7. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

7.1. Εισαγωγή - Ορισμοί

Ως **ανανεώσιμη πηγή ενέργειας** (ΑΠΕ, renewable energy source-RES) ονομάζεται εκείνη η μορφή ενέργειας η οποία δεν εξαντλείται στο απώτερο ορατό μέλλον της ανθρωπότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σταθερό και αξιόπιστο τρόπο. Οι ορισμοί και η κάλυψη των στατιστικών στοιχείων για τις ΑΠΕ ποικίλλουν μεταξύ χωρών, διαφόρων οργανισμών και συγγραφέων. Για παράδειγμα, οι ΑΠΕ ορίζονται από τον Sorensen (2004) ως «οι ενεργειακές ροές που αντικαθίστανται με τον ίδιο ρυθμό με τον οποίο καταναλώνονται». Στις σημειώσεις αυτές υιοθετούνται οι ορισμοί του *International Energy Association* (IEA), όπου οι ΑΠΕ ταξινομούνται ως εξής:

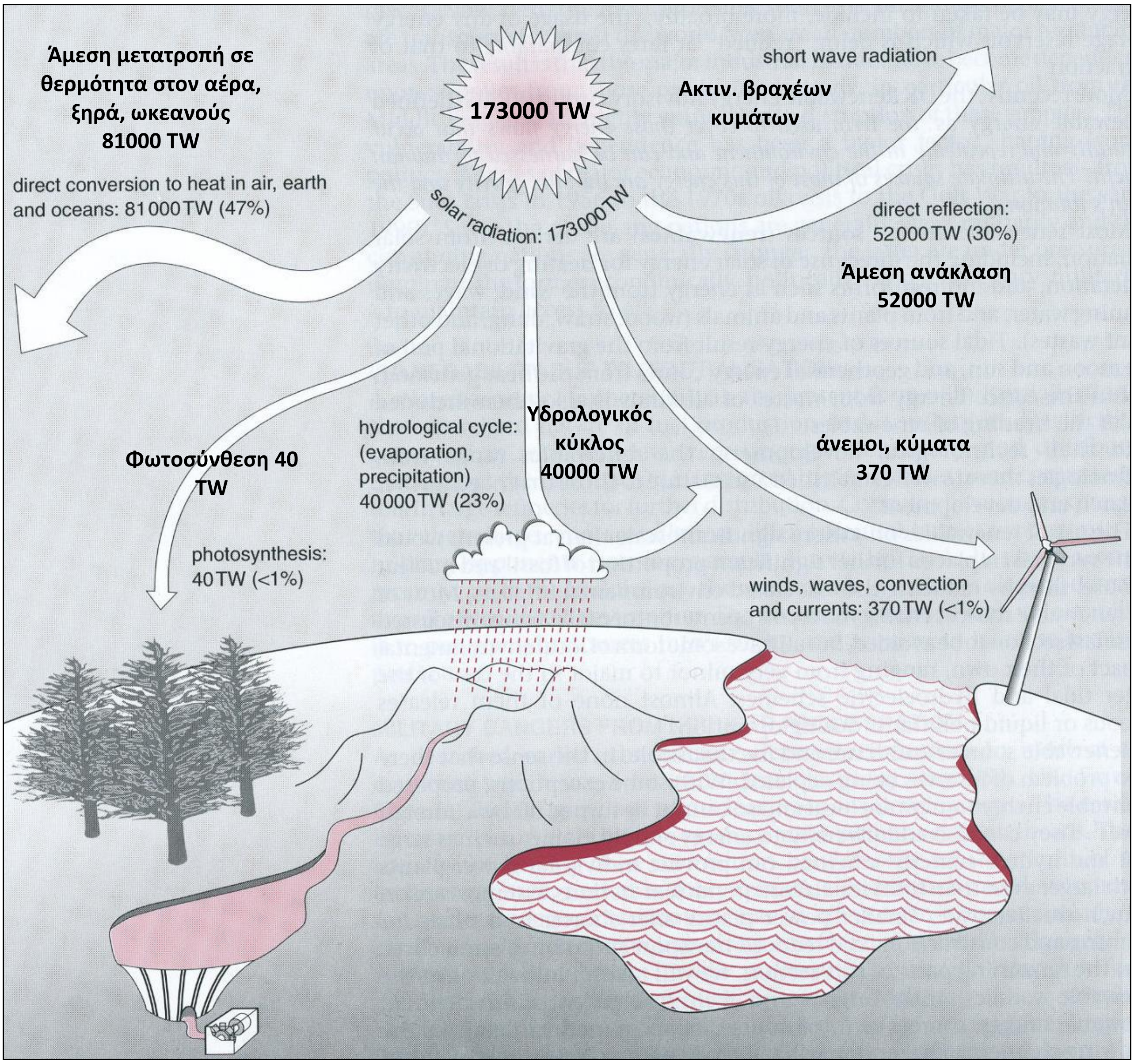
1) *Ηλιακή ενέργεια*
2) *Υδροηλεκτρική ενέργεια ή υδροϊσχύς*
3) *Αιολική ενέργεια*
4) *Καύσιμες ανανεώσιμες πηγές και απορρίμματα* (combustible renewables and waste, CRW), βασικά η βιομάζα, όρος που χρησιμοποιείται στις σημειώσεις.
5) *Γεωθερμία* (και οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας)
6) *Παλιρροϊκή ενέργεια*
7) *Ενέργεια από τα κύματα*
8) *Θερμότητα από τους ωκεανούς*

Συχνά, οι τρεις τελευταίες μορφές ενέργειας καλούνται *ενέργειες από τη θάλασσα*.

Κύρια και απόλυτη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας αποτελεί ο **ήλιος** με χωρητικότητα ενέργειας μεγαλύτερης κατά 160 φορές από την αποθηκευμένη ενέργεια στη γη. Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε ετήσια βάση στη γη είναι 15000 φορές μεγαλύτερη από την ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στον κόσμο. Το Σχήμα 7.1 παρουσιάζει τη σύνοψη των ποσοτήτων της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης και τους τρόπους με τους οποίους αυτή η ενέργεια μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας στην ατμόσφαιρα, τη γη και τη θάλασσα.

Όλες οι ΑΠΕ, με εξαίρεση τη γεωθερμία και την παλιρροϊκή ενέργεια, αποτελούν **έμμεση ηλιακή ενέργεια**, μια και ο κύκλος του νερού, η δύναμη του ανέμου και η ανάπτυξη των φυτών οφείλονται στην ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στη γη. Μια μορφή ενέργειας που συνηθίζεται τελευταία να θεωρείται ως ανανεώσιμη μορφή ενέργειας είναι η **Εξοικονόμηση Ενέργειας**, που περιλαμβάνει την ορθολογική χρήση της ενέργειας και τη αύξηση της απόδοσης των συσκευών και των διεργασιών. Σε αντίθεση, όλα τα ορυκτά καύσιμα (γαιάνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο), αλλά και τα σχάσιμα πυρηνικά υλικά, είναι πεπερασμένα και εξαντλήσιμα. Η ενέργεια από τα ορυκτά καύσιμα συμπεριλαμβάνεται μαζί με την πυρηνική ενέργεια στις λεγόμενες **συμβατικές μορφές ενέργειας**. Σημειώνεται επίσης ότι, μερικές φορές ως ΑΠΕ δηλώνεται οτιδήποτε παράγει ενέργεια διαφορετική από την καύση των ορυκτών καυσίμων.

Συχνά οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας βρίσκονται με τις ονομασίες **εναλλακτικές πηγές ενέργειας** (alternative energy sources), από το γεγονός ότι μπορούν να αντικαταστήσουν τις συμβατικές μορφές ενέργειας), **ήπιες** (benign), επειδή έχουν σχετικά μικρές επιπτώσεις στο περιβάλλον ή μικρότερες από τις επιπτώσεις των συμβατικών πηγών ενέργειας, και **πρόσθετες** (additive), επειδή με το τωρινό επίπεδο τεχνολογίας μόνο συμπληρωματικά μπορούν να συνυπάρχουν με τις συμβατικές μορφές ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Η βασική έννοια της ανανεωσιμότητας των ΑΠΕ είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την έννοια της **αειφόρου ανάπτυξης** και την προσπάθεια της μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Όλο και περισσότερο οι ΑΠΕ συνεισφέρουν στις τρεις κύριες συνιστώσες της αειφόρου ανάπτυξης: στην οικονομία, το περιβάλλον και στην κοινωνική ευημερία. Θα πρέπει, βεβαίως, να τονιστεί ότι καμία μορφή ενέργειας, όσο ανανεώσιμη και «καθαρή» και αν είναι, δεν έχει μηδενικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ συνοψίζονται στον Πίνακα 7.1, ενώ περισσότερες πληροφορίες αναφέρονται στα επιμέρους κεφάλαια.



Σχήμα 7.1. *Μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας στις διάφορες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας. Η παγκόσμια κατανάλωση σε ενέργεια ανέρχεται σε 13 TW (Boyle, 1995).*

__Πίνακας 7.1__. Ορισμένα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των ΑΠΕ.

ΑΠΕ	***Πλεονεκτήματα***	***Μειονεκτήματα***
Ηλιακή ενέργεια	• Τεράστιο δυναμικό • Πάντοτε παρούσα • Δεν ρυπαίνει	• Μικρή απόδοση • Υψηλό αρχικό κόστος • Πρόβλημα αποθήκευσης • Υψηλό κόστος στον καταναλωτή • Διαφέρει με την ώρα και τη θέση
Υδρο-ενέργεια	• Υψηλή απόδοση (>80%) • Ελάχιστη απορριπτόμενη θερμότητα • Το μικρότερο κόστος ανά kWh • Ρυθμίζεται εύκολα • Δυνατότητα μερικής αποθήκευσης	• Αποθέσεις/ιζήματα • Αποτυχία φραγμάτων • Μεταβολή τοπικού κλίματος • Ορισμένα είδη ψαριών σε κίνδυνο
Αιολική	• Ευέλικτη, ακόμη και σε μεμονωμένα σπίτια • Ιδιαίτερη συνεισφορά σε «ανεμοδαρμένες» περιοχές	• Μεταβλητή λειτουργία • Μικρή απόδοση (30%) • Οπτική ρύπανση
Γεωθερμική	• Υψηλή απόδοση • Όχι τόσο μεγάλο πάγιο κόστος • Συνεχής παραγωγή ενέργειας	• Μερικώς ανανεώσιμη • Τοπικός πόρος – τοπική ανάπτυξη • Κάποιες μορφές ρύπανσης
Θερμική ενέργεια ωκεανών	• Μεγάλο δυναμικό • Αξιοποίηση μεγάλης κλίμακας	• Τεχνολογικά προβλήματα • Τεράστιο κόστος • Περιβαλλοντικό κόστος ;
Παλιρροϊκή	• Σταθερή πηγή • Μπορούν να αξιοποιηθούν πολλά συστήματα εκβολών ποταμών	• Κύκλο μικρού καθήκοντος • Αλλαγή της ακτογραμμής • Υψηλό κόστος
Καύση βιομάζας	• Φυσικό προϊόν • Και για συμπαραγωγή και για μεμονωμένη χρήση	• Σωματιδιακή ρύπανση • Περιορισμός στη μεταφορά • Μεγάλη κλίμακα ;
Πυρηνική Σύντηξη	• Πολλά	• Ας το ξεχάσουμε προς το παρόν! • Δεν είμαστε ακόμη τόσο έξυπνοι!

Πολλά είναι τα τεχνικά προβλήματα που θα πρέπει να λυθούν για να μπορέσουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να καλύψουν σημαντικό μέρος των αναγκών μας. Ένα από τα κυριότερα προβλήματα είναι η αποθήκευσή τους, είτε όπως έχουν ή με τη μορφή της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας το 2013 κάλυψαν το 11,2% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνουν οι Η.Π.Α., ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση (των 28 χωρών) το αντίστοιχο ποσοστό ανήλθε στο 15% για την ίδια χρονιά. Στους άμεσους στόχους της ΕΕ είναι να αυξηθεί αυτό το ποσοστό στο 20% το 2020, όπως θα συζητηθεί παρακάτω. Σε παγκόσμιο επίπεδο το μερίδιο των ΑΠΕ στην πρωτογενή παραγωγή ενέργειας το 2012 ήταν 13,2%.

Σήμερα, **βασικός περιορισμός** για την αξιοποίηση και περαιτέρω διείσδυση όλων σχεδόν των ΑΠΕ αποτελεί το **υψηλότερο αρχικό κόστος**, το οποίο σχετίζεται ασφαλώς με το επίπεδο της τεχνολογίας. Βεβαίως, τα τελευταία 15-20 χρόνια το κόστος της ανανεώσιμης ενέργειας μειώθηκε σημαντικά και πολλές ανανεώσιμες τεχνολογίες είναι ανταγωνιστικές ως προς τα ορυκτά καύσιμα, ιδιαίτερα όταν ληφθούν υπόψη και ορισμένες «κρυφές» παράμετροι (περιβάλλον, ασφάλεια, ενεργειακή απεξάρτηση κ.ά.). Οι παράμετροι αυτοί τις περισσότερες φορές είναι δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να εκτιμηθούν και να ποσοτικοποιηθούν επακριβώς. Για παράδειγμα, πως μπορεί να αποτιμηθεί η συμβολή των συμβατικών καυσίμων στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή;

Σήμερα, δεν υπάρχει ΑΠΕ που να μπορεί να καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες σε μεγάλη κλίμακα, με εξαίρεση βέβαια την υδροηλεκτρική ενέργεια. Επίσης, σύνηθες χαρακτηριστικό των ΑΠΕ είναι η δέσμευση μεγάλων εκτάσεων. Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι αναγκαίες εκτάσεις για την παραγωγή ενέργειας από ορισμένες ΑΠΕ.

Πίνακας 7.2. *Χρήση για παραγωγή άμεσης και έμμεσης ηλιακής ενέργειας*

Μορφή ενέργειας	Απαιτούμενα στρέμματα ανά έτος και άτομο
Βιομάζα	70
Υδροϊσχύς	23
Αιολική	4
Φωτοβολταϊκά	1

7.2. Τεχνολογίες Αξιοποίησης των ΑΠΕ

Υπάρχει πληθώρα μεθόδων αξιοποίησης των ΑΠΕ, μερικές από τις οποίες συμμετέχουν ήδη σε σημαντικό βαθμό στις ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας, ιδιαίτερα των αναπτυσσόμενων χωρών. Είναι ενδιαφέρον ότι οι μισές ανάγκες για ενέργεια στην Αφρική καλύπτονται σήμερα από τις ΑΠΕ και κυρίως από τη βιομάζα. Οι κυριότερες εφαρμογές είναι:

Παραγωγή ηλεκτρισμού

Πάμπολλες ανανεώσιμες τεχνολογίες εφαρμόζονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Σήμερα, ηλεκτρική ισχύς παράγεται κυρίως από την υδροϊσχύ, την αιολική ενέργεια και τη γεωθερμία. Επίσης μπορεί να παραχθεί από τη βιομάζα με καύση, τα ηλιακά θερμικά και τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα κύματα και τις παλίρροιες.

Μεταφορές

Οι μεταφορές απαιτούν ενέργεια «υψηλής ποιότητας» και μπορεί να χρησιμοποιηθεί η «πράσινη» ηλεκτρική ενέργεια για την κίνηση ηλεκτρικών αυτοκινήτων και τρένων. Υγρά και αέρια βιοκαύσιμα (βιοαιθανόλη, βιοαέριο, βιοντίζελ), καθώς και το υδρογόνο (το οποίο θα παράγεται όμως από τον λεγόμενο «πράσινο» ηλεκτρισμό) μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στις μεταφορές.

Θερμότητα

Θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας μπορεί να παραχθεί με καύση της βιομάζας και των βιοκαυσίμων καθώς και με συγκεντρωτικά συστήματα ηλιακών συλλεκτών. Χαμηλής θερμοκρασίας θερμότητα μπορεί να παραχθεί από ηλιακούς συλλέκτες, γεωθερμία και καύση απορριμμάτων.

Αναλυτικά, οι υπάρχουσες τεχνολογίες, το είδος των «προϊόντων» που παίρνουμε, καθώς και το επίπεδο ανάπτυξης της τεχνολογίας συνοψίζεται στον Πίνακα 7.3.

