεί στο μισό, αν η επένδυση επιδοτηθεί. Ο Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) υποχρεούται να αγοράζει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται, εκτός εκτάκτων καταστάσεων. Η τιμή της παραγόμενης από φωτοβολταϊκό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που διοχετεύεται στο δίκτυο έχει οριστεί σε 0,55 €/kWh για τις συμβάσεις που υπογράφηκαν στο διάστημα 2009 – 2011, ενώ μειώνεται κατά 5% ετησίως για συμβάσεις που συνάπτονται από 01/01/2012 έως 31/12/2019. Οι τιμές πώλησης μάλιστα, προστατεύονται από τη νομοθεσία: ο Ν3734/2009 προβλέπει εγγυημένη τιμολόγηση για διάστημα 20 ετών (Κ.Α.Π.Ε., 2009).

#### 5.4 Γεωθερμική Ενέργεια

Αυτού του είδους η πηγή ενέργειας, αποτελεί από το σύνολο των Ανανεώσιμων Πηγών την πιο αξιόπιστη, με την έννοια πώς παράγει ενέργεια σταθερά και με «συνέπεια» καθώς δεν επηρεάζεται από τις καιρικές μεταβολές όπως η αιολική, η ηλιακή ή ακόμα και η υδροηλεκτρική ενέργεια. Μπορεί λοιπόν να λειτουργήσει αυτόνομα χωρίς την ανάγκη υποστήριξης από ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη (ντιζελοκινητήρες με γεννήτριες) ώστε να διατηρείται σταθερό το παραγόμενο φορτίο.

Επιπλέον, η γεωθερμική ενέργεια, εκτός από την παραγωγή ισχύος, στην τελική υποβαθμισμένη μορφή της, δηλαδή όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αγροτικές καλλιέργειες, οικιακή ψύξη, θέρμανση και λουτρά.

Σήμερα, καλύπτει σήμερα μόνο το 0,5% των ενεργειακών αναγκών του πλανήτη. Με αυτή την έννοια δεν είναι μία σοβαρή πηγή ενέργειας. Μπορεί όμως να γίνει καθοριστικός παράγοντας και μοχλός ανάπτυξης σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο

περιοχών που είναι προικισμένες σε θερμά ρευστά. Η Ισλανδία καλύπτει το 50% των ενεργειακών αναγκών της με γεωθερμική ενέργεια.

Η γεωθερμία δεν αποτελεί μια «καθαρή» πηγή ενέργειας με τη συμβατική έννοια του όρου – όπως για παράδειγμα η ηλιακή ή η αιολική. Αυτό συμβαίνει γιατί σαν βασικό παραπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας παράγεται υγρό αλμόλοιπο (άλμη με διάφορες προσμίξεις) σε σημαντικές ποσότητες. Η σύσταση του αλμόλοιπου εξαρτάται από τις ιδιαίτερες γεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες του υπεδάφους.

Ωστόσο, οι γεωθερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής είναι κατά γενική ομολογία «καθαρότερες» σε σύγκριση με αντίστοιχες συμβατικές που χρησιμοποιούν οργανικά καύσιμα (πετρέλαιο, λιγνίτης). Παρ' όλα αυτά, δεν αναιρείται το γεγονός πως αναπόφευκτα υπάρχουν μικρές ή μεγάλες επιπτώσεις στο γειτονικό περιβάλλον κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Τα κύρια περιβαλλοντικά προβλήματα από την αξιοποίηση της γεωθερμίας συνοψίζονται στην έκλυση ορισμένων επικίνδυνων και δύσοσμων αερίων κατά τη φάση της γεώτρησης ( $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $CO$ ), καθώς και στα προβλήματα διάθεσης του παραγόμενου – ως παραπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας – αλμόλοιπου.

Για το θέμα της εκπομπής βλαβερών αερίων, υπάρχουν τεχνολογικές λύσεις (μονάδες δέσμευσης του υδρόθειου) που μπορούν πρακτικά να περιορίσουν τις τιμές των αερίων αυτών σε μη ανιχνεύσιμα επίπεδα, με οικονομικό κόστος που διαφοροποιείται κατά περίπτωση και σχετίζεται είτε με την αρχική εγκατάσταση και συντήρηση, είτε με τη λειτουργία τους και είναι σχετικά υψηλό.

Παρ' όλα αυτά, υπάρχει έκδηλη ανησυχία αφού σε ήδη υπάρχοντες συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα (λιγνιτικοί σταθμοί), δεν έχουν ληφθεί σύγχρονα μέτρα αντιρρύπανσης λόγω του υψηλού κόστους τους. Στους σταθμούς αυτούς, που είναι και από τους πιο ρυπογόνους στην Ευρώπη, παρά τη σωρεία συστάσεων από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος, σε ελάχιστες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν εφαρμογές που να μειώνουν ουσιαστικά τους αέριους ρύπους, παρόλο που τεχνολογίες υπάρχουν πολλές, είναι διαθέσιμες αλλά δυστυχώς αρκετά ακριβές. Βέβαια, ευθύνες βαραίνουν και τις κατά τόπους κοινωνίες οι οποίες είχαν αρχικά συννεύσει στην δημιουργία των σταθμών.

Ο συνήθης τρόπος διάθεσης του αλμόλοιπου είναι η επανεισαγωγή του σε άλλη γεώτρηση, κάτι που ελαχιστοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αλλά και

εμπλουτίζει το υπόγειο γεωθερμικό πεδίο μεγαλώνοντας τη διάρκεια ζωής του. Εκείνο που δεν είναι ευρέως γνωστό, είναι πως η επανεισαγωγή παρουσιάζει τεχνικά προβλήματα επικαθήσεων σε σωληνώσεις και σε αντλιοστάσια, καθώς και στη γεώτρηση επανεισαγωγής. Εξ' αυτού κρίνεται απαραίτητη η αναζήτηση εναλλακτικού τρόπου διάθεσης του αλμόλοιπου – αν όχι σε μόνιμη βάση, τουλάχιστον σε περιόδους που η επανεισαγωγή είναι αδύνατη. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η απόρριψη του αλμόλοιπου στη θάλασσα αποτελεί έναν εναλλακτικό τρόπο διάθεσης.

Στη περίπτωση της Νισύρου, χημική ανάλυση του αλμόλοιπου έδειξε ότι περιέχει σημαντικές ποσότητες νατρίου, καλίου, ασβεστίου, μαγανίου, χλωρίου, αμμωνίας, βορίου, φθορίου, αρσενικού, λιθίου, τεταρτοξειδίου του πυριτίου και άλλων μετάλλων. Αυτά καθιστούν τα γεωθερμικά ρευστά της Νισύρου αρκετά «βεβαρημένα». Η ύπαρξη λοιπόν των προαναφερθέντων μετάλλων, αν δεν τηρηθούν οι κατάλληλες προδιαγραφές κατακράτησής τους, ελλοχεύει υψηλό κίνδυνο για τη δημόσια υγεία.

Για το σκοπό αυτό, πρέπει να διερευνηθούν και να σχεδιασθούν κατάλληλα έργα επεξεργασίας του αλμόλοιπου με στόχο τον περιορισμό της ρύπανσης σε αποδεκτά επίπεδα, ώστε η διάθεση του αλμόλοιπου στη θάλασσα να έχει τη μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση. Αξίζει εδώ να σημειωθεί πως η περιοχή απόθεσης του αλμόλοιπου στη θάλασσα θα χαρακτηριστεί βιομηχανική ζώνη, με άμεση συνέπεια να θεωρείται ακατάλληλη για κολύμβηση και άλλες χρήσεις εκ μέρους των κατοίκων.

Δοκιμές έδειξαν πως ο βέλτιστος τρόπος επεξεργασίας του αλμόλοιπου, ο οποίος εξασφαλίζει σε ικανοποιητικό βαθμό την ταυτόχρονη απομάκρυνση όλων των ρυπαντών, περιλαμβάνει την προεπεξεργασία του με χλώριο που οξειδώνει το αρσενικό και στη συνέχεια χρήση ασβέστη για την μείωση λοιπών στερεών και άλλων τοξικών ουσιών σε συνήθη/αποδεκτά επίπεδα. Αποτέλεσμα αυτής της επεξεργασίας είναι ένα ίζημα που μπορεί να αφυδατωθεί σε κλίνες ξήρασης. Στη συνέχεια, το τελικό προϊόν απορρίπτεται στη θάλασσα.

Δηλαδή, μια γεωθερμική μονάδα ρυπαίνει, μεν, το θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον, αλλά σε αποδεκτά επίπεδα, δε. Μετάβαση, δηλαδή, από τη σημερινή κατάσταση ανύπαρκτης ρύπανσης σε αποδεκτή ρύπανση μιας βιομηχανικής μονάδας

παραγωγής ισχύος – καθαρότερης από μια συμβατική μονάδα (πετρέλαιο/κάρβουνο) αλλά όχι εντελώς καθαρής.

Εκ των άνω, εύλογα προκύπτει πως η πιθανότερη μακροπρόθεσμη περιβαλλοντική επίπτωση από τη διάθεση ελλιπώς επεξεργασμένου αλμόλοιπου στη θάλασσα, συνδέεται με τη βιοτοξικότητά του. Οι κυριότεροι τοξικοί ρυπαντες του αλμόλοιπου που περιέχονται σε αξιοσημείωτες ποσότητες είναι η ελεύθερη αμμωνία, που είναι τοξική για τα ψάρια, το αρσενικό, που έχει αθροιστικές επιπτώσεις και συσσωρεύεται κυρίως στα οστρακόδερμα, το βόριο και το μαγγάνιο.

Κάτι που δεν είναι ευρύτερα γνωστό είναι πως τα πηγάδια γεώτρησης και ο λοιπός εξοπλισμός έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής, καθώς η πίεση εξόδου του γεωθερμικού ρευστού (ατμός) από μια παραγωγική γεώτρηση μειώνεται ετησίως με ρυθμό 5% έως 10%. Επιπλέον, τα γεωθερμικά ρευστά περιέχουν σημαντικό αριθμό ρυπαντών, που αφενός επικάθονται στα διάφορα μέρη της εγκατάστασης, αφετέρου διαβρώνουν μέρη του εξοπλισμού της μονάδας. Οι κυριότεροι ρυπαντές είναι μικρά κατάλοιπα πετρωμάτων που αιωρούνται στο γεωθερμικό ρευστό, όπως άλατα χλωρίου, νατρίου κ.λπ., καθώς και διάφορα διαλυμένα αέρια όπως το μεθάνιο, το υδρόθειο κ.ά. Τέλος, οι σημαντικές ποσότητες αλάτων στο γεωθερμικό ρευστό της γεώτρησης επιταχύνουν την διάβρωση των υλικών της εγκατάστασης. Η εμπειρία έχει δείξει πως η διάρκεια ζωής του τεχνικού εξοπλισμού μιας γεωθερμικής μονάδας εκτιμάται στα 25 περίπου έτη, ενώ για τα εξαρτήματα της γεώτρησης, ο ονομαστικός χρόνος ζωής τους είναι περίπου 10 έτη, ο δε πραγματικός, μικρότερος.