Πίνακας 7.3. *Κατηγορίες των τεχνολογιών μετατροπής των ΑΠΕ. Πηγή: UNNDP and World Energy Council, World Energy Assessment, Energy and the Challenge of Sustainability, New York, 2000, p. 221, με μικρές τροποποιήσεις.*

Τεχνολογία	**Ενεργειακό προϊόν**	**Εφαρμογές –επίπεδο ανάπτυξης**
Βιοενέργεια		
Καύση (οικιακός τομέας)	Θερμότητα (μαγείρεμα, θέρμανση)	Ευρεία εφαρμογή, βελτίωση τεχν.
Καύση (βιομηχανικός τομέας)	Θερμότητα διεργασιών, ατμός, ηλεκτρισμός	Ευρεία εφαρμογή, δυναμικό για βελτίωση
Αεριοποίηση (παραγωγή ισχύος)	Ηλεκτρισμός/θερμότητα (ΣΗΘ)	Επιδεικτική φάση
Αεριοποίηση (παραγωγή καυσίμων)	Υδρογ/κες, μεθανόλη, H_2	Φάση ανάπτυξης
Ζύμωση και υδρόλυση	Αιθανόλη	Εμπορική εφαρμογή σε συγκεκριμένες καλλιέργειες, από την ξυλεία υπό ανάπτυξη
Πυρόλυση (παρ. υγρών καυσίμων)	Βιο-έλαια	Πιλοτική φάση, τεχνικοί περιορισμοί
Πυρόλυση (παρ. στερεών καυσίμων)	Ξυλάνθρακας	Ευρεία εφαρμογή
Εξαγωγή (σύνθλιψη κτλ.)	Βιοντίζελ	Εφαρμογή
Αναερόβια χώνεψη	Βιο-αέριο	Εμπορικά εφαρμόσιμη
Αιολική ενέργεια		
Άντληση νερού και φόρτιση μπαταριών	Κίνηση, ισχύς	Μικρές Α/Γ, ευρεία εφαρμογή
Ανεμογεννήτριες στην ξηρά	Ηλεκτρισμός	Εμπορικά ευρεία εφαρμογή
Ανεμογεννήτριες στη θάλασσα	Ηλεκτρισμός	Υπό ανάπτυξη, επίδειξη
Ηλιακή ενέργεια		
Φωτοβολταϊκά	Ηλεκτρισμός	Ευρεία εφαρμογή, σχετικά μεγάλο κόστος, απαιτείται περαιτέρω ανάπτυξη
Ηλεκτρισμός από ηλιακά-θερμικά συστήματα	Ηλεκτρισμός, θερμότητα, ατμός	Έχει επιδειχθεί, απαιτείται περαιτέρω ανάπτυξη
Ηλιακοί συλλέκτες χαμηλής θερμοκρασίας	Θερμότητα (νερού, θέρμανση χώρων, μαγείρεμα, ξήρανση, ψύξη, αφαλάτωση)	Ευρεία εφαρμογή ηλιακών θερμοσίφωνων, ηλιακές κουζίνες και ξηραντήρια
Παθητικά ηλιακά συστήματα	Θέρμανση, εξαερισμός, φωτισμός	Επιδεικτικά έργα και εφαρμογές
Τεχνητή φωτοσύνθεση	H_2 ή καύσιμα πλούσια σε H_2	Βασική και εφαρμοσμένη έρευνα
Υδραυλική ενέργεια		
Υδροστρόβιλος	Ηλεκτρισμός	Εμπορικά ευρεία εφαρμογή, μικρά και μεγάλα συστήματα
Γεωθερμική ενέργεια		
Ατμοστρόβιλος	Ηλεκτρισμός	Εμπορική εφαρμογή
Άμεση χρήση	Θερμότητα (θέρμανση, ξήρανση, αφαλάτωση κτλ.)	Εμπορική εφαρμογή
Αντλίες θερμότητας	Θερμότητα (θερμό νερό& αέρας, ξήρανση κ.α.)	Ευρεία εφαρμογή μικρών μονάδων

7.3. Εκτίμηση των Ανανεώσιμων Πόρων

Η εκτίμηση των ανανεώσιμων πόρων είναι τόσο δύσκολη και αβέβαιη όσο και η εκτίμηση των συμβατικών πόρων. Προσεγγιστικές εκτιμήσεις μπορούν να γίνουν από την ποσότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και του ποσοστού της που μετατρέπεται σε άλλες μορφές. Αυτές οι εκτιμήσεις δίνουν προφανώς το ανώτερο όριο των ΑΠΕ. Το ποσοστό των ΑΠΕ που μπορούν να αξιοποιηθούν με οικονομικό τρόπο είναι ασφαλώς πολύ μικρότερο και κάθε φορά (όπως και με τις συμβατικές μορφές ενέργειας) αυτό αποτελεί συνάρτηση του επιπέδου τεχνολογικής ανάπτυξης.

Υπάρχουν στη βιβλιογραφία πολλές προσπάθειες για την εκτίμηση των διαθέσιμων πόρων των ΑΠΕ. Μια τέτοια πρόσφατη εκτίμηση (από την έκθεση World Energy Assessment 2003) παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.4. Οι ανανεώσιμοι πόροι είναι τεράστιοι και, εάν διαχειριστούν με ορθολογικό τρόπο, πρακτικά ανεξάντλητοι.

Πίνακας 7.4. *Εκτιμήσεις ανανεώσιμων πόρων σε EJ (10^{18} J) ανά έτος*
(πηγή: The World Energy Assessment, UNDP, 2003, p. 148)

Πηγή	***Τρέχουσα χρήση***	***Τεχνικά δυνατό δυναμικό***	***Θεωρητικό δυναμικό***
Ηλιακή	0,1	>1575	3.900.000
Υδροϊσχύς	9	50	147
Αιολική	10 TW	640	6.000
Βιομάζα	0,12	>276	2.900
Γεωθερμική	0,6	5000	140.000.000
Ενέργεια ωκεανών	δ.ε.	δ.ε.	7.400
Σύνολο	56	32 TW years	>144.000.000

δ.ε.: δεν εκτιμήθηκε

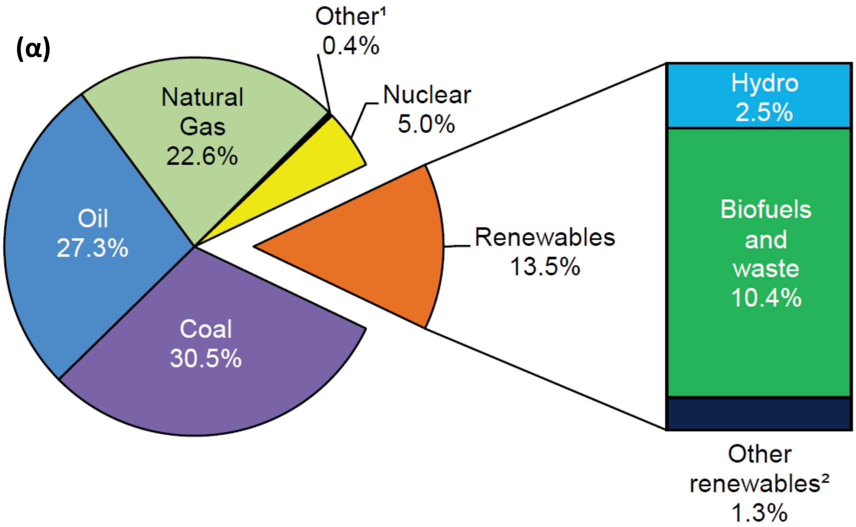
7.4. Η Θέση των ΑΠΕ στην Παγκόσμια Παραγωγή Ενέργειας

Ενδιαφέρον και σημαντική ώθηση στις ΑΠΕ σημειώθηκε αρχικά στη δεκαετία του 70, με «ωθούσα» δύναμη την πετρελαϊκή κρίση του 1973. Μόλις όμως ξεπεράστηκε η κρίση (όπως συνέβη και με την κρίση του 1979-1980), η ώθηση αυτή σταμάτησε, τουλάχιστον για ορισμένες ΑΠΕ. Μέρος αυτής της τελμάτωσης οφειλόταν και στα τεχνολογικά προβλήματα που προέκυψαν. Αλλά από το 1990 και μετά η παρατηρούμενη ώθηση στις ΑΠΕ οφειλόταν κυρίως στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων (Συνάντηση του Ρίο, Πρωτόκολλο του Κιότο κτλ.) και, δευτερευόντως, στην ευαισθητοποίηση μεγάλων τμημάτων της κοινωνίας μας.

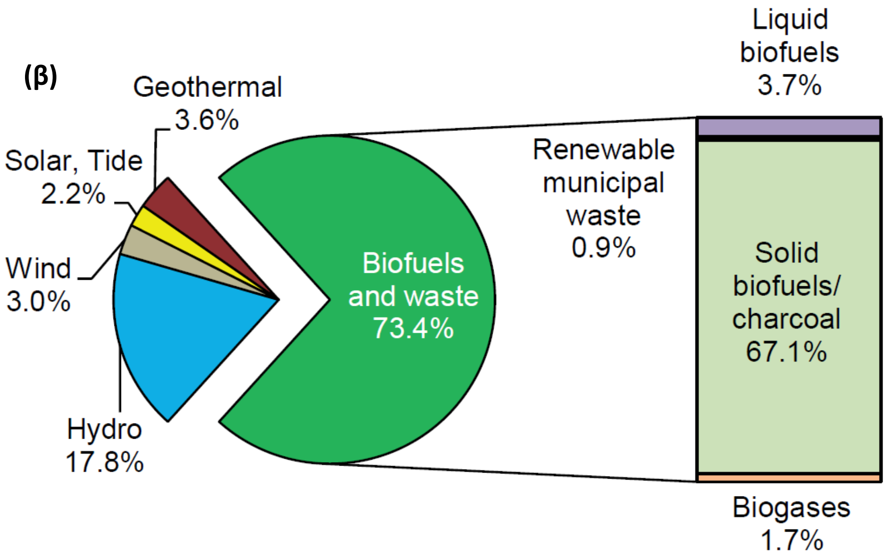
Στο Σχήμα 7.2α παρουσιάζεται τη συμμετοχή των ΑΠΕ (13,5%) στη *συνολική παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας* (total primary energy supply, TRES) για το 2013, σύμφωνα με την International Energy Association. Το ποσοστό αυτό μάλλον μένει σταθερό (με πολύ μικρή τάση ανόδου), όπως φαίνεται και από το Σχημα 1.16. Αν και μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας θα παραχθούν στο μέλλον από τις ΑΠΕ, η συμμετοχή τους αναμένεται σε παγκόσμιο επίπεδο να μείνει σταθερή. Το διάγραμμα τύπου «πίτας» του Σχήματος 7.2β δίνει περαιτέρω εξειδίκευση της συμμετοχής των διαφόρων ΑΠΕ. Κυριαρχούσες πηγές ενέργειας είναι η βιομάζα (10,4% της TRES ή 73% όλων των ΑΠΕ) και η υδροϊσχύς

(2,5% της TRES). Από τις άλλες ΑΠΕ η γεωθερμία συμμετέχει με ποσοστό λίγο μικρότερο του 0,5%, ενώ με λίγο μικρότερα ποσοστά συμμετέχουν η αιολική και της ηλιακή ενέργειας. Σημειώνεται όμως ότι λόγω της ραγδαίας αύξησης της παραγόμενης φωτοβολταϊκής και αιολικής ενέργειας τελευταία, το ποσοστό αυτών των ΑΠΕ αυξάνεται σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Στη βιομάζα, τη συντριπτική πλειοψηφία (με 90% της συνολικής ενέργειας από τη βιομάζα) κατέχουν η στερεή βιομάζα και ο ξυλάνθρακας.

(α)



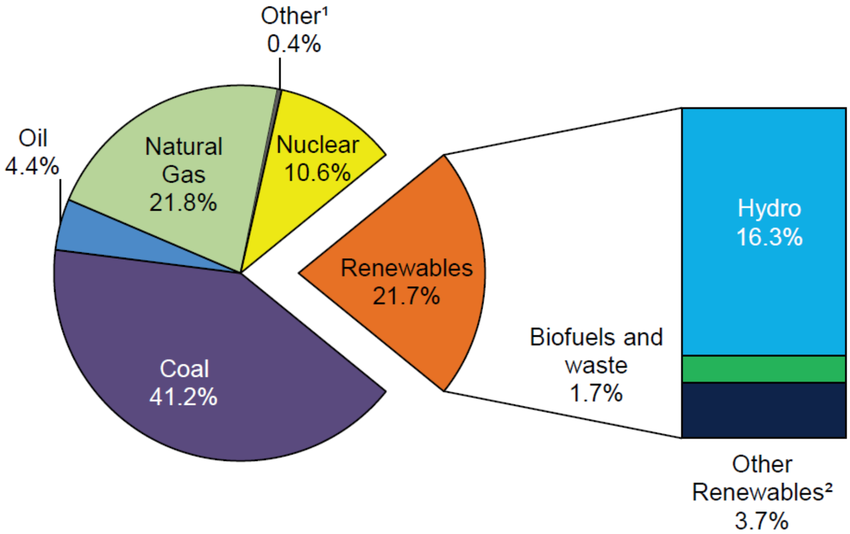
(β)



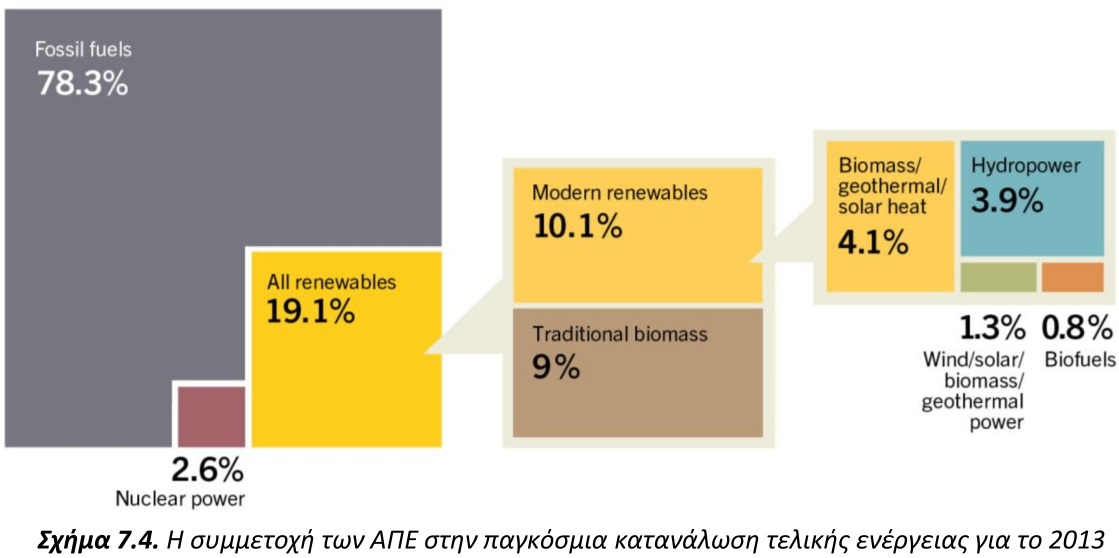
Σχήμα 7.2. *(α) Η συμμετοχή των ΑΠΕ στην παγκόσμια παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας για το 2013 και (β) τα μερίδια των διαφόρων ΑΠΕ (Πηγή: IEA RENEWABLES INFORMATION, 2015 Edition.)*

Το Σχήμα 7.3 παρουσιάζει τη συμμετοχή των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ το στο Σχήμα 7.4 απεικονίζεται η συμμετοχή των ΑΠΕ στην παγκόσμια κατανάλωση τελικής ενέργειας για το 2013.

Οι ΑΠΕ συνεισφέρουν σήμερα κατά 21,7% στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, πίσω από τον γαιάνθρακα (41%), κατέχοντας σχεδόν το ίδιο μερίδιο με το φυσικό αέριο. Ο «πράσινος» ηλεκτρισμός, όπως είναι άλλωστε αναμενόμενο, κυριαρχείται από τα υδροηλεκτρικά συστήματα (76% το 2013) και ακολουθούν η βιομάζα/απορρίμματα (8%) και οι «νέες» ΑΠΕ. Τα μεγάλα υδροηλεκτρικά συστήματα αποτελούν καθιερωμένη τεχνολογία εδώ και δεκαετίες, αλλά η εγκατεστημένη ισχύς τέτοιων συστημάτων δεν αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά για δύο λόγους: το μεγαλύτερο δυναμικό έχει ήδη αξιοποιηθεί και ή ύπαρξη ανησυχιών για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή και λειτουργία των φραγμάτων. Επομένως, η περαιτέρω ανάπτυξη του «πράσινου» ηλεκτρισμού θα πρέπει να προέλθει από τα μικρά υδροηλεκτρικά σχήματα και τις άλλες ΑΠΕ, όπως, ηλιακή και αιολική ενέργεια και βιομάζα.



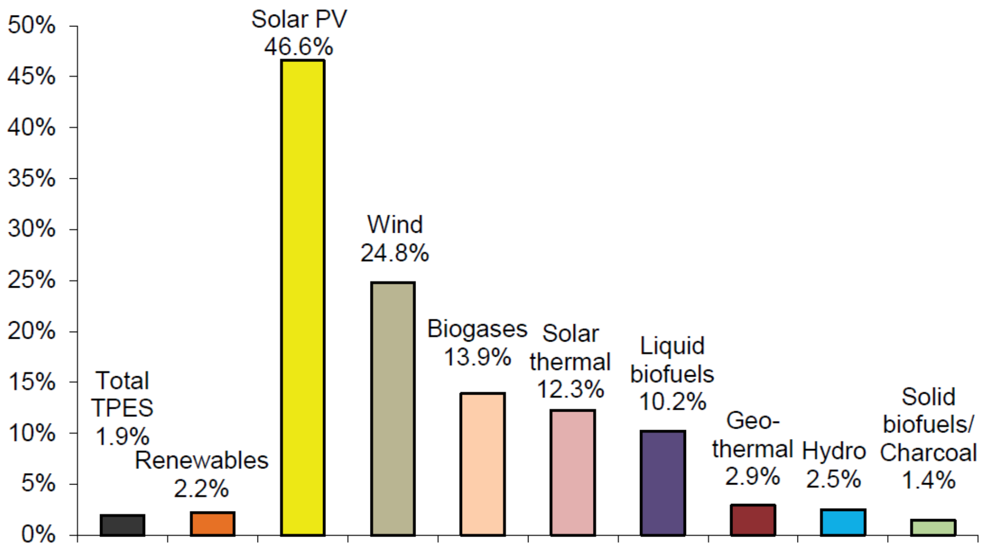
Σχήμα 7.3. *Η συμμετοχή των ΑΠΕ στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το 2013. (Πηγή: IEA RENEWABLES INFORMATION, 2015 Edition.)*



Σχήμα 7.4. *Η συμμετοχή των ΑΠΕ στην παγκόσμια κατανάλωση τελικής ενέργειας για το 2013 (Πηγή: REN21, Renewables 2015 Global Status report.)*

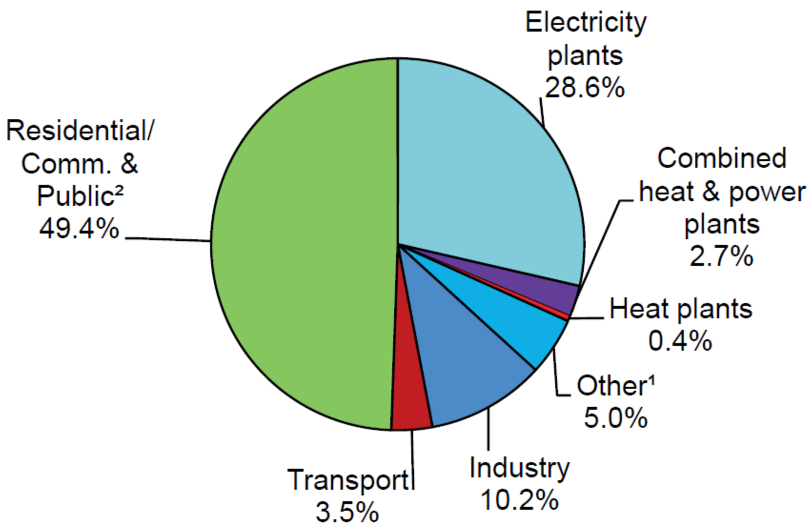
Τέλος, αναφορικά με το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας από τι ΑΠΕ, το κόστος αυτό για την υδροηλεκτρική, τη γεωθερμική και την αιολική ενέργεια είναι συγκρίσιμο και μερικές φορές μικρότερο από το αντίστοιχο κόστος με τη χρήση συμβατικής ενέργειας.