Ωστόσο, τα περιεχόμενα άλατα μπορούν να αποτελέσουν ένα χρήσιμο παραπροϊόν των γεωθερμικών ρευστών που είναι, κατά περιπτώσεις, εκμεταλλεύσιμο. Για παράδειγμα, στο Λαρντερέλο της Τοσκάνης εξάγεται από αυτά βόριο, στην Ιαπωνία καΐσιο, στην Καλιφόρνια υδράργυρος και άλλα βασικά μέταλλα, (Ι.Γ.Μ.Ε., 2008).

Ένα ενδιαφέρον στοιχείο που έχει παρατηρηθεί είναι πως η σύσταση του υπεδάφους και ο ρυθμός επανεισαγωγής του γεωθερμικού ρευστού στον ταμιευτήρα είναι δυνατόν να προκαλέσει πυκνούς χρονικά σεισμούς μεγέθους μέχρι 3 – 4R. Ενδεχομένως η ένταση ενός τέτοιου σεισμού να ακούγεται μικρή, όμως οι ανθρωπογενείς σεισμοί συνήθως συμβαίνουν σε μικρά βάθη και ως εκ τούτου γίνονται αισθητοί δυσανάλογα με το μέγεθος τους, δεδομένου ότι χαρακτηρίζονται

από μεγάλες επιταχύνσεις και ως τέτοιοι και μπορούν να προκαλέσουν αρκετές ζημιές.

## 5.5 Βιομάζα

Η βιομάζα είναι ανανεώσιμο υλικό, παράγεται σε όλες τις χώρες του κόσμου και είναι εύκολα προσιτή, ενώ τα ορυκτά καύσιμα είναι εξαντλήσιμα, παράγονται μόνον σε λίγες χώρες και η διαθεσιμότητά τους εξαρτάται από διεθνείς πολιτικές, στρατιωτικές, και οικονομικές συνθήκες.

Η παραγωγή και η χρήση της δεν επιβαρύνει το περιβάλλον με τοξικές ουσίες (αντίθετα με τα ορυκτά καύσιμα), αφού τα προϊόντα καύσης της είναι κατά βάση νερό και διοξείδιο του άνθρακα. Δίψτανται, βέβαια, οι απόψεις ως προς την επίδραση πού έχει στο φαινόμενο θερμοκηπίου και συνεπώς στην παγκόσμια θέρμανση. Αν όμως θεωρήσουμε ότι το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό πού αποδίδει στην ατμόσφαιρα η βιομάζα, το είχε ήδη αφαιρέσει από την ατμόσφαιρα κατά την ανάπτυξή της, τότε πρέπει να πούμε ότι είναι ουδέτερη ως προς αυτό το φαινόμενο. Σε κάθε περίπτωση πάντως δεν επιτείνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Τα προϊόντα καύσης της δεν περιέχουν ή περιέχουν ελάχιστες ποσότητες οξειδίων του θείου και αζώτου. Τα χημικά αυτά απαντώνται σε μεγάλες ποσότητες στα ορυκτά καύσιμα και ενέχουν σοβαρούς και συνεχείς κινδύνους για την υγεία του ανθρώπου. Επίσης, στα στάδια κατεργασίας των ορυκτών καυσίμων (διύλιση, αεριοποίηση κ.λπ.) παράγονται απόβλητα ρυπογόνα και επιβλαβή για του έμβιους οργανισμούς τα οποία βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις στους χώρους απόθεσής τους.

Η εμπειρία των ευρωπαϊκών χωρών έδειξε ότι η χρήση βιομάζας είναι φθηνότερη για τον καταναλωτή από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο (Πηγή: [www.dosenergy.gr](http://www.dosenergy.gr)).

Τα συγκροτήματα ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού καύσης βιομάζας έχουν πολύ μικρό χρόνο απόσβεσης, από 1 έως 3 χρόνια, συνέπεια της εξοικονόμησης ενέργειας, σε αντίθεση με τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό των ορυκτών καυσίμων που δεν αποσβένεται ποτέ αφού καταναλώνουν και δεν εξοικονομούν ενέργεια. Ομοίως, οι σύγχρονοι λέβητες βιομάζας αποδεικνύονται φθηνότεροι από τους αντίστοιχους λέβητες πετρελαίου όπως έδειξαν σχετικές έρευνες (Πηγή: [www.homegas.gr](http://www.homegas.gr)).

Στα μειονεκτήματα της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα περιλαμβάνεται το κόστος συλλογής και επεξεργασίας των υλικών, γεγονός που αντιμετωπίζεται με τη

δημιουργία μονάδων πλησίον των παραγόμενων υλών, καθώς και το μικρό ενεργειακό περιεχόμενο σε σχέση με ίση μάζα ορυκτού καυσίμου, το οποίο θα μπορούσε να αντισταθμιστεί από τα περιβαλλοντικά οφέλη της καύσης βιομάζας.

Η απελευθέρωση της ενεργειακής αγοράς και η θέσπιση περισσότερων κινήτρων για νέες εγκαταστάσεις ΑΠΕ πιστεύεται ότι θα ενισχύσουν το ενδιαφέρον των επενδυτών και για την αξιοποίηση της βιομάζας. Η εκμετάλλευση της συγκεκριμένης ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή με τρόπο συστηματικό μπορεί να προσφέρει **(Πηγή: [www.allaboutenergy.gr](http://www.allaboutenergy.gr)):**

- μεγαλύτερη διαφοροποίηση των χρησιμοποιούμενων πρώτων υλών
- μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενες ενεργειακές πρώτες ύλες
- καθαρότερη παραγωγή ενέργειας
- ουσιαστική συμβολή στην υλοποίηση της αποκεντρωμένης παραγωγής, γεγονός που αποτελεί και στόχο της Ε.Ε., καθώς ευνοείται η δημιουργία μικρών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής κοντά σε διαθέσιμες ποσότητες βιομάζας
- την εισαγωγή νέων, «καθαρών» τεχνολογιών καύσης στερεών καυσίμων στο ενεργειακό σύστημα της χώρας, ιδιαίτερα με την υλοποίηση μονάδων συνδυασμένης καύσης άνθρακα – βιομάζας
- αύξηση των μονάδων συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού, καθώς η χρήση της βιομάζας (όπως και της γεωθερμίας) ευνοεί τεχνικοοικονομικά τη δημιουργία τους
- την ενεργειακή αξιοποίηση των παραγόμενων απορριμμάτων και τη συνολικά καλύτερη διαχείρισή τους, των οποίων η διάθεση αποτελεί ήδη σημαντικό πρόβλημα στα μεγάλα αστικά κέντρα

Η καύση του βιοντίζελ σε κινητήρες οχημάτων υποκαθιστά το πετρέλαιο κίνησης στις μεταφορές, με ευεργετικές για τους κινητήρες, την ατμόσφαιρα και το περιβάλλον επιδράσεις. Με την αντικατάσταση του συμβατικού καυσίμου ή την ανάμιξή του με βιοντίζελ, επέρχεται βελτίωση της ποιότητας του αέρα στις αστικές περιοχές και μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (κατά κύριο λόγο, του διοξειδίου του άνθρακα).

Θεωρείται το καθαρότερο καύσιμο μετά το αέριο καθώς, η αυξημένη διαλυτική του ιδιότητα έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των κατάλοιπων καύσης και των επικαθήσεων στον κινητήρα. Η μίξη, συνεπώς, σε χαμηλό ποσοστό είναι ευεργετική για τη λειτουργία των κινητήρων και την απόδοσή τους, ενώ εν γένει δρα ως βελτιωτικό καύσης.

## 5.6 Ενέργεια Ωκεανών

Οι περιβαλλοντικές αλληλεπιδράσεις των τεχνολογιών **κυματικής ενέργειας και ενέργειας ρευμάτων** είναι περιορισμένες, υπό την προϋπόθεση ότι η επιλογή θέσης γίνεται με σύνεση και η ανάπτυξη σε ευαίσθητες τοποθεσίες διέπεται από ελεγχόμενη πολιτική προγραμματισμού. Ο θόρυβος μπορεί να είναι μια δυνητικά αρνητική αλληλεπίδραση σε περιοχές όπου υπάρχουν κήτη, αλλά ακόμα δεν υπάρχουν αποδείξεις γι' αυτό και είναι κάτι που χρήζει περαιτέρω μελέτης. Υπάρχουν κι άλλες επιπτώσεις που οφείλονται στη χρήση ηλεκτρικών καλωδίων και στα συστήματα λειτουργίας και αγκύρωσης, όμως η διαχείρισή τους είναι εύκολη.

Η πλέον προβληματική αλληλεπίδραση μπορεί να είναι η χρήση του ωκεάνιου χώρου, που μπορεί να ανταγωνίζεται τους τομείς αλιείας και εμπορικής ναυτιλίας. Η οπτική αλληλεπίδραση μπορεί να είναι σημαντική στην περίπτωση των επάκτιων ή παράκτιων συσκευών, αλλά αυτοί οι τύποι συσκευών αναμένεται να συμβάλλουν μόνο οριακά στην εκμετάλλευση των πόρων.

Ένα δυνητικά ισχυρό επιχείρημα υπέρ των συνεργιών της κυματικής ενέργειας και της αλιείας είναι ότι μία από τις παρενέργειες των μεγάλων πάρκων κυματικής ενέργειας, τα οποία συνήθως θα είναι κλειστά στην εμπορική ναυτιλία για αρκετά τετραγωνικά χιλιόμετρα, θα είναι καταφύγια αναπαραγωγής.

Η δυνατότητα συμμετοχής της ωκεάνιας κυματικής ενέργειας σε ένα μελλοντικό εναλλακτικό ενεργειακό μίγμα είναι σημαντική, ιδιαίτερα σε χώρες όπως η Ιρλανδία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Πορτογαλία και η Νορβηγία, όπου θα μπορούσαν να καλύπτονται από την κυματική ενέργεια, πιθανά μερίδια της κατανάλωσης ηλεκτρισμού της τάξης του 20 – 50%.

Η επίπτωση του τομέα κυματικής ενέργειας στην αγορά εργασίας μπορεί να έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε χώρες που στερούνται βιομηχανικής δραστηριότητας, αλλά και σε περιοχές με ναυπηγική παράδοση η οποία όμως αρχίζει να φθίνει.

Όσον αφορά την τεχνολογία εκμετάλλευσης της **θαλασσοθερμικής ενέργειας**, στις ανησυχίες σχετικά με τις επιπτώσεις στο περιβάλλον περιλαμβάνονται η διαρροή του εργαζόμενου ρευστού στο περιβάλλον και οι επιπτώσεις που μπορεί να έχει η μίξη μεγάλης κλίμακας στα ωκεάνια ρεύματα, η κίνηση των οποίων συνήθως οφείλεται σε θερμοκρασιακές διαφορές (Πηγή: [www.aquaret.com](http://www.aquaret.com), 2012).

Όπως διαπιστώθηκε και προηγουμένως, η τεχνολογία που στηρίζεται στην **οσμωτική ενέργεια** απαιτεί μεγάλες ποσότητες γλυκού νερού για τη λειτουργία της. Το θέμα αυτό προβλέπεται να αποτελέσει σοβαρό εμπόδιο μελλοντικά, ειδικά σε πολλά μέρη του κόσμου όπου η διαθεσιμότητα γλυκού νερού είναι περιορισμένη. Επιπρόσθετα, η οσμωτική διεργασία παράγει απόβλητο νερό, υψηλότερης αλατότητας από το γλυκό νερό, αλλά όχι τόσο αλμυρό όσο το θαλασσινό, κι έτσι η εκφόρτιση τεράστιων ποσοτήτων του υφάλμυρου αυτού νερού ενδέχεται να ενέχει καταστρεπτικές επιπτώσεις στα τοπικά θαλάσσια οικοσυστήματα.