Στο χρονικό διάστημα 1990-2013 η συνολική παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ παρουσίασε μέση αύξηση 2,2%, λίγο μεγαλύτερη από τη μέση αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας (1,9%), όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 7.5. Πρέπει να τονιστεί όμως, ότι οι λιγότερο σημαντικές σήμερα ΑΠΕ (ηλιακή, αιολική, κ.ά.), που συχνά αναφέρονται και ως «νέες» ΑΠΕ, παρουσιάζουν μέση ετήσια αύξηση 46% και η αιολική ενέργεια εμφανίζει εντυπωσιακή αύξηση της τάξης του 25% ετησίως.



Σχήμα 7.4. *Ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης των ΑΠΕ κατά τη χρονική περίοδο 1990-2013. (Πηγή: IEA RENEWABLES INFORMATION, 2015 Edition.)*

Σχετικά με τους τομείς κατανάλωσης της ενέργειας από τις ΑΠΕ (για το 2013), η περισσότερη ενέργεια, σχεδόν 50%, καταναλώνεται σε οικιακές και εμπορικές χρήσεις (θέρμανση χώρων, κλιματισμός, φωτισμός, μαγείρεμα κτλ.), ενώ η παραγωγή ηλεκτρισμού κατέχει το 29% της παραγωγής (Σχήμα 7.5).



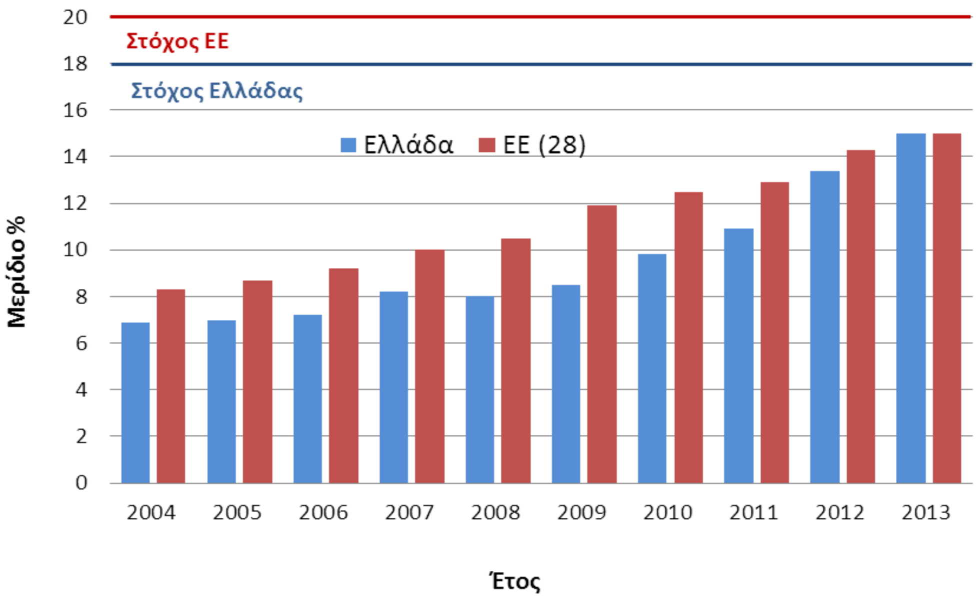
Πίνακας 7.5. *Κατανάλωση ΑΠΕ ανά τομέα δραστηριότητας για το 2013. (Πηγή: IEA RENEWABLES INFORMATION, 2015 Edition.)*

Η θερμότητα αποτελεί σημαντικό τμήμα της συνολικής κατανάλωσης τελικής ενέργειας. Στις αναπτυγμένες χώρες η βιομηχανία είναι ο μεγαλύτερος τελικός χρήστης θερμότητας με μερίδιο περίπου 40% (44% στις χώρες του ΟΟΣΑ). Σε αντίθεση με την ηλεκτρική ενέργεια, η θερμότητα δεν μπορεί να μεταφερθεί αποτελεσματικά σε μεγάλες αποστάσεις. Ως αποτέλεσμα, θα πρέπει να παραχθεί κοντά στο σημείο όπου καταναλώνεται. Μια άλλη πρόκληση για τις ΑΠΕ αποτελούν οι διαφορετικές απαιτήσεις για θερμότητα στους διάφορους τομείς. Έτσι, ενώ για τη θέρμανση κτιρίων απατούνται θερμοκρασίες 40-70°C, σε ορισμένες βιομηχανικές διεργασίες απαιτούνται θερμοκρασίες άνω των 400°C. Πολλές ΑΠΕ μπορούν να καλύψουν τη ζήτησης θερμότητας διακρίνονται για τη θέρμανση χώρων και παραγωγή ζεστού νερού στα κτίρια και στο γεωργικό τομέα. Στην ΕΕ-28, το μερίδιο των ΑΠΕ για θέρμανση και ψύξη ανήλθε στο 16,5% της συνολικής χρήσης ενέργειας, παρουσιάζοντας σημαντική αύξηση από το 9,9% το 2004. Αυτό οφείλεται στην αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ σε ορισμένους βιομηχανικούς τομείς, αλλά και στον κτιριακό τομέα με τη αξιοποίηση της αεροθερμικής και της γεωθερμικής ενέργειας με αντλίες θερμότητας. Σημειώνεται βεβαίως ότι ακόμη και σήμερα η βιομάζα εδώ αποτελεί την κύρια πηγή της παραγόμενης θερμότητας. Η παραγωγή θερμότητας από ΑΠΕ είναι άκρως ανταγωνιστική με τη συμβατική ενέργεια.

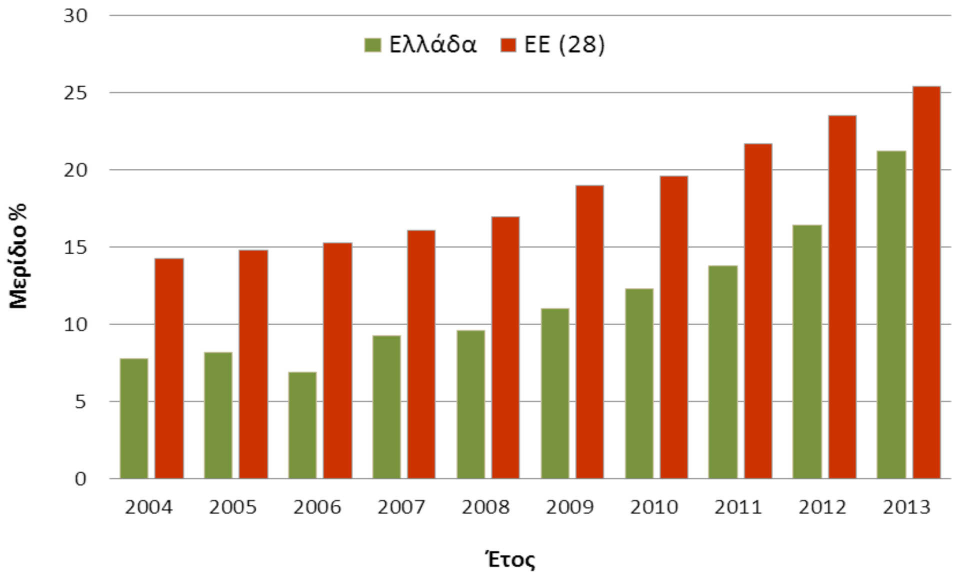
7.5. Οι ΑΠΕ στην Ελλάδα

Στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη Ελλάδα το 2014 (σύνολο 50.380 GWh) το κυρίαρχο ορυκτό καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι ο λιγνίτης (βλ. και Σχήμα 1.28), με τις ΑΠΕ να ακολουθούν με περίπου 22%.

Τα Σχήματα 7.6 και 7.7 παρουσιάζουν την εξέλιξη της συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στις χώρες της Ε.Ε. και στην Ελλάδα για την περίοδο 2004-2013. Στο Σχήμα 7.6 δείχνονται και υποχρεωτικοί στόχοι, 18% για τη χώρα μας και 20% για την ΕΕ-28.



Πίνακας 7.6. *Μερίδιο και στόχοι για το 2020 των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ και στη χώρα μας. (Πηγή: Eurostat.)*



Πίνακας 7.7. *Μερίδιο των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ και στη χώρα μας. (Πηγή: Eurostat.)*

Πίνακας 7.7. *Το επίπεδο ανάπτυξης των ΑΠΕ στην Ελλάδα μεταξύ 1999 και 2014.*

Τεχνολογία	Κατάσταση κατά το 1999	Κατάσταση κατά το 2004	Κατάσταση κατά το 2014
Αιολικά	43 MW	573 MW	1.980 MW
Μεγάλα υδροηλεκτρικά	2.800 MW	3.100 MW	3.173 MW
Μικρά υδροηλεκτρικά	42 MW	70 MW	224 MW
Φωτοβολταϊκά	0,3 MW	4,55 MW	2.596 MW
Ηλιακοί συλλέκτες	2.300.000 m^2	2.830.000 m^2	4.300.000 m^2
Βιομάζα	900.000 ΤΙΠ*	970.000 ΤΙΠ	1.300.000 ΤΙΠ
Γεωθερμία	8.000 ΤΙΠ	11.100 ΤΙΠ	20.000 ΤΙΠ

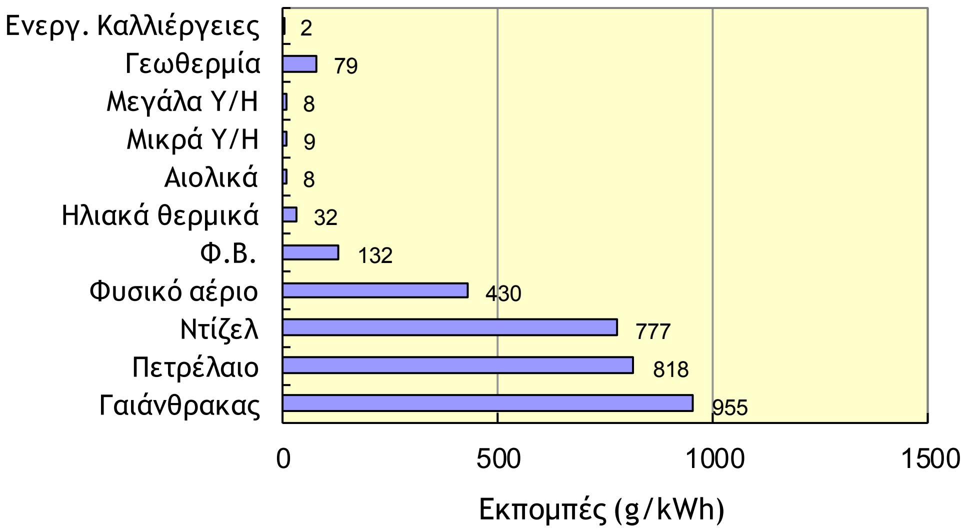
* ορισμός ΤΙΠ στο Παράρτημα Ι

7.6. Περιβαλλοντικά Οφέλη από τις ΑΠΕ

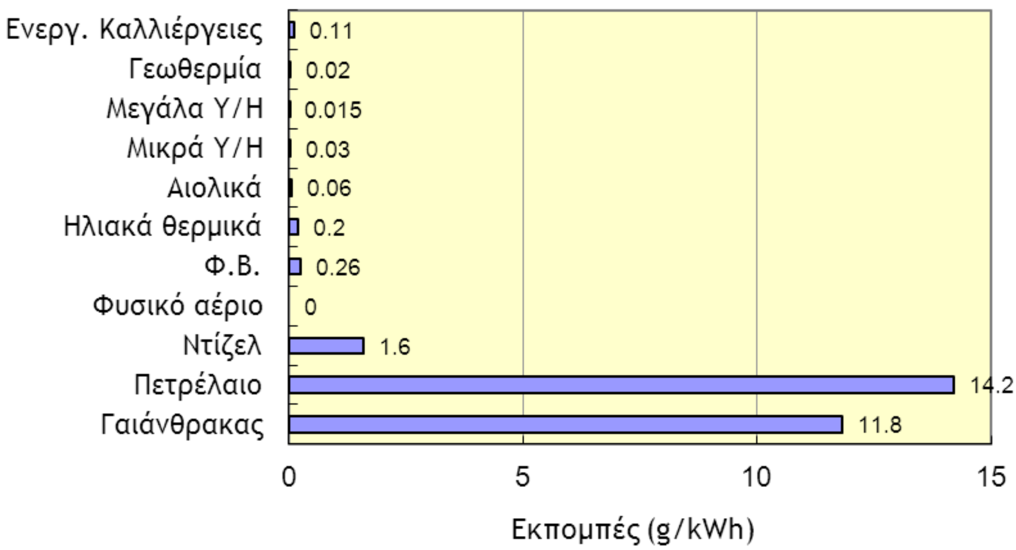
Μείωση των εκπομπών ρύπων

Το κυριότερο περιβαλλοντικό όφελος από την αξιοποίηση των ΑΠΕ αποτελεί η μείωση των εκπομπών στην ατμόσφαιρα από την υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων και, επομένως, μείωση των επιπτώσεων από την κλιματική αλλαγή. Με τα σημερινά δεδομένα, από τη χρήση των ΑΠΕ αποτρέπονται εκπομπές πάνω από 2000 εκατ. τόνοι CO_2 σε ετήσια βάση. Για το 2020, ανάλογα με το σενάριο ανάπτυξης και διείσδυσης των ΑΠΕ, θα μπορούσαν να αποτραπούν εκπομπές της τάξης των 6.000-9.000 τόνων CO_2. Σημαντικές μειώσεις θα παρατηρούνταν και στις εκπομπές των όξινων αερίων.

Περισσότερο ακριβή αποτελέσματα μπορούν να προέλθουν από την ανάλυση κύκλου ζωής. Οι εκπομπές κύκλου ζωής περιλαμβάνουν τις εκπομπές που γίνονται σε κάθε φάση της ζωής μιας μονάδας, δηλ. στην κατασκευή, στη δοκιμαστική λειτουργία, στη διάθεση των αποβλήτων κτλ., και όχι μόνο κατά την παραγωγική φάση. Οι εκπομπές ρυπαντών του κύκλου ζωής των ανανεώσιμων σχημάτων είναι πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες εκπομπές των ορυκτών καυσίμων, όπως παρουσιάζονται στα Σχήματα 7.8 και 7.9. Σε νησιώτικες περιοχές, η υποκατάσταση του πετρελαίου στην ηλεκτροπαραγωγή επίσης μειώνει τον κίνδυνο της δημιουργίας πετρελαιοκηλίδων.



Σχήμα 7.8. *Σύγκριση των μέσων εκπομπών κύκλου ζωής του CO_2 από ΑΠΕ και συμβατικές πηγές ενέργειας. (Πηγή: Benign Energy? The Environmental Implications of Renewables, IEA, 1998).*



Σχήμα 7.9. *Σύγκριση των μέσων εκπομπών κύκλου ζωής του SO_2 από ΑΠΕ και συμβατικές πηγές ενέργειας. (Πηγή: Benign Energy? The Environmental Implications of Renewables, IEA, 1998).*

Βελτιωμένη ποιότητα νερού

Τα υδροηλεκτρικά φράγματα μπορούν να προσφέρουν το νερό για άρδευση και ύδρευση. Μικρά αιολικά και φωτοβολταϊκά σχήματα μπορούν να βοηθήσουν στην άντληση νερού σε απομακρυσμένες περιοχές, ενώ οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να βοηθήσουν στη διάβρωση του εδάφους. Τέλος, ορισμένες τεχνολογίες είτε άμεσα (ηλιακή, γεωθερμία) ή έμμεσα (μετά την παραγωγή της ηλεκτρικής ισχύος) μπορούν να παραγάγουν αφαλατωμένο νερό.

Μείωση των εκπομπών στον τομέα των μεταφορών.

Με τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων όπως της βιο-αιθανόλης ή ης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τις ΑΠΕ.

Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας

Οι διεσπαρμένες ΑΠΕ μειώνουν την ανάγκη για έργα υποδομής μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

Κοινωνικο-οικονομικά οφέλη

• Ενεργειακή απεξάρτηση, διασπορά και εξασφάλιση του ενεργειακού ανεφοδιασμού μιας χώρας, με συνέπεια τη σταθεροποίηση των ενεργειακών τιμών. Οι ΑΠΕ δεν επηρεάζονται από επεισόδια σαν αυτό του «εμπάργκο» πετρελαίου το 1973.

• Διασπορά των θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές. Οι ΑΠΕ έχουν δημιουργήσει τα τελευταία 30 χρόνια περισσότερες από 14 εκατομμύρια θέσεις εργασίας σε όλο τον κόσμο.

• Προώθηση της αποκέντρωσης των ενεργειακών αγορών με το να προσφέρουν οι ΑΠΕ μικρά, γρήγορα αναπτυσσόμενα και ευέλικτα ενεργειακά σχήματα.

• Επιτάχυνση του εξηλεκτρισμού απομακρυσμένων περιοχών ή περιοχών εκτός ηλεκτρικού δικτύου, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες.

• Ανάπτυξη της οικονομίας (κυρίως των αναπτυσσόμενων χωρών) μέσω της ενεργειακής απεξάρτησης.

• Ανάπτυξη της τεχνολογίας, της τεχνογνωσίας και των υπηρεσιών στον τομέα των ΑΠΕ. Παράδειγμα αποτελεί η Δανία, η οποία σήμερα είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας ανεμογεννητριών στον κόσμο, κατέχοντας το 40% της παγκόσμιας παραγωγής τους.

7.7. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από τις ΑΠΕ

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, οι ΑΠΕ δεν είναι άμοιρες περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Βέβαια, οι επιπτώσεις αυτές είναι συνήθως μικρές, τοπικής σημασίας και αντιστρεπτές. Επιπροσθέτως, υπάρχουν ποικίλες τεχνικές ώστε να μετριαστούν οι όποιες επιπτώσεις σε περιβαλλοντικά αποδεκτά επίπεδα. Ο Πίνακας 7.8 παρουσιάζει μία σύνοψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την αξιοποίηση πολλών ΑΠΕ, καθώς και τις δόκιμες πρακτικές για τη μείωση των επιπτώσεων αυτών.

7.8. Προώθηση των ΑΠΕ

Προώθηση των ΑΠΕ μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους. Ο πιο απλός και εύκολος τρόπος είναι η πληροφόρηση του κοινού (αλλά και των πολιτικών) για τις νέες τεχνολογίες και τα βραχυχρόνια ή μακροχρόνια οφέλη από τη διείσδυση των ΑΠΕ. Ένας άλλος, «παράλληλος» τρόπος, είναι η υποστήριξη εκπαιδευτικών προγραμμάτων σε κάθε βαθμίδα της εκπαίδευσης. Γενικά, οι ΑΠΕ μπορούν να προωθηθούν με τα παρακάτω μέτρα.

Καθορισμός στόχων

Οι διάφορες χώρες (ή πολιτείες-περιφέρειες-πόλεις) μπορούν να ενισχύσουν τη θέση των ΑΠΕ με τον καθορισμό συγκεκριμένων στόχων σε σχέση με τη συμμετοχή του συνόλου των ΑΠΕ ή ορισμένων ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Όπως έχει αναφερθεί επανειλημμένως η Ε.Ε. έθεσε ως στόχο τη συμμετοχή των ΑΠΕ σε ποσοστό 20% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης για το 2020. Επίσης, η πολιτεία της Καλιφόρνιας έχει καθορίσει στα μέσα της δεκαετίας του2000 το στόχο να εγκατασταθούν ηλιακά συστήματα σε ένα εκατομμύριο σπίτια (Million Homes Plan) μέχρι το 2017.

Υποστήριξη προγραμμάτων έρευνας και ανάπτυξης

Η υποστήριξη αυτή θα πρέπει να είναι συστηματική, συνεχής και συνεπής και να μην εξαρτάται από τις αυξομειώσεις της τιμής του αργού πετρελαίου. Η υποστήριξη αυτή είναι διαφορετική από την κρατική επιχορήγηση πιλοτικών ή εμπορικών εφαρμογών των ΑΠΕ. Είναι αξιοσημείωτο ότι μερικές φορές μία όχι ιδιαίτερα υψηλή, συστηματική ενίσχυση της έρευνας μπορεί να φέρει σημαντικά αποτελέσματα. Στη δεκαετία του 80 ενισχύθηκαν πολλές μικρές εταιρείες ανεμογεννητριών στη Δανία, ενώ το κρατικό εργαστήριο Risø παρείχε υπηρεσίες ευκολίες δοκιμών και πιστοποίηση των προϊόντων. Οι ενέργειες αυτές έθεσαν τη βάση για τη ταχεία ανάπτυξη της δανέζικης βιομηχανίας παραγωγής ανεμογεννητριών, που σήμερα αποτελεί τη μεγαλύτερη στον κόσμο στον τομέα αυτό.

Νομοθετικές Ρυθμίσεις

Ειδικές νομοθετικές ρυθμίσεις μπορούν να γίνουν (παράλληλα με τις αυστηρές προδιαγραφές για τη θερμομόνωση των κτιρίων) αναφορικά με την υποχρέωση εγκατάστασης ηλιακού συλλέκτη σε κάθε νέα κατοικία (π.χ. Ισραήλ, Κύπρος), τη χωροθέτηση περιοχών για εγκατάσταση αιολικών πάρκων, την υποχρέωση παραγωγής μέρους της ηλεκτρικής ενέργειες από ΑΠΕ κ.ά.

Οικονομικά μέτρα

Τα περισσότερα κράτη βασίζονται στη θέσπιση οικονομικών κινήτρων για τη διείσδυση των ΑΠΕ και των τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας. Μερικά από αυτά τα μέτρα είναι:

- Εγγυημένη ενίσχυση της παραγόμενης ενέργειας (κυρίως ηλεκτρικής) για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (renewables feed-in tariff, REFIT). Η ενίσχυση αυτή θα πρέπει να εξαρτάται από το επίπεδο ανάπτυξης της ανανεώσιμης τεχνολογίας και από το ύψος της αρχικής επένδυσης. Με αυτόν τον τρόπο, η ενίσχυση της φωτοβολταϊκής kWh είναι μεγαλύτερη από την αιολική kWh.
- Επιδότηση του παγίου κόστους της ανανεώσιμης εφαρμογής. Σε ορισμένε χώρες σε αυτό το πρόγραμμα συμμετέχουν και οι εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 7.8. *Σύνοψη των κυριότερων μέτρων για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις ανανεώσιμες τεχνολογίες.*

Τεχνολογία	**Περιβαλ. Επιπτώσεις**	**Μέτρα αντιμετώπισης**
Φωτοβολταϊκά	Εκπομπές/διάθεση τοξικών χημικών κατά τη διάρκεια παρασκευής	Υιοθέτηση των κανονισμών ασφαλείας και της «βέλτιστης πρακτικής»
	Χρήση γης – απώλεια κατοικήσιμων περιοχών	Αποφυγή περιοχών που είναι οικολογικά ευαίσθητες, Τα ΦΒ που προσαρμόζονται στις προσόψεις των κτηρίων προφανώς δεν δεσμεύουν κάποια έκταση
	Απώλεια της «φιλικότητας» του περιβάλλοντος	Τα ΦΒ που προσαρμόζονται στις προσόψεις των κτηρίων έχουν ελάχιστες επιπτώσεις. Θα πρέπει να αποφεύγονται τα μεγάλης κλίμακας σχήματα σε γραφικές περιοχές
	Ανεξέλεγκτη απόθεση των χρησιμοποιημένων μονάδων	Ανακύκλωση των ΦΒ στοιχείων
Ηλιακά -θερμικά	Θερμική και χημική ρύπανση υδάτινων αποδεκτών	Υιοθέτηση των κανονισμών ασφαλείας και της «βέλτιστης πρακτικής»
Ενεργειακές καλλιέργειες	Εκπομπές από την καύση	Το CO_2 από την καύση αποτελεί ανακυκλώσιμη ουσία. Οι άλλες εκπομπές μπορούν να ελεγχθούν με δόκιμες τεχνικές.
	Θόρυβος	Προσεκτική επιλογή τοποθεσίας.
	Αλλαγές στο τοπικό οικοσύστημα	Προσεκτική επιλογή τοποθεσίας – οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορεί να βελτιώσουν τη βιοποικιλότητα εάν καλλιεργηθούν σε αγροτική γη.
Όλες οι τεχνολογίες αποβλήτων	Θόρυβος, οσμές, οπτική παρενόχληση από τις μονάδες, μεταφορά των αποβλήτων	Προσεκτική επιλογή τοποθεσίας
Υγρά αγροτικά απόβλητα & βιοαέριο «χωματερών»	Εκπομπές CH_4	Με την καύση του CH_4 παράγεται CO_2
Καύση απορριμμάτων	Εκπομπές τοξικών ουσιών (βαρέα μέταλλα, διοξίνες κτλ.) και όξινα αέρια από την καύση	Υπάρχουσες τεχνικές δέσμευσης μειώνουν τις εκπομπές σε ασφαλή επίπεδα
Μεγάλα υδροηλεκτρικά	Εκπομπές από τη αποσύνθεση φυτικών υλών στον ταμιευτήρα (CO_2 και CH_4)	Αποφυγή μεγάλων πλημμυρισμένων εκτάσεων, ιδιαίτερα σε τροπικές περιοχές.
	Απώλεια καλλιεργήσιμης γης	Προσεκτική επιλογή περιοχής. Νερό για άρδευση και προστασία από πλημμύρες
	Απώλεια περιοχών με αρχαιολογική και πολιτισμική αξία	Προσεκτική επιλογή περιοχής. Απομάκρυνση μνημείων.
	Μετακίνηση πληθυσμών	Προσεκτική επιλογή περιοχής. Οι επιπτώσεις μπορούν να περιοριστούν με το σωστό σχεδιασμό –αύξηση απασχόλησης.
	Θνησιμότητα ψαριών και παρεμπόδιση της αναπαραγωγής	Χρήση ειδικής «σκάλας» για τα ψάρια και ύπαρξη διόδων
	Αλλαγές στη συγκ. O_2 και στη στρωματοποίηση	Καλός σχεδιασμός, περιοδικό άνοιγμα των θυρίδων ρύθμισης
Μικρά υδροηλεκτρικά	«Οπτική» ρύπανση	Προσεκτική επιλογή τοποθεσίας και δομικών υλικών
	Θνησιμότητα ψαριών και παρεμπόδιση της αναπαραγωγής	Χρήση ειδικής «σκάλας» για τα ψάρια και ύπαρξη διόδων
	Αλλαγή στο τοπικό οικοσύστημα	Διατήρηση ελάχιστης ροής νερού, επαναφορά πανίδας και χλωρίδας
Αιολικά	«Οπτική» ρύπανση	Αποφυγή γραφικών περιοχών. Επιλογή καταλληλότερου μεγέθους και χρώματος της Α/Γ
	Θόρυβος	Προσεκτική επιλογή τοποθεσίας. Χρήση σύγχρονων Α/Γ
Γεωθερμία	Εκπομπές H_2S κατά τη λειτουργία	Πληθώρα τεχνικών δέσμευσης. Μηδενικές εκπομπές στο δυαδικό κύκλο
	Θόρυβος και «οπτική» ρύπανση	Προσεκτική επιλογή τοποθεσίας και υιοθέτηση της «βέλτιστης πρακτικής»
	Ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών νερών	Επεξεργασία απονέρων, επανεισαγωγή ρευστών στον ταμιευτήρα
	Καθίζηση εδάφους	Επανεισαγωγή ρευστών

- Μείωση της άμεσης ή έμμεσης φορολογίας των συστημάτων ΑΠΕ. Για παράδειγμα, μείωση του ΦΠΑ των ηλιακών συλλεκτών και συσκευών ΑΠΕ και αφαίρεση της πάγιας επένδυσης από το φορολογητέο εισόδημα.

- Προφορά δανείων με μηδενικό ή μικρό επιτόκιο για αγορά συστημάτων ΑΠΕ. Παράδειγμα η Ιαπωνία με τα δάνεια μηδενικού επιτοκίου για φωτοβολταϊκές στέγες.

- Αύξηση της τιμής της συμβατικής ενέργειας, ώστε να καλυφθεί μέρος του «εξωτερικού» κόστους και να γίνει περισσότερο ελκυστικό το κόστος της ανανεώσιμης ενέργειας.

7.9 Περιορισμοί στην Ανάπτυξη των ΑΠΕ

Κάθε ΑΠΕ αντιμετωπίζει ειδικούς περιορισμούς, αλλά υπάρχουν και ορισμένοι γενικοί περιορισμοί που αφορούν σε όλες τις ΑΠΕ. Στα αρχικά στάδια ανάπτυξης των ΑΠΕ κυριαρχούσαν τα τεχνικά προβλήματα. Με περισσότερο ώριμες τεχνολογίες οι περιορισμοί μετατοπίστηκαν στην οικονομικότητά τους στην αγορά. Ακόμη και σε αυτές τις ΑΠΕ που μπορούν να ανταγωνιστούν ικανοποιητικά τις συμβατικές μορφές ενέργειας σε οικονομικό επίπεδο (αιολική, γεωθερμία), υπάρχουν περιορισμοί διείσδυσης στην αγορά λόγω πολιτικών, νομοθετικών και άλλων δομών που δεν είναι σχεδιασμένες να ενθαρρύνουν την ανάπτυξη των ΑΠΕ. Στους περιορισμούς εντάσσονται επίσης η έλλειψη εμπειρίας και ευαισθητοποίησης στις νέες τεχνολογίες, ιδιαίτερα από μεγάλους ιδιωτικούς και δημόσιους οργανισμούς (π.χ. ΔΕΗ). Τέλος, υπάρχουν και ορισμένοι κοινωνικοί και περιβαλλοντικοί περιορισμοί (για παράδειγμα η ενδεχόμενη μεταφορά, κατάργηση ή δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, η ανάπτυξη των ΑΠΕ σε τουριστικές περιοχές κτλ.), περιορισμοί που σχετίζονται με την έλλειψη εμπειρίας και τη μη δημόσια αποδοχή των ΑΠΕ.

Το κυριότερο εμπόδιο για περαιτέρω αξιοποίηση των ΑΠΕ είναι η πεποίθηση του κόσμου (και του επιχειρηματικού ασφαλώς) για το κόστος τους. Οι παρακάτω παράγοντες συχνά αναφέρονται για την αργή διείσδυση των ανανεώσιμων τεχνολογιών:

- Η έλλειψη εμπειρίας και οικειότητας προς τις ΑΠΕ από κυβερνητικούς και επιχειρηματικούς ιθύνοντες.
- Η έλλειψη εμπιστοσύνης και θετικής προσέγγισης μεγάλης μερίδας της βιομηχανίας ηλεκτρικής ενέργειας προς τις ΑΠΕ. Η οικονομικότητα των ΑΠΕ δεν είναι εύκολα κατανοητή και όχι άμεσα συγκρίσιμη με τις συμβατικές τεχνολογίες. Ποιο είναι το άμεσο και βραχυπρόθεσμο κέρδος από τις ΑΠΕ για μία εταιρία;
- Το σχετικά χαμηλό κόστος πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από τους μικρούς παραγωγούς [Για τις τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας από παραγωγούς ΑΠΕ στην Ελλάδα δες την ιστοσελίδα της **Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας:** http://www.rae.gr].
- Η υποδομή του ηλεκτρικού δικτύου έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να εξυπηρετεί ουσιαστικά μόνο τις μεγάλες συμβατικές μονάδες.
- Συχνά υπάρχει μεγάλη απόσταση των μονάδων ΑΠΕ από περιοχές με μεγάλη ζήτηση.
- Η μη συνεχής παραγωγή ενέργειας από ορισμένες ΑΠΕ και η ανάγκη αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας.
- Οι αδειοδοτικές διαδικασίες που είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες στη χώρα μας.
- Επιχορήγηση από το κράτος λόγω του μεγάλου επιχειρηματικού κινδύνου. Χωρίς κρατική επιχορήγηση δεν μπορούν να προχωρήσουν οι ΑΠΕ.

- Η μικρή δύναμη του «lobby» της βιομηχανίας των ΑΠΕ στην Ελλάδα ή και διεθνώς (αν υπάρχει).
- Οι ειδικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε τοπικό επίπεδο (π.χ. αισθητική ρύπανση από τις ανεμογεννήτριες) με τις επακόλουθες αντιδράσεις. Υπερεκτίμηση ορισμένων θετικών επιδράσεων.
- Η άγνοια: ο κόσμος δεν αντιλαμβάνεται την ανάγκη για επενδύσεις στις ΑΠΕ.
- Η αβεβαιότητα: θα προχωρήσει η νέα τεχνολογία;
- Η απουσία οικονομικών και θεσμικών κινήτρων.

Τα κυριότερα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την αξιολόγηση έργων ΑΠΕ συνοψίζονται ως εξής:

- Κόστος επένδυσης (Capital Costs)
- Λειτουργικό κόστος (Operating Costs)
- Βαθμός απόδοσης (Efficiency)
- Ανανεωσιμότητα
- Απαιτήσεις σε ενεργειακή αποθήκευση
- Ρύπανση
- Περιβαλλοντικές αλλαγές
- Κόστος για τον καταναλωτή
- Δυνατότητα για μεγάλη κλίμακα
- Ανεξαρτησία μεμονωμένων οικιών
- Απώλειες θέσεων εργασίας
- Δυναμικότητα μονάδας

Στον Πίνακα 7.10 παρουσιάζεται συγκριτικός πίνακας αξιολόγησης των διαφόρων ΑΠΕ.

Μέχρι τώρα μπορούμε να συνοψίσουμε τα εξής:

- Η αιολική ενέργεια (σε συνδυασμό με προηγμένες μπαταρίες) έχει σημαντική δυνατότητα περαιτέρω διείσδυσης, ιδιαίτερα ύστερα από την επιτυχία της σε Δανία, Ισπανία και Γερμανία.
- Τα PV δεν φαίνονται οικονομικά (για μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις) αυτή τη στιγμή. Με επιδότηση όμως της παραγόμενης ενέργειας είναι δυνατή η διείσδυσή της, όπως συμβαίνει με επιτυχία στην Γερμανία. Επίσης οι ηλιακοί συλλέκτες για παραγωγή θερμού νερού έχουν αναπτυχθεί αρκετά σε ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες και καθόλου σε άλλες.
- Η OTEC μπορεί να προσφέρει λύση μεγάλης κλίμακας, αλλά προς το παρόν είναι αντιοικονομική.
- Η αβαθής ή κανονική γεωθερμία (γεωθερμικές αντλίες θερμότητας) έχουν μεγάλο δυναμικό διείσδυσης σε όλες τις περιοχές ανεξαρτήτως της τοπικής γεωθερμικής βαθμίδας.
- Υπάρχουν ουσιαστικά περιορισμένα κίνητρα λόγω των σχετικά χαμηλών τιμών των καυσίμων (ακόμη και ύστερα από τις τελευταίες αυξήσεις). Ίσως η διαδικασία δικαιωμάτων του διοξειδίου του άνθρακα να επιφέρει ορισμένες διαφοροποιήσεις.