Οι προκλήσεις όμως δε σταματούν εδώ: σημαντικός παράγοντας είναι και το κόστος. Όπως με πολλές ΑΠΕ, και λαμβάνοντας υπόψη ότι αποτελεί μια νέα τεχνολογία, η λειτουργία των μονάδων οσμωτικής ενέργειας είναι ακόμα μια ακριβή διαδικασία. Η πρωτοπόρος Statkraft, που όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα είναι η ιδιοκτήτρια εταιρεία του πρώτου εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από οσμωτική ενέργεια σε εμπορική κλίμακα, αναφέρει πως το κόστος αποσβένεται αν οι τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας διαμορφωθούν μεταξύ 70€ και 100€/MWh. Ωστόσο, οι τρέχουσες τιμές στη Νορβηγία είναι πολύ χαμηλότερες και κυμαίνονται από 30€ ως 40€/MWh.

Από την άλλη, τα τεχνικά ζητήματα δεν έχουν πλήρως επιλυθεί. Το σημείο – κλειδί της συγκεκριμένης τεχνολογίας αποτελεί η ημιπερατή μεμβράνη, όμως η Statkraft ισχυρίζεται ότι χρειάζεται να γίνει πέντε φορές πιο αποτελεσματική απ' ό,τι είναι σήμερα, ενώ παράλληλα η ανάπτυξη της επιχείρησης απαιτεί την εύρεση επενδυτών και κατασκευαστών.

Εκτός της Νορβηγικής εταιρείας, προσπάθεια αξιοποίησης της οσμωτικής ενέργειας καταβάλλει και η Ολλανδική Redstack, η οποία σκοπεύει στην εμπορευματοποίηση



παρόμοιας τεχνολογίας και έχει ως στόχο την ανάπτυξη ενός εργοστασίου πιλοτικής κλίμακας στα βόρεια της Ολλανδίας. Παρ' όλα αυτά, τα σχέδια φαίνεται να προσκρούουν σε υφάλους: η Ολλανδική Eneco, που είχε προηγουμένως συμφωνήσει στην οικονομική ενίσχυση του σχεδίου, απέσυρε έπειτα την πρότασή της.

Η οσμωτική ενέργεια ερευνάται και από τη NASA, με ερευνητές της αμερικανικής διαστημικής υπηρεσίας να υπολογίζουν την τεχνολογία αυτή ως ένα πιθανό τρόπο παροχής ικανής ποσότητας νερού για μακρόχρονες επανδρωμένες αποστολές στη Σελήνη ή τον Άρη. Η ιδέα θα περιλαμβάνει ένα σύστημα οσμωτικής ενέργειας που θα διαχωρίζει το αλάτι και το νερό από τα υγρά απόβλητα και θα «φιλτράρει» τα ανθρώπινα υγρά απόβλητα, όπως τα ούρα και το μη-πόσιμο νερό, παράγοντας νερό ασφαλές για πόση.

## 5.7 Συγκεντρωτική Σύγκριση

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε παραπάνω, γίνεται εμφανές ότι κάθε είδος τεχνολογίας εκμετάλλευσης ενέργειας (ανανεώσιμης ή μη) παρουσιάζει επιμέρους θετικά και αρνητικά στοιχεία τα οποία χρειάζεται να ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία λήψης απόφασης πριν την εγκατάστασή τους. Ο ακόλουθος πίνακας (Πίν. 5.2) παρουσιάζει συνοπτικά τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε μορφής.

**Πίνακας 5.2:** Κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε μορφής ενέργειας.

Είδος ενέργειας	Κύρια πλεονεκτήματα	Κύρια μειονεκτήματα
Υδραυλική ενέργεια	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Μεγάλοι βαθμοί απόδοσης</li> <li>▲ Δυνατότητα κάλυψης αιχμών</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Δυνητικός κίνδυνος για τα κατάντη</li> <li>▼ Εμφανής περιβαλλοντική παρέμβαση</li> </ul>
Αιολική ενέργεια	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Οικονομικά ανταγωνίσιμη</li> <li>▲ Αποκέντρωση ενέργειας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Μέτριοι βαθμοί απόδοσης</li> <li>▼ Οπτική όχληση</li> </ul>

Ηλιακή ενέργεια	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Μέγιστη λειτουργία κατά την αιχμή της ζήτησης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Αντιοικονομική τεχνολογία</li> <li>▼ Καταστροφή πύργων (θερμικά πάρκα)</li> </ul>
Γεωθερμία	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Σταθερή, αξιόπιστη</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Παραγωγή ρύπων / αλμολοιπού</li> <li>▼ Καταστροφή εξοπλισμού</li> </ul>
Βιομάζα	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Διαθέσιμη παντού</li> <li>▲ Όχι έντονη επιβάρυνση</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Φτωχότερο ενεργειακό περιεχόμενο από τα ορυκτά καύσιμα</li> <li>▼ Σημαντικό κόστος προεργασίας</li> </ul>
Ωκεάνια ενέργεια	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Σταθερότητα</li> <li>▲ Περιοδικότητα</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Μη «ώριμη» τεχνολογία</li> <li>▼ Καταστροφή συσκευών</li> </ul>
Ορυκτά καύσιμα	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Μεγάλο ενεργειακό περιεχόμενο</li> <li>▲ Προσαρμοσμένη τεχνολογία</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Αναλώσιμα</li> <li>▼ Έντονη περιβαλλοντική ρύπανση</li> </ul>
Πυρηνικά καύσιμα	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Τεράστιο ενεργειακό περιεχόμενο</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Αναλώσιμα</li> <li>▼ Καταστροφικές συνέπειες σε περίπτωση ατυχήματος</li> </ul>