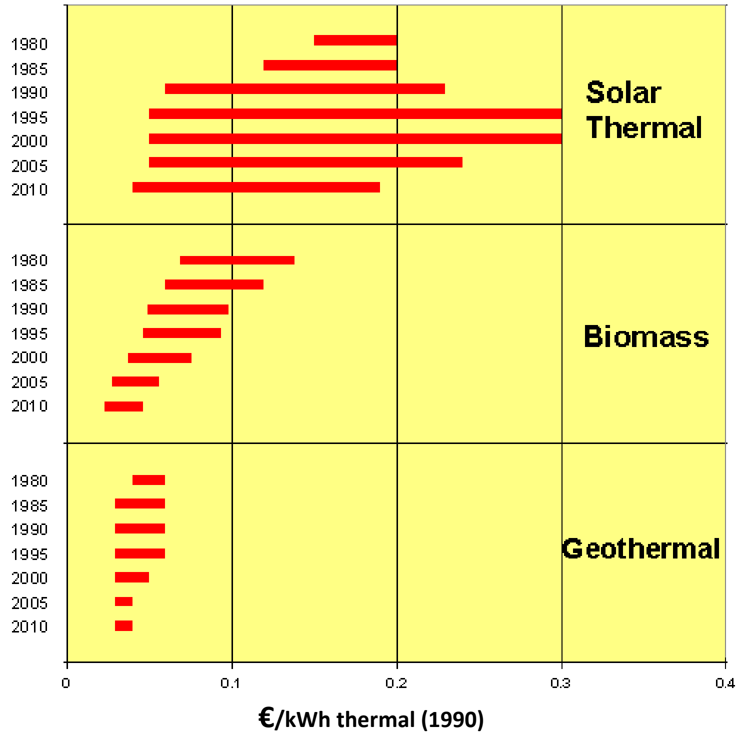
7.10 Ανταγωνιστικό κόστος των ΑΠΕ

Οι επενδύσεις σε ΑΠΕ έχουν συνήθως υψηλό πάγιο κόστος (αν και τα λειτουργικά έξοδα των μονάδων ΑΠΕ είναι μικρά), και το γεγονός αυτό επηρεάζει αρνητικά την αγορά. Αν και το κόστος των

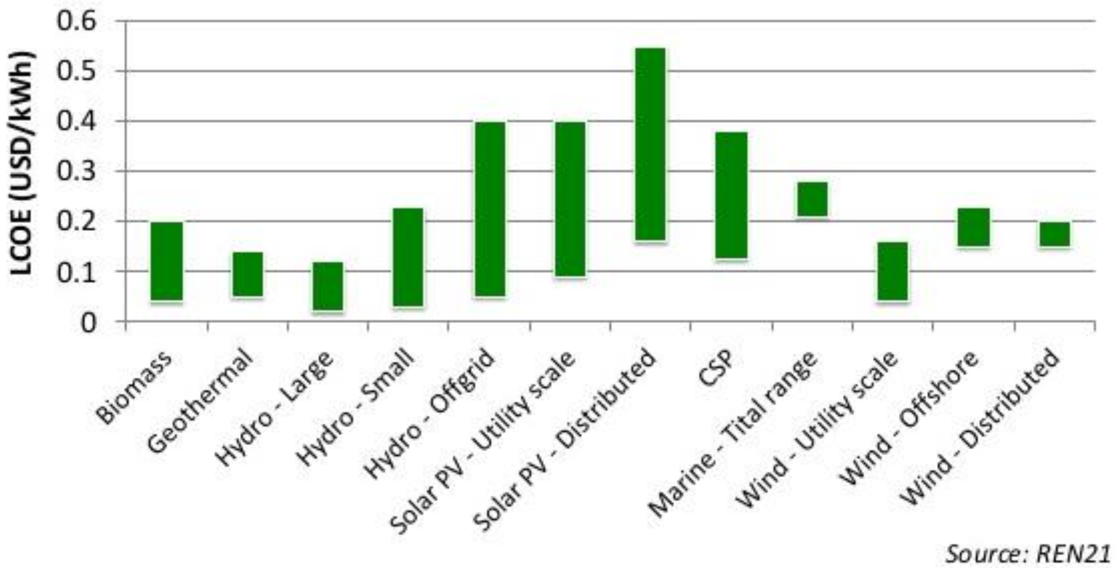
ΑΠΕ έχει μειωθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια, όταν συγκρίνονται με τις συμβατικές επενδύσεις της αγοράς εμφανίζονται μη ανταγωνιστικές. Η προοπτική μείωσης ακόμη περισσότερο του κόστους των ΑΠΕ ποικίλλει από το είδος της ενεργειακής πηγής και της τεχνολογίας. Τα Σχήματα 7.10 και 7.11 δείχνουν το κόστος ανά kWh θερμότητας και ηλεκτρισμού που παράγονται από ορισμένες ΑΠΕ, όπου φαίνεται και η τάση μείωσης της τιμής με το χρόνο. Πάντως, πρέπει να προστεθεί ότι στα συμβατικά ενεργειακά συστήματα δεν λαμβάνεται συνήθως από τους επενδυτές το λεγόμενο «εξωτερικό» κόστος, δηλαδή το κόστος της ρύπανσης του περιβάλλοντος και τις επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, στα ζώα και τα υλικά.

Πίνακας 7.10. *Συγκριτικός πίνακας ΑΠΕ.*

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	Θερμικά ηλιακά	ΦΒ	Υδρο-ηλεκτρικά	Αιολικά	OTEC	Παλίρ-ροϊκά	Γεωθερ-μία	Βιομάζα
Κόστος επένδ.	μεγάλο	μεγάλο	τεράστιο	μέτριο	τεράστιο +	τεράστιο	μικρό	μικρό
Λειτ. κόστος	Ενδιάμεσο	Ενδιάμεσο	αμελητέο	μικρό	άγνωστο	αμελητέο	μικρό	μέτριο
Βαθμός αποδ.	15%	5-10%	80%	42%	7% +	25%	100%	25%
Ανανεωσιμότητα	ναι	ναι	ναι	Ακανό-νιστο	ναι	ναι	όχι-ίσως	ίσως
Αποθήκευση	όχι	ναι	υπάρχει	Οπωσδή-ποτε	όχι	άγνωστο	όχι	όχι
Ρύπανση	όχι	θερμική	όχι	οπτική	όχι	όχι	κάποια	Σωματ., CO
Τελικό κόστος	0,15-0,4 €/KWh	0,15-0,3 €/KWh	~0,06 €/KWh	0,08-0,2 €/KWh	άγνωστο	άγνωστο	0,04-0,07 €/KWh	0,05-0,12 €/KWh
Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	μέτριες	μέτριες	τεράστιες	μικρές	άγνωστες	;	Μικρές/ μετρ	μέτριες
Μεγάλη κλίμακα	Πολύ ακριβό	Ναι (ακριβό)	Αποδε-δειγμένο	Ναι	άγνωστο	Ορισμένες τοποθεσίες	Ορισμένες τοποθεσίες	;
Μικρή κλίμακα	όχι	δύσκολο	;	ΝΑΙ	όχι	όχι	όχι	ναι
Δυναμικότητα	1000 MW	εξαρτάται	2000-6000 MW	Μεταβλητή	Χωρίς όριο	250 MW	1000 MW	50-100 MW
Θέσεις εργασίας	λίγες	λίγες	λίγες	λίγες	αρκετές	μερικές	λίγες	πολλές



Σχήμα 7.10. *Κόστος θερμότητας που παράγεται από ορισμένες ΑΠΕ.*



Σχήμα 7.11. *Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ορισμένες ΑΠΕ.*

8. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

8.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1, ο ήλιος αποτελεί την απόλυτη πηγή ενέργειας για τους περισσότερους ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους. Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξεταστούν συνοπτικά οι διάφορες μέθοδοι και τεχνολογίες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας αποτελεί προϋπόθεση κάθε φορά η κατανόηση του τοπικού κλίματος. Στην ηλιακή ενέργεια περιλαμβάνεται και ο φυσικός φωτισμός.

Ηλιακή ενέργεια είναι η ενέργεια που μεταφέρεται στη γη από τον ήλιο. Υπάρχει άμεση ηλιακή ενέργεια και έμμεση, με τη μορφή της βιομάζας, των ανέμων, της θερμότητας των ωκεανών κτλ. Η ενέργεια του ήλιου οφείλεται στις αντιδράσεις πυρηνικής σύντηξης που γίνονται στη μάζα του ήλιου, μετατρέποντας το υδρογόνο σε ήλιο με ρυθμό 4 εκατ. τόνους το δευτερόλεπτο. Η ανώτερη ατμόσφαιρα της γης δέχεται ετησίως περίπου $1{,}5\text{x}10^{18}$ kWh ηλιακής ακτινοβολίας, ενέργεια που είναι μεγαλύτερη κατά 23.000 φορές από την ενέργεια που καταναλίσκει όλος ο πλανήτης. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια της γης είναι μειωμένη κατά 60% περίπου, αλλά δεν παύει να είναι μια τεράστια ποσότητα ενέργειας. Η επιφάνεια της γης δέχεται άμεση και έμμεση ακτινοβολία (από σύννεφα, σκόνη κτλ), η οποία για την Ευρώπη αντιπροσωπεύει το 50% περίπου της συνολικής ακτινοβολίας.

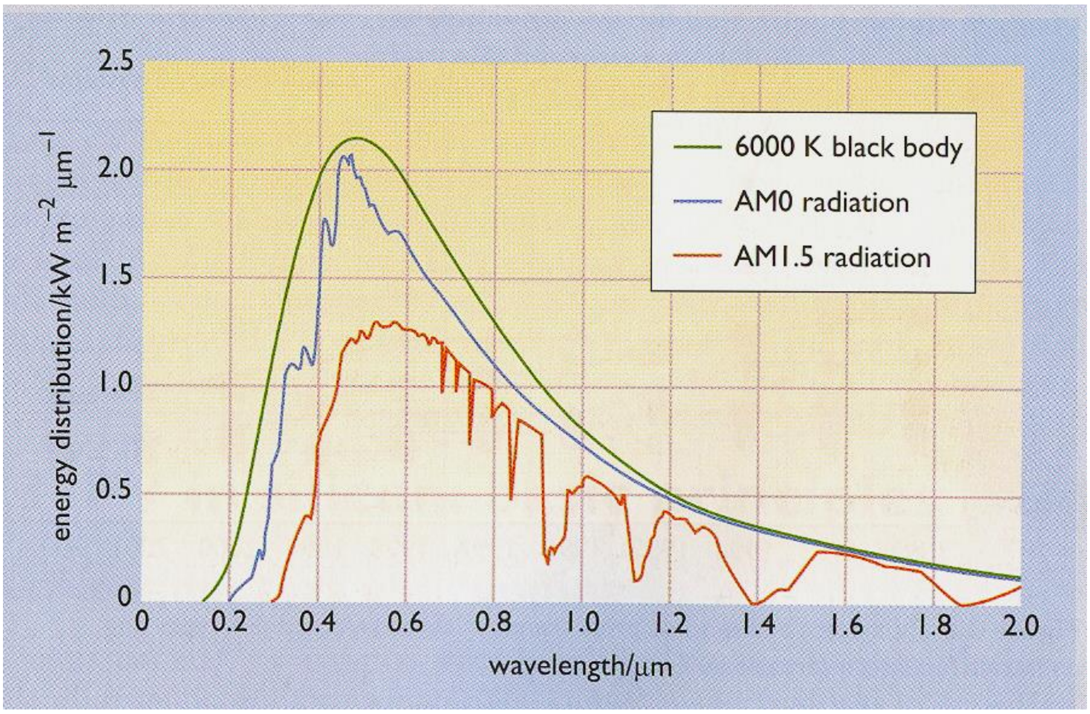
Τα κυριότερα προβλήματα για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας αφορούν στη χρονική διακύμανση της ακτινοβολίας (καρά τη διάρκεια της ημέρας και του έτους), κάτι που κάνει απαραίτητη προϋπόθεση την ύπαρξη αξιόπιστων και αποδοτικών μεθόδων αποθήκευσης της ενέργειας αυτής, και στη μικρή ενεργειακή της πυκνότητα που κάνει αναγκαία τη δέσμευση μεγάλων επιφανειών.

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας με διαφόρους τρόπους χάνεται στα βάθη της ιστορίας. Είναι γνωστή η παράδοση της καταστροφής του ρωμαϊκού στόλου από τα κάτοπτρα του Αρχιμήδη το 212 π.Χ. (Σχήμα 8.1). Το 18^{o} αιώνα ο Lavoisier τελειοποίησε τον ηλιακό φούρνο (φθάνοντας τους 1780ºC). Επίσης, πιστεύεται ότι τον πρώτο ηλιακό συλλέκτη κατασκεύασε το 1767 ο Ελβετός Horace de Saussure.

8.2 Ηλιακή Ακτινοβολία

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στο διάστημα καλείται Ηλιακή Σταθερά (solar constant) και ισούται με 1367±6 W/m^2. Η ακτινοβολία αυτή απαρτίζεται από: ~9% υπεριώδη ακτινοβολία ($\lambda<0{,}4$ μm), ~45% στο ορατό φάσμα ($0{,}4\leq\lambda\leq0{,}7$ μm) και 46% στο υπέρυθρο ($\lambda>0{,}7$ μm). Η κατανομή των ακτινοβολιών διαφορετικού μήκους κύματος που εκπέμπει ο ήλιος καθορίζεται από τη θερμοκρασία του, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.2. Το μήκος κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας κυμαίνεται από $2\text{x}10^{-7}$ μέχρι $4\text{x}10^{-6}$ m. Όσο μικρότερο το μήκος κύματος τόσο μεγαλύτερη η συχνότητα και η ενέργεια (ως eV).

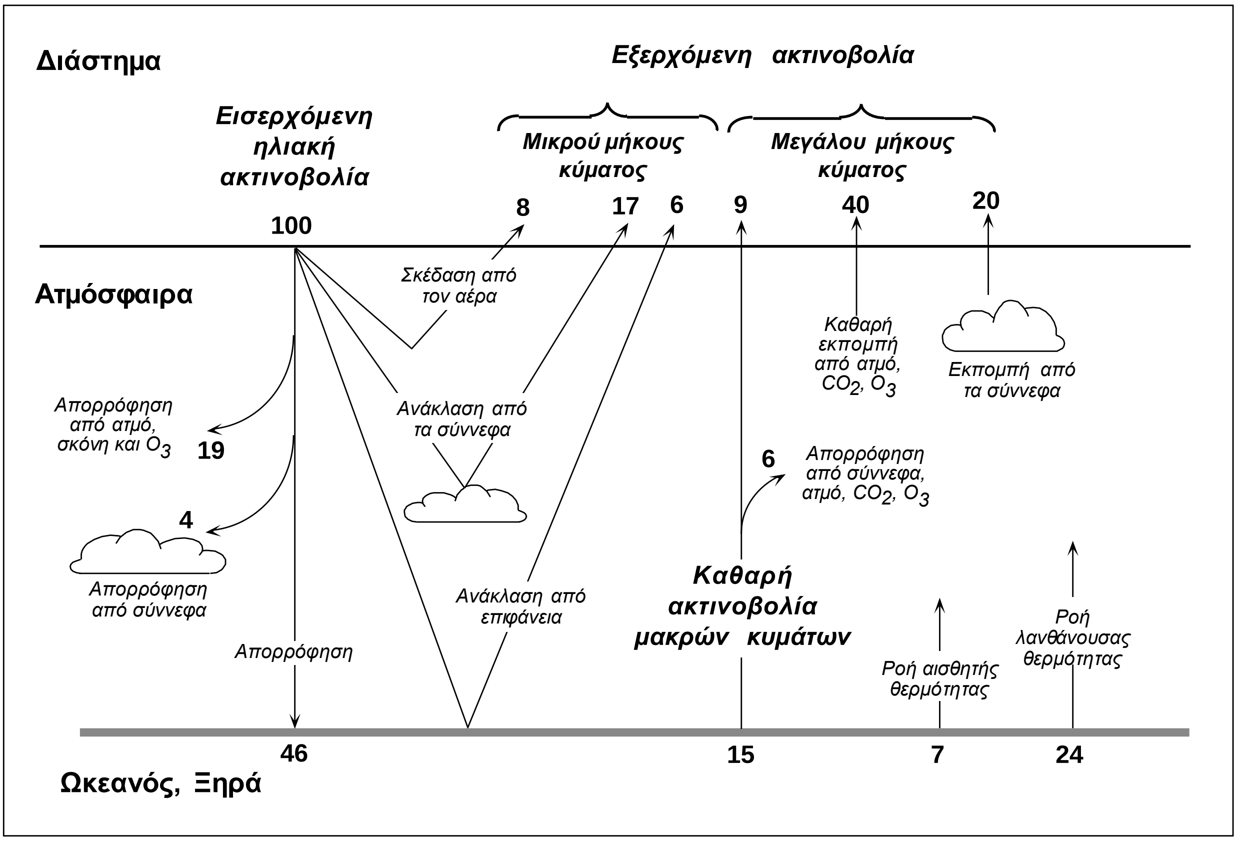
Σχήμα 8.1. *Τοιχογραφία με τον ηλιακό καθρέπτη του Αρχιμήδη του Giulio Parigi (1571-1635), Galleria degli Uffizi, Φλωρεντία.*



Σχήμα 8.2. *Το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στην εκπομπή μέλανος σώματος θερμοκρασίας 6000 K (εξωτερική συνεχής γραμμή). Επίσης παρουσιάζεται η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας που αντιστοιχεί για Μάζα Αέρα 0 (όταν η ακτινοβολία πέφτει κάθετα έξω από την ατμόσφαιρα) και 1,5 (όταν η ακτινοβολία πέφτει με γωνία 48º στην επιφάνεια της γης). Πηγή: Boyle, 2004.*

Μόνο μια απειροελάχιστη ποσότητα της ενέργειας κατακρατείται στη γη (μέσω της διεργασίας της φωτοσύνθεσης από την οποία προήλθαν τα ορυκτά καύσιμα) και πρακτικά ότι ενέργεια εισέρχεται τόση εξέρχεται. Το ενεργειακό ισοζύγιο στην ατμόσφαιρα (μεταξύ της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνει η γη ή απορροφιέται από το σύστημα γη-ατμόσφαιρα και της μέσης ακτινοβολίας που εκπέμπεται πίσω στο διάστημα) παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.3. Τα κυριότερα στοιχεία του διαγράμματος είναι:

Η ηλιακή ακτινοβολία χαμηλού μήκους κύματος προσεγγίζει στο ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας. Τα σύννεφα αντανακλούν το 17% της ακτινοβολίας πίσω στο διάστημα. Εάν αναπτυχθούν περισσότερα σύννεφα ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής (όπως προβλέπουν ορισμένοι επιστήμονες), τότε θα αυξηθεί η ακτινοβολία που αντανακλάται και θα μειωθεί η ακτινοβολία που φτάνει στη γη. Το 8% της ακτινοβολίας σκεδάζεται προς τα πίσω από τα μόρια του αέρα. Το 6% αντανακλάται από την επιφάνεια της γης πίσω στο διάστημα. Έτσι η συνολική *ανακλασιμότητα* (reflectivity, το ποσοστό που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα) της γης είναι 31%. Αυτό είναι γνωστό με τον τεχνικό όρο Albedo (λευκαύγεια). Σημειώνεται ότι από την περίοδο των παγετώνων η λευκαύγεια της γης αυξάνει, καθώς περισσότερη επιφάνεια της γης είναι διαθέσιμη για ανάκλαση της ακτινοβολίας. Αυτό βεβαίως καθιστά εντονότερο το πρόβλημα της παγκόσμιας θέρμανσης.



Σχήμα 8.3. *Το ισοζύγιο της ηλιακής ενέργειας στη γη.*

Το υπόλοιπο 69% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας απορροφιέται από τη γη, την ατμόσφαιρα και τα σύννεφα με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας και την εξάτμιση νερού από ωκεανούς, λίμνες, ποταμούς. Το 19% απορροφιέται κατευθείαν από τη σκόνη, το όζον και τους υδρατμούς στη στρατόσφαιρα. Το στρώμα αυτό της ατμόσφαιρας θερμαίνεται από την απορροφούμενη ακτινοβολία. Η απώλεια του στρατοσφαιρικού όζοντος προκαλεί ψύξη της στρατόσφαιρας με το χρόνο. Το 4% απορροφιέται από τα σύννεφα που βρίσκονται στην τροπόσφαιρα, στο κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας. Το υπόλοιπο 46% του φωτός που προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια της ατμόσφαιρας φτάνει στη γη.

Η γη και η ατμόσφαιρα χάνουν θερμότητα στο διάστημα μόνο με ακτινοβολία (μακρού μήκους κύματος) και αυτή η ακτινοβολία ισούται με το 69% της ηλιακής ακτινοβολίας που δεν ανακλάται ή σκεδάζεται.

Πόση ποσότητα ενέργειας από το ήλιος φτάνει κατά μέσο όρο στην επιφάνεια της γης;

- *Προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στο έδαφος:*
  Μέση τιμή για όλη της γη = 164 W ανά m^2 για 24 ώρες
  Για 8 ώρες ημέρας το καλοκαίρι, 40^o γεωγραφικό πλάτος= 600 W /m^2
  Έτσι για περίοδο 8 ωρών λαμβάνεται η ενέργεια:
  8 ώρες x 600 W ανά m^2 = 4800 Wh ανά m^2 (4,8 kWh ανά m^2)

- *Η ποσότητα αυτή είναι ισοδύναμη περίπου με μισό λίτρο βενζίνης*

- *Για 100 τετραγωνικά μέτρα (τυπική επιφάνεια στέγης) ισοδυναμεί με 50 λίτρα βενζίνης ή 480 kWh.*

Βέβαια για να μετατραπεί αυτή η ενέργεια σε χρήσιμη ενέργεια απαιτείται η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε κάποια άλλη μορφή (θερμότητα, ηλεκτρισμός) με κάποιον συντελεστή απόδοσης.

Η Ελλάδα είναι σχετικά ευνοημένη σε σχέση με την ηλιακή ενέργεια, η οποία μπορεί να υποκαταστήσει ένα σημαντικό ποσοστό των αναγκών σε ενέργεια. Η μέση ημερήσια ενέργεια που παρέχεται από τον ήλιο στην Ελλάδα (ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας) υπερβαίνει σε ορισμένα μέρη και τα 1650 kWh/m^2. Στο χάρτη του Σχήματος 8.4 παρουσιάζεται η κατανομή της μέσης ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη χώρα μας. Από την άλλη μεριά η Βόρεια Ευρώπη δέχεται περίπου 1650 kWh/m^2 σε ετήσια βάση.

Η ένταση (και το φάσμα) της ηλιακής ακτινοβολίας κυμαίνεται σημαντικά και εξαρτάται από την εποχή (π.χ. για την Ελλάδα η μέση τιμή είναι 7 kWh/m2 ανά ημέρα το καλοκαίρι και μόλις 2 kWh/m^2 ανά ημέρα το χειμώνα), τη γεωγραφική θέση και υψόμετρο (αυξάνει ~7 W/m^2 ανά 100 m). Τα Σχήματα 8.5 και 8.6 παρουσιάζουν παραδείγματα διακύμανσης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με την εποχή και τις κλιματικές συνθήκες μιας ημέρας αντίστοιχα.

8.3. Αξιοποίηση της Ηλιακής Ενέργειας

Η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας και τεχνολογίας αποσκοπεί στην εύρεση των βέλτιστων μεθόδων για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και στην ανάπτυξη συστημάτων που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική.

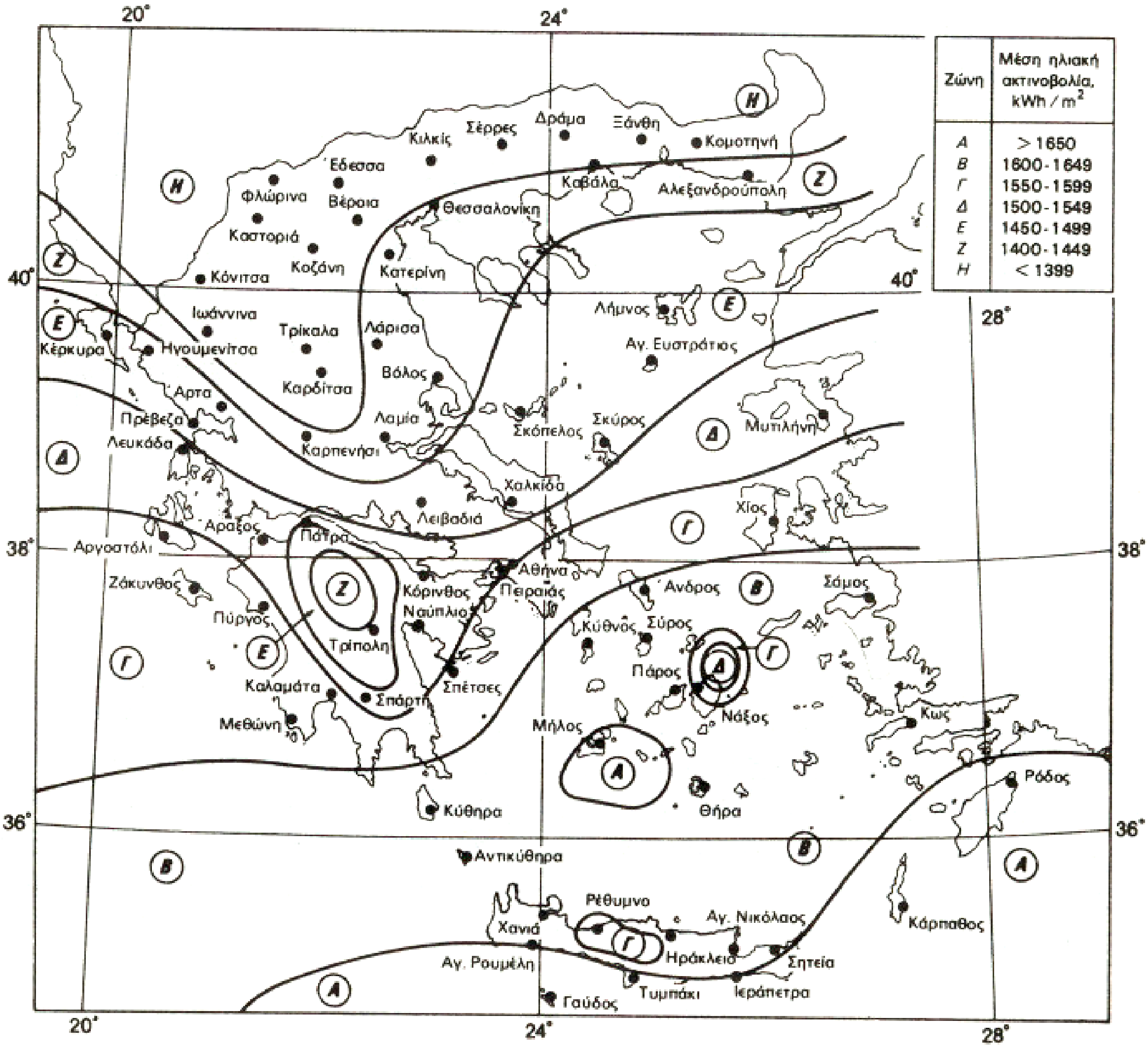
Οι κυριότερες τεχνολογίες για την αξιοποίηση της άμεσης ηλιακής ενέργειας είναι:

(α) Παθητικά συστήματα θέρμανσης-δροσισμού. Ουσιαστικά εννοείται ο σχεδιασμός του κτιρίου και η επιλογή των υλικών για την όσο το δυνατόν μικρότερη ενεργειακή κατανάλωση.

(β) Μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα. Τεχνολογίες για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, παραγωγής αφαλατωμένου νερού, θέρμανσης χώρων και νερού και μαγείρεμα. Χρησιμοποιούνται ηλιακοί συλλέκτες, συγκεντρωτικοί και μη συγκεντρωτικοί.

(γ) Φωτοηλεκτρικές μέθοδοι. Περιλαμβάνουν το φωτοβολταϊκό, το θερμοηλεκτρικό και το θερμιονικό φαινόμενο, με σημαντικότερο το πρώτο.

(δ) Φωτοκαταλυτικές Μέθοδοι. Φωτοκατάλυση (παραγωγή υδρογόνου), φωτοηλεκτροχημική μέθοδος.

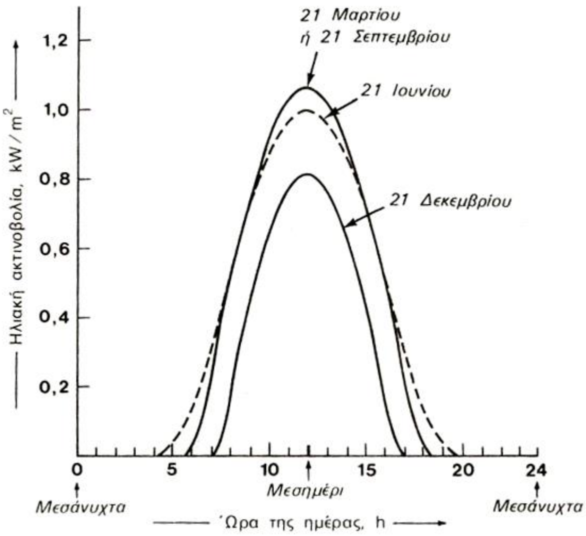


***Σχήμα 8.4** . Κατανομή της μέσης συνολικής ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντιο επίπεδο, στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας (Καγκαράκης, 1992).*

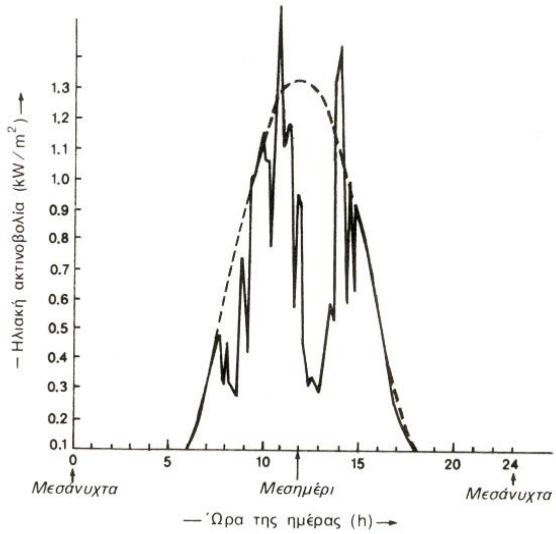
Συχνά στη βιβλιογραφία, και σε αντιδιαστολή με τα παθητικά συστήματα, αναφέρονται και τα λεγόμενα «ενεργητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης ή δροσισμού». Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν μηχανικά μέσα για τη θέρμανση ή το δροσισμό των κτηρίων αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια ή τις φυσικές δεξαμενές ψύξης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι ηλιακοί συλλέκτες θέρμανσης ή παροχής ζεστού νερού χρήσης, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κ.ά.

8.4 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

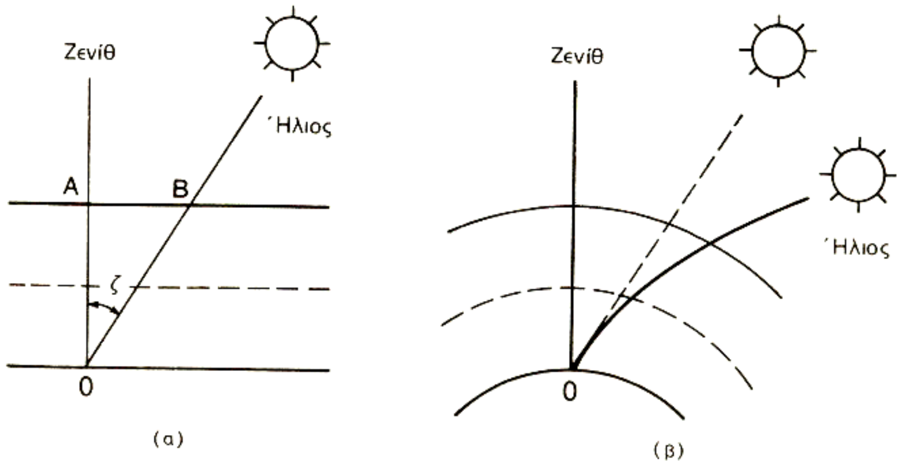
Σκοπός των παθητικών ηλιακών συστημάτων (ΠΗΣ) είναι η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στον κτιριακό τομέα αναφορικά με τη θέρμανση, ψύξη και φωτισμό. Χρησιμοποιούν το ίδιο το κτίριο (υλικά, σχεδιασμός) σε συνδυασμό με την ηλιακή ενέργεια ως ένα σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας. Ορισμένες αρχές των παθητικών ηλιακών συστημάτων ήταν γνωστές από την αρχαιότητα στους περισσότερους λαούς και χρησιμοποιούνταν για αιώνες (Σχήμα 8.8), η αστικοποίηση όμως και ή έλλειψη γης ανέκοψαν την εφαρμογή τους. Οι βασικές κατηγορίες των ΠΗΣ είναι: α) τα άμεσου ηλιακού κέρδους, όπως τα νότια ανοίγματα, β) τα έμμεσου ηλιακού κέρδους όπως ο ηλιακός χώρος - θερμοκήπιο, το ηλιακό αίθριο, ο ηλιακός τοίχος, το θερμοσιφωνικό πέτασμα (παραδείγματα παρουσιάζονται στα Σχήματα 8.9 και 8.10.), και γ) τα συστήματα δροσισμού όπως τα σκίαστρα, η ηλιακή καμινάδα, η υδάτινη οροφή και συστήματα αερισμού.



Σχήμα 8.5. *Παράδειγμα διακύμανσης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στις γεωγραφικές, εποχικές και κλιματικές συνθήκες.*



Σχήμα 8.6. *Παράδειγμα διακύμανσης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια των φωτεινών ωρών μιας ημέρας με μερική νέφωση.*



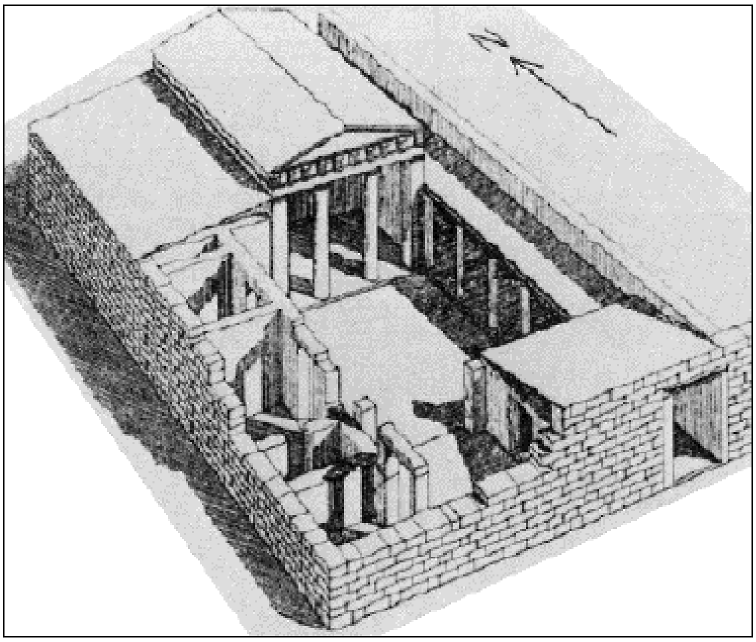
Σχήμα 8.7. *Η εξάρτηση της κλίμακας μάζας αέρα (ΑΜ) από τη θέση του ήλιου: (α) απλουστευμένη απεικόνιση, (β) η πραγματική διαμόρφωση της γήινης ατμόσφαιρας.*

Η πρώτη αναφορά στη χρήση της ηλιακής ενέργειας έγινε τον 4^{ο} π.Χ. αιώνα στην Αρχαία Ελλάδα, πιθανόν ως αποτέλεσμα της έλλειψης καύσιμης ξυλείας. Οι βασικές αρχές του σχεδιασμού των παθητικών συστημάτων (που παρέμειναν αναλλοίωτες μέχρι τα πρόσφατα χρόνια) ήταν:

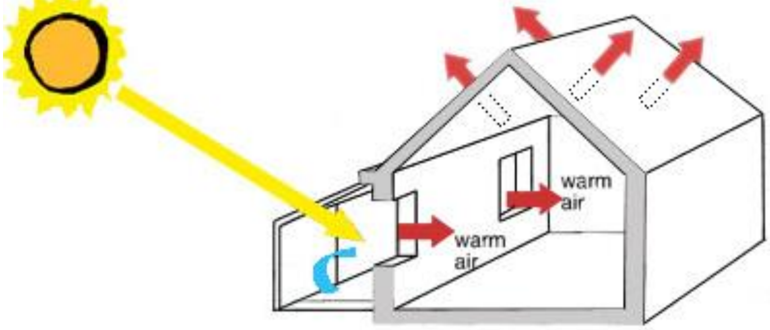
1) Τα κύρια δωμάτια πρέπει να βλέπουν στον νότο

2) Το βόρειο τμήμα του κτηρίου πρέπει να προστατεύεται από τους ψυχρούς βόρειους ανέμους

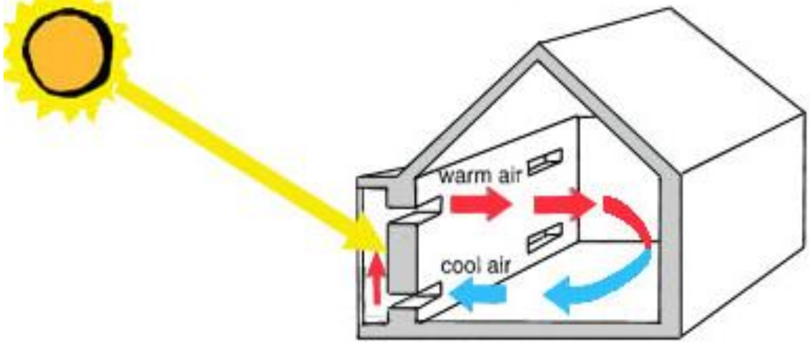
3) Η προσθήκη γείσων στα παράθυρα που βλέπουν στο νότο προσφέρει σκιά κατά τους θερινούς μήνες.