Εξετάζοντας τις παραπάνω μορφές ενέργειας ως προς τους κοινούς άξονες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, του κόστους, του βαθμού απόδοσης αλλά και της διάρκειας ζωής των εγκαταστάσεων, καταλήγουμε στα αποτελέσματα του **Πίνακα 5.3**. Η διάκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων έχει γίνει σε: μηδαμινές, χαμηλές, μέτριες, έντονες και πολύ έντονες. Αντίστοιχα, το κόστος αξιολογήθηκε ως χαμηλό, μεσαίο, υψηλό και πολύ υψηλό και σε ορισμένες περιπτώσεις διαφοροποιείται αναλόγως του αν αναφερόμαστε στο αρχικό κεφάλαιο ή στο κόστος συντήρησης και λειτουργίας της μονάδας.

**Πίνακας 5.3:** Σύγκριση των διάφορων μορφών ενέργειας ως προς το βαθμό απόδοσης, τη διάρκεια ζωής, τις επιπτώσεις στο περιβάλλον και το κόστος.

	B. A. [%]	Διάρκεια ζωής [έτη]	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	Οικονομικό κόστος
Υδραυλικά	90 – 95	μικρά: 20 – 30 μεγάλα: 50 – 100	Μηδαμινές – Χαμηλές	Μέτριο
Αιολικά	< 35	25	Μηδαμινές	χερσαία: Χαμηλό υπεράκτια: Μέτριο – Υψηλό
Θερμικά Ηλιακά	15 – 20	25	Μηδαμινές	επένδυση: Πολύ Υψηλό συντ./λειτ.: Χαμηλό
Φ/Β	< 15	25	Μηδαμινές	επένδυση: Μεσαίο συντ./λειτ.: Χαμηλό
Γεωθερμία	< 15	20	Χαμηλές – Μέτριες	επένδυση: Υψηλό συντ./λειτ.: Μεσαίο
Βιομάζα	20 – 40	25	Χαμηλές – Μέτριες	επένδυση: Μεσαίο συντ./λειτ.: Υψηλό
Ωκεάνια	παλιρροιακά: < 90	κυματικά: 40 – 50 παλιρροιακά: 120 ΟΤΕC: 20	Μηδαμινές – Χαμηλές	επένδυση: Υψηλό
Ορυκτά	40 – 60	30	Υψηλές – Πολύ υψηλές	φυσ. αέριο: Χαμηλό λοιπά ορυκτά: Μεσαίο – Υψηλό
Πυρηνικά	35	40	Μέτριες – Υψηλές	επένδυση: Υψηλό συντ./λειτ.: Χαμηλό

## 6 Συμπεράσματα

Η εξέλιξη της ανθρωπότητας υπήρξε άρρηκτα συνδεδεμένη με τη χρήση ενέργειας. Δεν είναι τυχαίο ότι οι ονομασίες των μεγάλων ιστορικών περιόδων της ανθρωπότητας, λίθινη εποχή, εποχή του σιδήρου ή του χαλκού, προέκυψαν από τη δυνατότητα των ανθρώπων να διαχειρίζονται διαφορετικές μορφές ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτέλεσαν μέρος της ανθρώπινης ιστορίας από την απαρχή της. Συνόδευσαν τον άνθρωπο στα βήματά του προς την ανάπτυξη και τη συγκρότηση κοινωνιών και επέτρεψαν την τεχνολογική πρόοδο σε πολλούς τομείς. Από την πρώτη μεγάλη ανακάλυψη του ανθρώπου, τη φωτιά, μέχρι τις σύγχρονες τεχνολογίες δέσμευσης του υδάτινου, αιολικού, ηλιακού, θερμικού δυναμικού βλέπουμε ότι η εφευρετικότητα του ανθρώπου διοχετεύτηκε στην πραγμάτωση ιδεών που διευκόλυναν την καθημερινή του ζωή και μεγιστοποίησαν τις δυνατότητες περαιτέρω ανάπτυξής του. Σήμερα, το ενεργειακό τοπίο είναι πολύ διαφορετικό όχι μόνο σε σχέση με τα αρχαία χρόνια αλλά ακόμα και με το πρόσφατο παρελθόν. Η εμφάνιση των ορυκτών καυσίμων που συνέπεσε με – και συνετέλεσε στη – Βιομηχανική Επανάσταση συνοδεύτηκε από μια αντιμετώπιση του ενεργειακού αυτού θησαυρού ως ανεξάντλητη πηγή. Μόλις πρόσφατα, και συγκεκριμένα τις τελευταίες λίγες δεκαετίες, υπήρξε μια συνειδητοποίηση του πεπερασμένου των ορυκτών καυσίμων. Ταυτόχρονα, οι επιπτώσεις της αλόγιστης και ακατάσχετης χρήσης τους έκαναν ήδη την εμφάνισή τους στο περιβάλλον: επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με αέριους ρυπαντές, ρύπανση των υδάτινων και χερσαίων αποδεκτών, διατάραξη των οικοσυστημάτων.