Σχήμα 8.8. *Τα σπίτια στην Αρχαία Ελλάδα παρουσιάζουν αρκετές αρχές των ηλιακών συστημάτων: προσανατολισμό του κτηρίου στον άξονα ανατολή-δύση, παράθυρα στη νότια πλευρά (για να λαμβάνουν το φως και τη θερμότητα από τον ήλιο το χειμώνα), χοντροί τοίχοι στη βόρεια πλευρά. Αναπαράσταση σπιτιού από το βιβλίο των Ken Butti and John Perlin, 'A Golden Thread', 1980, Cheshire Books, Palo Alto, CA.*



Σχήμα 8.9. *Δημιουργία θερμοκηπίου στην νότια πλευρά του σπιτιού. Ο θερμός αέρας μεταφέρει θερμότητα στο σπίτι, η οποία μπορεί να αποθηκευτεί στους τοίχους και ιδιαίτερα στον τοίχο δίπλα στο θερμοκήπιο.*



Σχήμα 8.10. *Ο τοίχος του Trombe (Νότια Γαλλία, αρχές δεκαετία του 50, από το όνομα του εφευρέτη του Felix Trombe). Το θερμοκήπιο αντικαθίσταται από χώρο αέρα πίσω από ένα θερμοσυσσωρευόμενο τοίχο. Ο ήλιος θερμαίνει τον τοίχο, ο τοίχος ακτινοβολεί και ο θερμός αέρας διοχετεύεται στο σπίτι. Στις κρύες νύχτες η φυσική κυκλοφορία του αέρα απομονώνεται.*

8.5. Μετατροπή της Ηλιακής Ακτινοβολίας σε Θερμότητα

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε θερμότητα (και ακολούθως σε χρήσιμο έργο) με τη βοήθεια διαφόρων τύπων συλλεκτών. Η παραγόμενη θερμότητα αξιοποιείται για:

- Παραγωγή θερμού νερού
- Θέρμανση χώρων – τηλεθέρμανση, θέρμανση κολυμβητηρίων
- Χρήση στη χημική βιομηχανία
- Χρήση σε αγροτικές διεργασίες (π.χ. ξήρανση δημητριακών)
- Αφαλάτωση νερού
- Μαγείρεμα
- Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος

Το σύστημα του συλλέκτη αποτελείται από το **τμήμα εστίασης** και το **δέκτη**. Η εστίαση της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται με **συστήματα κατόπτρων και φακών**. Η ακτινοβολία μπορεί να εστιάζεται σε έναν οριζόντιο αγωγό (δέκτη) από το οποίο διέρχεται νερό, σε ένα μοναδικό σημείο (μικρό δοχείο) όπου υπάρχει νερό ή άλλο ρευστό. Για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας του συστήματος συνήθως απαιτείται βοηθητική πηγή ενέργειας (ηλεκτρική ενέργεια, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) και, κυρίως, αποθήκευση της ενέργειας.

8.5.1. Ηλιακοί συλλέκτες - Θερμοσίφωνες

Το 25% περίπου της οικιακής κατανάλωσης σε ενέργεια οφείλεται στην ανάγκη για θερμό νερό. Αυτό το ενεργειακό μερίδιο μπορεί να καλυφθεί σε σημαντικό βαθμό σε χώρες σαν την Ελλάδα με τη χρήση ηλιακών θερμοσιφώνων (ο κοινότερος τύπος οικιακών ηλιακών συλλεκτών), οι οποίοι ουσιαστικά αξιοποιούν κατά κάποιο τρόπο το φαινόμενο του θερμοκηπίου, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 8.11. Το νερό μέσα στον ηλιακό θερμοσίφωνα μπορεί να φτάσει τους 75ºC.

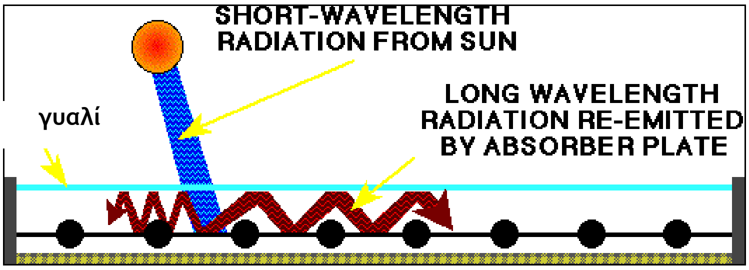
Ένα τυπικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού αποτελείται από μια επίπεδη απορροφητική μεταλλική πλάκα (absorber plate) που περιέχει σειρά αγωγών (συνήθως από χαλκό) μέσα από τους οποίους περνά το προς θέρμανση νερό (Σχήμα 8.12). Η μεταλλική πλάκα περιέχεται μέσα σε ένα αεροστεγές και αδιάβροχο πλαίσιο, καλυμμένο από τη μια μεριά συνήθως από γυαλί ή από διάφανο ανθεκτικό πλαστικό. Η απορροφητική επιφάνεια είναι μαύρη και ματ για να απορροφά το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η σχεδίαση των ηλιακών συλλεκτών γίνεται ανάλογα με τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Απορροφητικές πλάκες: θα πρέπει να απορροφούν το μέγιστο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (να έχουν μεγάλη ειδική απορροφητικότητα) και να εκπέμπουν ελάχιστη υπέρυθρη ακτινοβολία.

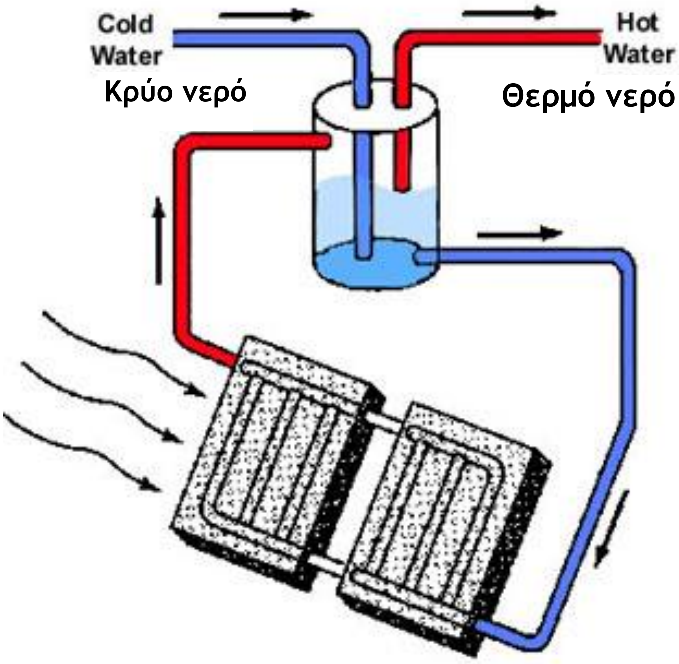
Μέθοδοι κάλυψης της απορροφητικής πλάκας: με χημικό τρόπο (σπρέι), γαλβανιζέ (μαύρο χρώμιο), εναπόθεση με εξάτμιση, κάλυψη με οξείδια.

Αγωγοί νερού ή άλλου υγρού: υπάρχουν διάφορα σχήματα αγωγών νερού όπως φαίνεται και στο Σχήμα 8.13.

Δοχεία αποθήκευσης θερμού νερού: (1) κλειστό δοχείο τοποθετημένο ψηλότερα από το συλλέκτη ώστε το νερό να κυκλοφορεί με φυσική συναγωγή (θερμοσίφωνας), (2) κλειστό δοχείο τοποθετημένο χαμηλότερα από το συλλέκτη με το νερό να κυκλοφορεί με τη βοήθεια αντλίας, (3) επίπεδο δοχείο κάτω από τα κεραμίδια.



Σχήμα 8.11. *Η βασική αρχή του ηλιακού θερμοσίφωνα*



Σχήμα 8.12. *Σχηματικό διάγραμμα ηλιακού θερμοσίφωνα*

Μηχανισμοί απωλειών Θερμότητας σε ηλιακούς συλλέκτες

Κάθε σώμα, και επομένως οποιοσδήποτε ηλιακός συλλέκτης, τείνει να έρθει σε ισορροπία με το περιβάλλον με τις θερμικές διεργασίες της αγωγής (conduction), συναγωγής (convection) και ακτινοβολίας (radiation).

Αγωγή

Μεταφέρεται η θερμότητα από μόριο σε μόριο που βρίσκονται σε επαφή. Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με αγωγή είναι ανάλογος με τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού και τη διαφορά θερμοκρασίας μέσα στο σώμα. Στους ηλιακούς συλλέκτες η μόνωση επιτυγχάνεται με στρώμα αέρα, και, σπανιότερα, με στρώμα κενού. Τελευταία χρησιμοποιούνται διαφανή μονωτικά πλαστικά υλικά με παγιδευμένο αέρα.

Συναγωγή

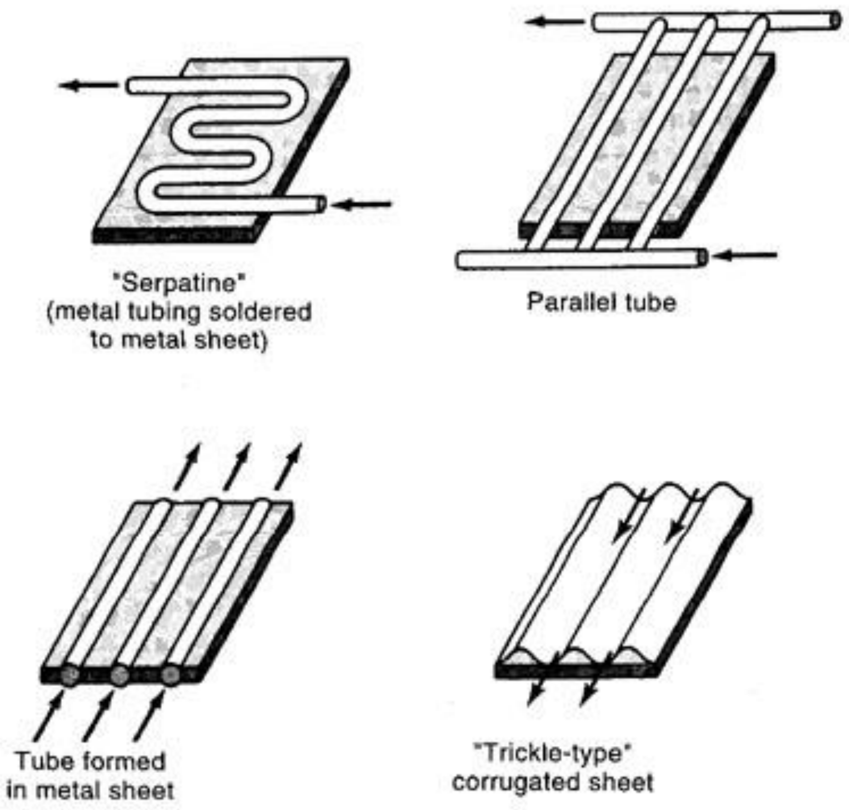
Η ενέργεια μεταφέρεται στα μόρια ενός ρευστού το οποίο μετακινείται και μεταφέρει τη θερμότητα.

Φυσική συναγωγή: θέρμανση, διαστολή αέρα, ανύψωση αέρα, μεταφορά θερμότητας. Συμβαίνει στην εξωτερική πλευρά του παραθύρου, ανάμεσα στη διπλή υάλωση των παραθύρων και εσωτερικά στο δωμάτιο. Μείωση της συναγωγής ανάμεσα στη υάλωση επιτυγχάνεται με τη χρήση βαρύτερου αερίου από τον αέρα (π.χ. CO_2, Ar).

Εξαναγκασμένη συναγωγή: με ανεμιστήρες.

Ακτινοβολία

Η ποσότητα της ακτινοβολίας είναι ανάλογη της θερμοκρασίας (σε βαθμούς K) του σώματος που ακτινοβολεί και του σώματος που προορίζεται η ακτινοβολία και εξαρτάται από την ποιότητα της επιφάνειας (emissivity, συντελεστής εκπομπής).



Σχήμα 8.13. *Σχήματα τοποθέτησης των σωληνώσεων στο συλλέκτη.*

Γενικά στοιχεία για τους ηλιακούς συλλέκτες

(1) **Παραγωγή ζεστού οικιακού νερού**. Απαιτούνται 1-2 m^2 συλλέκτη και 80-100 L αποθηκευτικός χώρος για κάθε μέλος του σπιτιού. (Για σύστημα τηλεθέρμανσης οι παραπάνω απαιτήσεις πέφτουν περίπου στο μισό.)

(2) **Τηλεθέρμανση.** Είναι περισσότερο αποδοτικό σύστημα από το να έχει κάθε οικία ξεχωριστά ηλιακό συλλέκτη, του οποίου η απόδοση ανεβαίνει αν υπάρχει σχήμα εποχιακής αποθήκευσης της θερμότητας (π.χ. μεγάλες υπόγειες δεξαμενές, αποθήκευση σε ταμιευτήρα για το χειμώνα σε συνδυασμό με αντλίες θερμότητας κ.α.)

(3) **Ξήρανση με ηλιακή θερμότητα.** Ο αέρας θερμαίνεται με διάφορα συστήματα, τα οποία εύκολα μπορούν διασυνδεθούν με συστήματα συμβατικών καυσίμων.

(4) **Θέρμανση ανοικτών πισίνων.** Πλεονεκτήματα σε αυτήν την περίπτωση θεωρούνται ότι η ηλιακή

ακτινοβολία είναι συνήθως διαθέσιμη κατά την κολυμβητική περίοδο (Μάιος-Σεπτέμβριος), ότι η θερμοκρασία που πρέπει να θερμανθεί το νερό είναι σχετικά μικρή, 28ºC (σε αντίθεση με τους 45ºC που απαιτούνται για θέρμανση χώρων) και ότι δεν υπάρχει ανάγκη για αποθηκευτικούς χώρους, μια που ο μεγάλος όγκος του νερού είναι ο ίδιος χώρος αποθήκευσης θερμότητας. Το δίκτυο του θερμού νερού μπορεί να είναι μοναδική διαδρομής του νερού ή με διπλή διαδρομή. Προσεγγιστικά για τις περισσότερες χώρες στην Ευρώπη απαιτείται επιφάνεια συλλεκτών περίπου με το ίδιο εμβαδόν με την επιφάνεια της πισίνας, ενώ για την Ελλάδα απαιτείται αρκετά μικρότερη επιφάνεια. Η εμπειρία έχει δείξει ότι δεν χρησιμοποιείται βοηθητική θέρμανση, με την προϋπόθεση ότι η πισίνα σκεπάζεται ύστερα από τη χρήση.

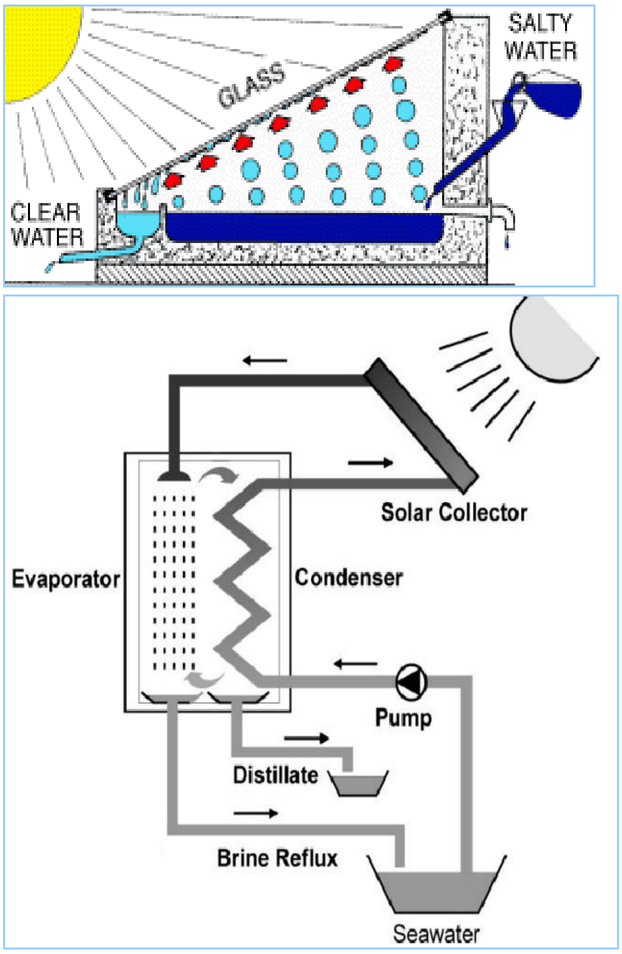
(5) **Ηλιακοί αποστακτήρες για αφαλάτωση νερού**. Η άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας στην αφαλάτωση νερού αποτελεί πολλά υποσχόμενη μέθοδο για τη μείωση του λειτουργικού κόστους των μονάδων αφαλάτωσης με απόσταξη, ιδιαίτερα σε άνυδρες περιοχές με σημαντική ηλιακή ακτινοβολία. Τα συστήματα αυτά έχουν υψηλό κόστος συντήρησης και μεγάλη απαίτηση σε νερό (απαιτούνται 250 m^3 νερό για την παραγωγή 1 m^3 γλυκού νερού), με αποτέλεσμα να είναι υψηλό το κόστος άντλησης. Στην ηλιακή αφαλάτωση (ηλιακός αποστακτήρας) η ηλιακή ακτινοβολία απορροφιέται από μια μαύρη πλάκα που καλύπτεται με αλμυρό ή υφάλμυρο νερό και από ένα διαφανές κάλυμμα. Οι ατμοί συμπυκνώνονται στο (ψυχρότερο) κάλυμμα και συλλέγονται με ειδικούς αγωγούς ως φρέσκο νερό. Υπάρχουν βεβαία αρκετοί διαφορετικοί σχεδιασμοί ηλιακοί αποστακτήρες (Σχήμα 8.14). Σε μεγάλη κλίμακα κατασκευάστηκαν για πρώτη φορά στη Χιλή (1872) με έκταση 4460 m^2. Η εγκατάσταση λειτούργησε για 40 χρόνια. Μικροί ηλιακοί αποστακτήρες λειτουργούν σε πολλά μέρη στον πλανήτη μας: Αλγερία, Τυνησία, Αυστραλία.

(6) **Ηλιακοί φούρνοι.** Υπάρχουν αρκετές διατάξεις για μαγείρεμα με τον ήλιο, με την απλούστερη να είναι ένα φορητό μεταλλικό κουτί με την επάνω πλευρά από γυαλί και στο καπάκι έχει προσκολληθεί κατάλληλος(-οι) καθρέπτης(-ες) (Σχήμα 8.15). Η θερμοκρασία σε έναν τέτοιο φούρνο μπορεί να φτάσει του 200°C.