Η ανθρώπινη παρουσία πλέον έχει αφήσει έντονα το αποτύπωμά της στο φυσικό κόσμο. Μόλις τα τελευταία χρόνια παρουσιάστηκε μια πλατιά ευαισθητοποίηση πάνω στα περιβαλλοντικά ζητήματα που γέννησε μια μαζική συνείδηση και την αποδοχή της αναγκαιότητας προστασίας και κατά το δυνατόν επαναφοράς του περιβάλλοντος στη αρχική του ισορροπία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το γνωστό σε όλους *φαινόμενο του θερμοκηπίου*. Το διοξείδιο του άνθρακα, ένα από τα αέρια του θερμοκηπίου, κατηγορείται από το μεγαλύτερο μερίδιο του πληθυσμού (επιστημονική κοινότητα και μη) ως ο βασικότερος υπαίτιος του φαινομένου. Παρά το γεγονός ότι υπάρχει μια σχολή που αντιτίθεται στο παραπάνω σενάριο, όπως και να έχει, η ανθρωπογενής δραστηριότητα, με κύριο εκπρόσωπό της την καύση ορυκτών πόρων,

προκαλεί την έκλυση στην ατμόσφαιρα ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα πολλαπλάσιων των παραγόμενων από φυσικές διεργασίες.

Επομένως, ο άξονας που υπαγορεύει τη στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι διπλός: αφ' ενός μεν, η ενεργειακή ανεξαρτησία και αειφορία με τελικό σκοπό τη δημιουργία μιας κοινωνίας βασιζόμενης εξ' ολοκλήρου σε ενέργεια που διαρκώς ανανεώνεται· αφ' ετέρου, η ελαχιστοποίηση και τελικά εκμηδένιση των εκλυόμενων ρύπων που θα αμβλύνει τις περιβαλλοντικές συνέπειες και θα εναρμονίζεται με τη φυσική ισορροπία του περιβάλλοντος. Ωστόσο, τα εμπόδια που μένουν να υπερπηδηθούν δεν είναι δίχως σημασία. Το κόστος της παραγόμενης ενεργειακής μονάδας από τεχνολογίες ΑΠΕ παραμένει υψηλό, ακόμα και στην περίπτωση των αιολικών πάρκων, που θεωρούνται ο πιο «ώριμος» εκπρόσωπός τους. Βέβαια, αυτό είναι κάτι που αναμένεται να αλλάξει και μόνο καθώς η ελάττωση των υπάρχοντων ορυκτών καυσίμων οδηγεί στην αναπόφευκτη αύξηση της τιμής τους. Από την άλλη, οι τεχνολογίες ΑΠΕ δεν έχουν καταφέρει ακόμα να επιτύχουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας, κάτι το οποίο θα μεταφραζόταν σε μεγαλύτερες, χωρικά, εγκαταστάσεις για την επίτευξη ίσης, ποσοτικά, ενέργειας. Και πάλι θα πρέπει να αναλογιστούμε όμως ότι με την έκλειψη των ορυκτών καυσίμων, εκτός του ότι η τεχνολογία θα «αναγκαστεί» να προοδεύσει υπό την πίεση της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών, δε θα υφίσταται η εναλλακτική του εύκολου και άκοπου καυσίμου.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι το ενεργειακό μέλλον ανήκει στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και πως η διαδρομή, αν και όχι εύκολη, είναι μονόδρομος. Παράλληλα, οφείλει να γίνει συνείδηση στο ευρύ κοινό ότι η αλόγιστη κατανάλωση ενέργειας δεν αποτελεί βιώσιμη λύση παρά μόνο μια ασταθή ισορροπία με προφανή κατάληξη και να καλλιεργηθεί η παιδεία της εξοικονόμησης ενέργειας.

## 7 Βιβλιογραφία – Πηγές

- Μαμάσης Ν., *Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία*, Αθήνα, Ε.Μ.Π., 2011
- Στεφανάκος Ι., *Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία*, Αθήνα, Ε.Μ.Π., 2011
- Τσουκαλά Β., *Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από Υδραυλικά Έργα*, Αθήνα, Ε.Μ.Π., 2011
- *Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*, Υ.Π.Ε.Κ.Α., 2009
- Μαρινάκης Ι., *Μικρά Υδροηλεκτρικά*
- Μαρινάκης Ι., *Υδραυλική Ενέργεια*
- Μπινόπουλος Ε., Χαβιαρόπουλος Π., *Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις των Αιολικών Πάρκων: «Μύθος και Πραγματικότητα»*, Κ.Α.Π.Ε., 2009
- Βοβός Ν., *Ανάλυση, Έλεγχος και Ευστάθεια Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας*
- Πετσάβα Ε., *Εξοικονόμηση Ενέργειας Μέσω της Βιοκλιματικής Δόμησης στην Αττική*, Αθήνα, 2006
- Κυριτσάκη Ο., *Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ελλάδα*, Κοζάνη, 2009
- Μαυρομάτης Ι., *Κυματική Ενέργεια*, Κοζάνη, 2010
- Μόσχου Ε. Χ., *Σύγκριση των Εναλλακτικών Πηγών για την Παραγωγή Ενέργειας*, Αθήνα, 2012
- Ενημερωτικό φυλλάδιο: *Υπαίθριο Μουσείο Υδροκίνησης Δημητσάνας*, Πολιτιστικό Ίδρυμα Ομίλου Πειραιώς, 2012
- Αργυροπούλου Α., *Σχεδίαση Διασυνδεδεμένου Φωτοβολταϊκού Σταθμού 100kW με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ στο Πολυτεχνείο Κρήτης*, Χανιά, 2008
- Αλεξόπουλος Σ. Χ., *Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ηλιακών πύργων*, 13<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο «Ενέργεια και Ανάπτυξη 2008», ΙΕΝΕ, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα, 2008
- *Πληροφορίες για Φ/Β Συστήματα*, Κ.Α.Π.Ε., Τμήμα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων και Διεσπαρμένης Παραγωγής, 2009
- Αρβανίτης Α., *Μύθοι και Πραγματικότητα για τη Γεωθερμία*, Υπουργείο Ανάπτυξης, Ι.Γ.Μ.Ε., Δ/ση Γεωθερμίας και Θερμομεταλλικών Υδάτων, Αθήνα, 2008
- *Περιβαλλοντικός Οδηγός Γεωθερμίας*, Υπουργείο Ανάπτυξης, Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης, Ελλάδα 2008

- Νίγδελης Π., *Η Οικογένεια των Ιταλικών Auli Anii στη Θεσσαλονίκη: με αφορμή μια νέα δίγλωσση αναθηματική επιγραφή*, 2007
- Δουκάκης, 2008
- Εγκυκλοπαίδεια Μείζονος Ελληνισμού, 2012
- Μοίρας Δ., 2009
- Τσιλιγκιρίδης Γ., *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2007
- Κορωνίου Δ.Δ., *Παρασκευή και χρήση ετερογενών καταλυτών για την παραγωγή biodiesel από φυτικά έλαια*, Κοζάνη, 2008
- Εμμανουηλίδης Μ., *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*, Σέρρες, 2009
- Αντωνόπουλος Κ.Β., *Ολυμπία, το δώρο του Θεού*, Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Κρεστένων, 2012
- Κουζούπου Α., Τσιγιώργου Α., Σαρταμπάκου Α., Κόλλας Α., *Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Αιολικού Πάρκου Δ. Δεσκάτης και Καμβουνίων – Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις*, Αθήνα, 2010 – 2011
- Ευγενίκου Β., Σαρταμπάκου Α., *Προώθηση των ΑΠΕ στο Νομό Σερρών με έμφαση στο υδάτινο δυναμικό του Στρυμόνα ποταμού*, Αθήνα, 2011
- Στοϊμενίδης Α., Κωτσόπουλος Θ., Μαρτζόπουλος Γ., *Βιομάζα: Εναλλακτική πηγή ενέργειας για τη μείωση κόστους παραγωγής αγροτικών προϊόντων*, Θεσσαλονίκη
- Ισμαηλίδης Α., *Σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και περιβάλλον*, Χανιά, 2005
- Κουτελιδάκης Κ., *Εφαρμογή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε Στρατόπεδο*, Αθήνα, 2010
- Λόγκος Δ., *Πράσινη ανάπτυξη ως εναλλακτική στρατηγική επιχειρήσεων*, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, 2001
- Κωνσταντακόπουλος Ι., *Ανάλυση, Έλεγχος και Προσομοίωση Συστήματος Ανεμογεννήτριας Μεταβλητών Στροφών με Σύγχρονη Γεννήτρια Μόνιμου Μαγνήτη*, Πάτρα, 2012
- Τσιάμη Α., *Κριτική προσέγγιση ειδικού χωροταξικού για Α.Π.Ε. με έμφαση στα αιολικά πάρκα – Εφαρμογή στο Ν. Ευβοίας*, Αθήνα, 2009
- Γκαρτζώνη Λ., *Ανάλυση, Σχεδιασμός και Διερεύνηση της λειτουργίας μονοφασικού φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο*, Πάτρα, 2010

- Μαυράκος Σ.Α., *Συστήματα Εκμετάλλευσης Θαλάσσιας Ενέργειας*, Αθήνα, Ε.Μ.Π., 2010
- Kerrod R., *Ο Κόσμος του Σήμερα – Πηγές Ενέργειας στο Μέλλον*, Εκδ. Γιάννη Ρίζου, 1992

Από το διαδίκτυο:

- Καναδικό Ινστιτούτο για την Ενέργεια: <http://www.centreforenergy.com>
- <http://www.alternativeenergysourcesinfo.com/>
- <http://www.enet.gr/>
- <http://www.treehugger.com/>
- [www.polyvotis.wordpress.com](http://www.polyvotis.wordpress.com)
- [www.aidengineering.gr](http://www.aidengineering.gr)
- <http://nisyros.igme.gr/nisyros/>
- [www.agroenergy.gr](http://www.agroenergy.gr)
- Solar Energy <http://solarenergy.gr/>
- Ελληνική Βικιπαίδεια <http://el.wikipedia.org/wiki/Πύλη:Κύρια>
- Αγγλική Wikipedia [http://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page)
- Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Καστοριάς <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/>
- Άμεση Δημοκρατία Ελλήνων  
<https://sites.google.com/site/amesidemocratiellenon/home>
- Through the Looking Glass <http://jasonrojas.blogspot.gr/>
- Πύλη Ιάσωνος <http://www.schizas.com/site3/index.php>
- Green Dream – Πράσινη Ενέργεια, Βιώσιμη Ανάπτυξη, Περιβάλλον  
<http://bioenergynews.blogspot.gr/>
- Aquaret <http://www.aquaret.com/>
- Goran Wall Home Page <http://exergy.se/>
- Energia.gr <http://www.energia.gr/>
- 5<sup>ο</sup> Δημοτικό Σχολείο Πύργου <http://5dim-pyrgou.ilei.sch.gr/>
- Buildnet.gr <http://www.buildnet.gr>
- <http://dime2.wordpress.com/>
- Περιβάλλον και Διαχείριση Ενέργειας  
<http://www.allaboutenergy.gr/index.html>



- Energy Press, Δημοσιογραφικό Ενημερωτικό Portal για την Ενέργεια  
<http://www.energypress.gr/>
- Biomass Energy <http://www.biomassenergy.gr/>
- The Bioenergy System Planners Handbook – BISYPLAN  
<http://bisysplan.bioenarea.eu/>
- DOS Energy <http://www.dosenergy.gr/i/>
- Home Gas <http://homegas.gr/>
- Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος <http://portal.tee.gr>