Ιστορία και Αγορά των Ηλιακών Συλλεκτών

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας όπως τον ξέρουμε σήμερα εφευρέθηκε στα πρώτα χρόνια του 20ου αιώνα από τον W.J. Bailey στην Καλιφόρνια (του απονεμήθηκε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1907). Περισσότερα από 4000 τέτοια συστήματα πουλήθηκαν στην Καλιφόρνια μέχρι το 1920, εποχή που εισήλθε στην ενεργειακή αγορά το «φθηνό» και εύχρηστο φυσικό αέριο. Αντίστοιχη είναι και η ιστορία τους στην Φλόριντα, όπου μέχρι το 1950 είχαν εγκατασταθεί εκεί περισσότεροι από 60000 ηλιακοί θερμοσίφωνες. Το ενδιαφέρον για αυτούς τους συλλέκτες επανήλθε στη δεκαετία του 1970, μετά τις δύο ενεργειακές χρήσεις. Η παραγωγή ηλιακών συλλεκτών για θερμό νερό ξεκίνησε και στην Ελλάδα μετά την ενεργειακή κρίση του 1973 και μέχρι το 1980 είχε σημειωθεί σημαντική πρόοδος.

Η Ελλάδα κατέχει σήμερα την τρίτη θέση στην Ευρωπαϊκή Ένωση (των 27) σε σχέση με τον πληθυσμό της σε εγκαταστάσεις ηλιακών θερμοσιφώνων (με ~320 m^2/1000 κατοίκους για το 2007 ή 3.570.000 m2, Σχήμα 8.16) και έχει αναπτυχθεί αξιόλογη εγχώρια τεχνολογία στο θέμα. Την πρώτη θέση (στην Ε.Ε. και τον κόσμο) κατέχει η Κύπρος με 760 m2/1000 κατοίκους. Σημαντικό ποσοστό (γύρω στο 40%) από τους ηλιακούς συλλέκτες που κατασκευάζονται στη χώρα μας εξάγονται στο εξωτερικό. Ωστόσο, η χρήση συλλεκτών στη χώρα μας σε μη οικιακές εφαρμογές είναι ιδιαίτερα περιορισμένη (π.χ. εγκατάσταση για προθέρμανση νερού διεργασιών στην ΜΕΒΓΑΛ).



Σχήμα 8.14. *Διατάξεις ηλιακής αφαλάτωσης.*

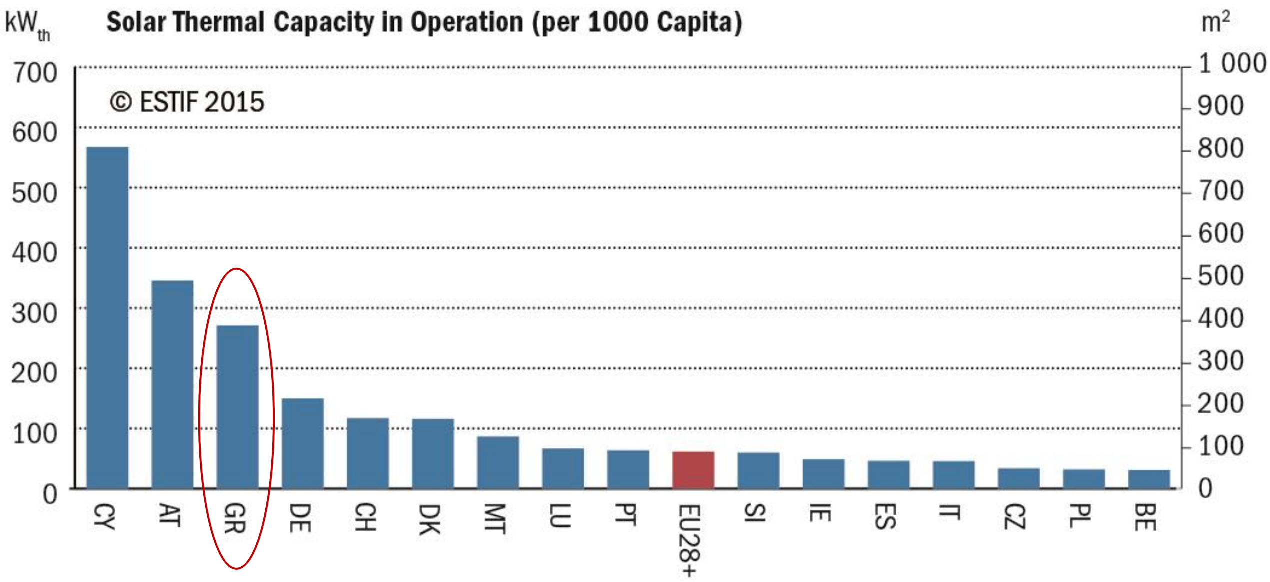
Σχήμα 8.15. *Ηλιακή κουζίνα.*

Η πορεία της εγκατάστασης ηλιακών συλλεκτών στην Ε.Ε. των 28 (συν την Ελβετία) απεικονίζεται στο Σχήμα 8.17. Το 2015, από τα συνολικά 45.486.207 m^2 των συστημάτων τα 17.687.000 m^2 είναι εγκατεστημένα στη Γερμανία, τα 4.286.300 στην Ελλάδα και τα 4.225.401 m^2 στην Αυστρία.

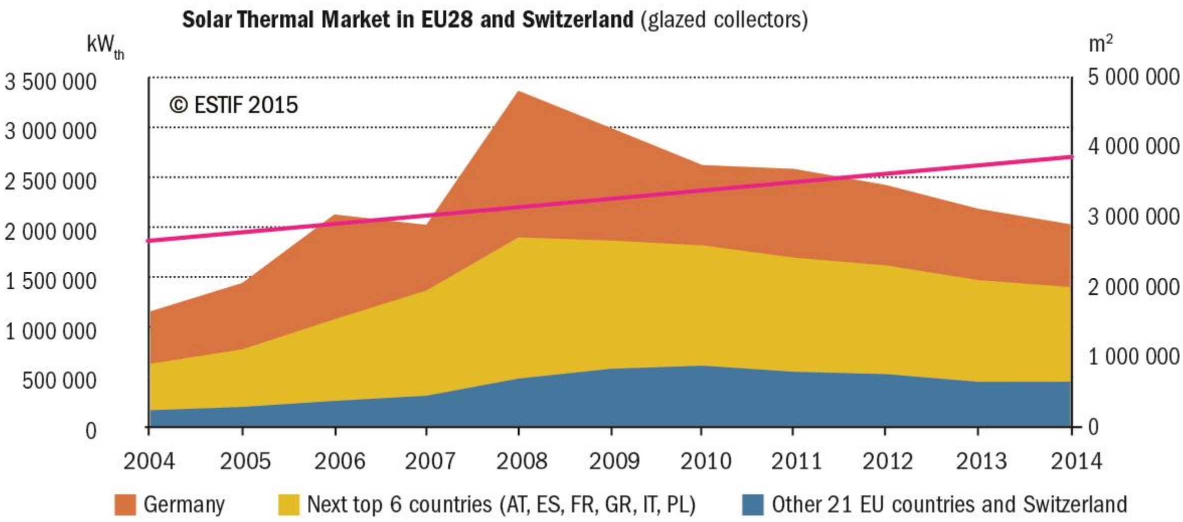
Σε παγκόσμια επίπεδο, η Κίνα είναι σήμερα είναι η μεγάλη δύναμη στην κατασκευή και εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών. Έτσι, το 70% της επιφάνειας των συλλεκτών που είναι εγκατεστημένοι το 2015 βρίσκεται στην Κίνα, το 10,3% στην Ευρώπη, το 1% στην Ιαπωνία, το 6,2% σε Τουρκία και το 1% στο Ισραήλ. Η προώθηση των ηλιακών συλλεκτών μπορεί να γίνει μόνο με την ενημέρωση και την ευαισθητοποίηση των πολιτών και την ύπαρξη ισχυρών κινήτρων από το κράτος ή τις εταιρείες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, σε ορισμένες χώρες όπως στην Κύπρο και στο Ισραήλ, η τοποθέτηση ηλιακού συλλέκτη είναι υποχρεωτική στα καινούρια κτίρια.

8.5.2. Ηλιακά Θερμικά Ηλεκτρικά Συστήματα (ή Συστήματα υψηλών θερμοκρασιών)

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος έχουν ιστορία περισσότερη των 100 ετών και ανάγονται στις προσπάθειες του Γάλλου μαθηματικού Augustin Mouchot στη δεκαετία του 1870. Γενικά, απαιτούν τη συγκέντρωση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο συλλέκτη. Τρία είναι τα κυριότερα θερμικά ηλιακά συστήματα:



Σχήμα 8.16. *Επιφάνεια συλλεκτών και εγκατεστημένη ισχύς ανά 1000 κατοίκους στις 25 χώρες της Ε.Ε. και την Ελβετία (Πηγή: European Solar Thermal Industry Federation, www.estif.org, 2008).*



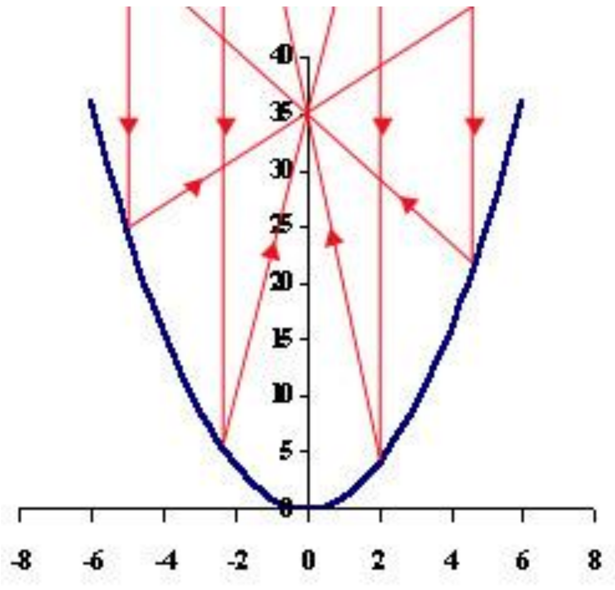
Σχήμα 8.17. *Η ετήσια ανάπτυξη των ηλιακών συλλεκτών στην Ε.Ε. (των 28) κατά τα τελευταία 10 χρόνια.(Πηγή: European Solar Thermal Industry Federation, www.estif.org, 2015)*

1) Τα συστήματα παραβολικής «σκάφης» (Parabolic Trough)
2) Τα συστήματα παραβολικού «πιάτου» (Parabolic Dish)
3) Οι κεντρικοί πύργοι (Power Towers)

Γιατί παραβολή; Ειδική καμπύλη που περιγράφεται από τη σχέση:

$$y = Ax^2 + Bx + C$$

και έχει ένα εστιακό σημείο στο οποίο ανακλάται (εστιάζεται) η ακτινοβολία (Σχήμα 8.18).



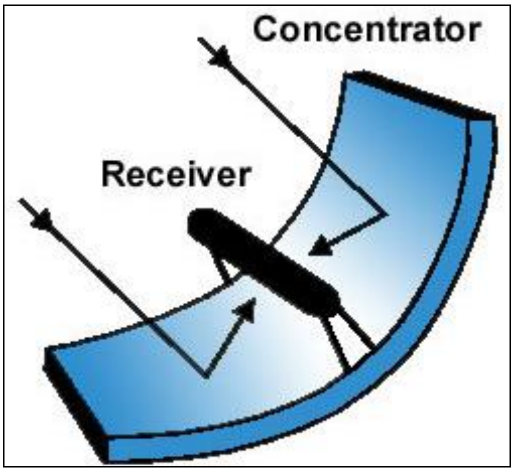
Σχήμα 8.18. *Η χρήση παραβολικών συστημάτων μεγιστοποιεί τον λόγο συγκέντρωσης.*

1) Συλλέκτες Παραβολικής «Σκάφης»

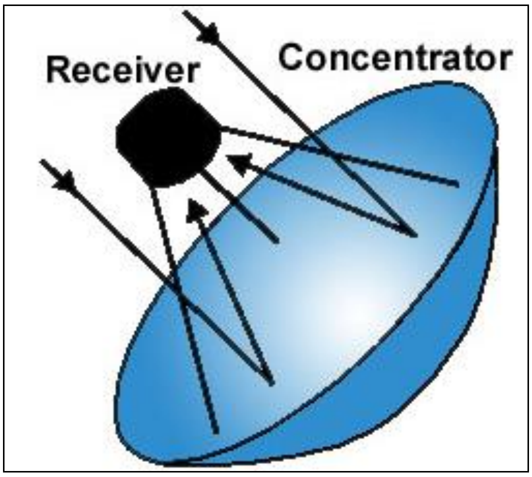
- Αποτελεί το απλούστερο σύστημα συγκέντρωσης της ακτινοβολίας είναι η συγκέντρωση κατά μήκος μιας γραμμής – στενής λωρίδας (Σχήμα 8.19).
- Παραβολικό σύστημα ως προς μια διάσταση.
- Τοποθετείται συνήθως με το διαμήκη άξονά του στη γραμμή Ανατολή-Δύση και απαιτείται οδηγούμενο σύστημα. Τοποθέτηση της σκάφης και κατακόρυφα.
- Επιτυγχάνονται λόγοι συγκέντρωσης ~50 (ή αύξηση της θερμοκρασίας νερού από 200 μέχρι 400°C.
- Παράγουν το μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακού ηλεκτρισμού (>95%) στο Kramer Junction στην έρημο Mojave στην Καλιφόρνια. Εκεί μέχρι το 1990 είχαν εγκατασταθεί από την εταιρεία Luz International 9 συστήματα συλλεκτών συνολικής ισχύος 364 MW. Το τελευταίο σύστημα που εγκαταστάθηκε ήταν 80 MW και έχει επιφάνεια παραβολικών συλλεκτών 464.000 m^2. Οι συλλέκτες θερμαίνουν συνθετικό έλαιο στους 390°C, από το οποίο παράγεται ατμός μέσω εναλλάκτη. Οι χαμηλές τιμές των συμβατικών καυσίμων στις αρχές του 1990 οδήγησε την Luz International σε πτώχευση, αλλά τα συστήματα συνεχίζουν να λειτουργούν και σήμερα.
- Παραλλαγή της μεθόδου αποτελεί ο καθρέπτης Winston, όπου η ακτινοβολία συγκεντρώνεται στο βάθος ενός «κώδωνα».

2) Συλλέκτες Παραβολικού «Πιάτου»

- Ο δέκτης στο εστιακό σημείο του πιάτου (Σχήμα 8.20).
- Το υγρό στο δέκτη θερμαίνεται μέχρι και 750^{o}C
- Το ρευστό παράγει ηλεκτρισμό με μια μικρή μηχανή Stirling ή Brayton που είναι τοποθετημένη στο εστιακό σημείο. Απαιτείται οδηγούμενο σύστημα.
- Επιτυγχάνονται λόγοι συγκέντρωσης μέχρι 1000 με αύξηση της θερμοκρασίας νερού μέχρι 1000°C.



Σχήμα 8.19. *Διάγραμμα παραβολικού συλλέκτη τύπου σκάφης. Εστίαση σε γραμμή.*

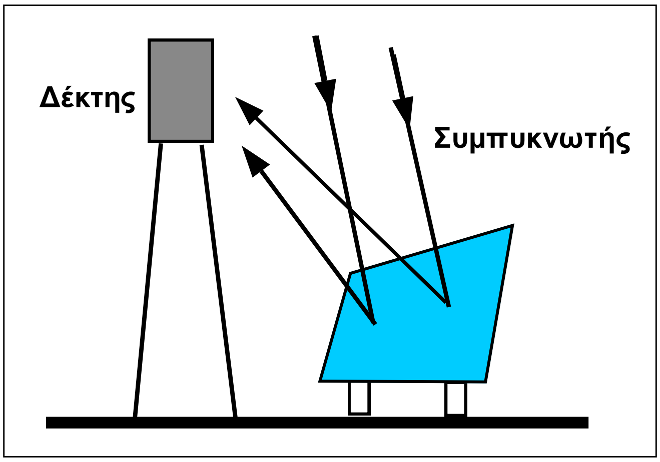


Σχήμα 8.20. *Διάγραμμα παραβολικού συλλέκτη – πιάτου*

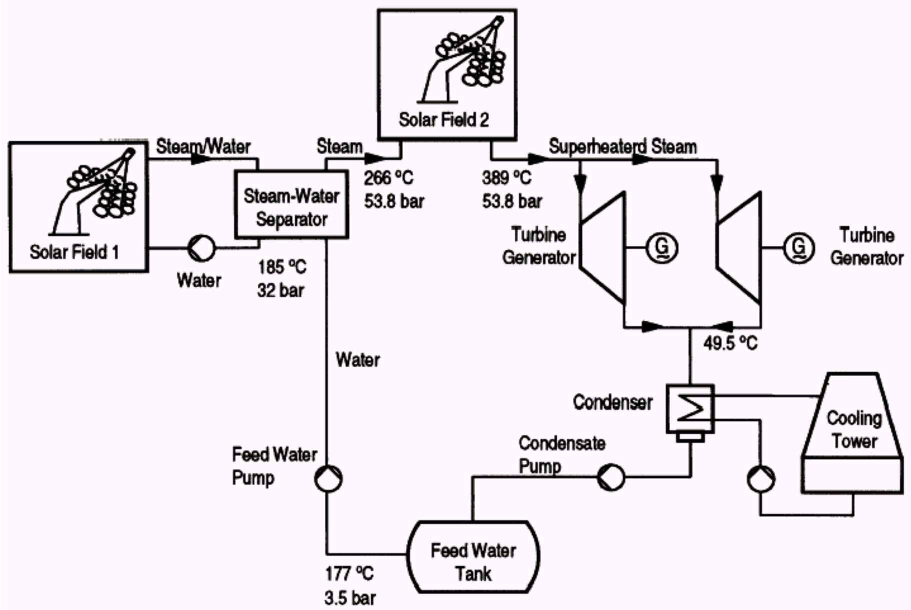
3) Κεντρικός Πύργος

- Οι Κεντρικοί Πύργοι (Power Towers) χρησιμοποιούν αριθμό ηλιοστατών (επίπεδοι καθρέπτες που ακολουθούν τη διαδρομή του ήλιου) για να εστιάσουν την ηλιακή ακτινοβολία σε έναν κεντρικό δέκτη που τοποθετείται σε έναν πύργο (Σχήματα 8.21-8.22).
- *Ρευστό λειτουργίας:* συνθετικό έλαιο, τηγμένο άλας (θερμαίνεται μέχρι τους 550^{o}C). Το θερμαινόμενο ρευστό παράγει ηλεκτρική ενέργεια άμεσα ή έμμεσα.

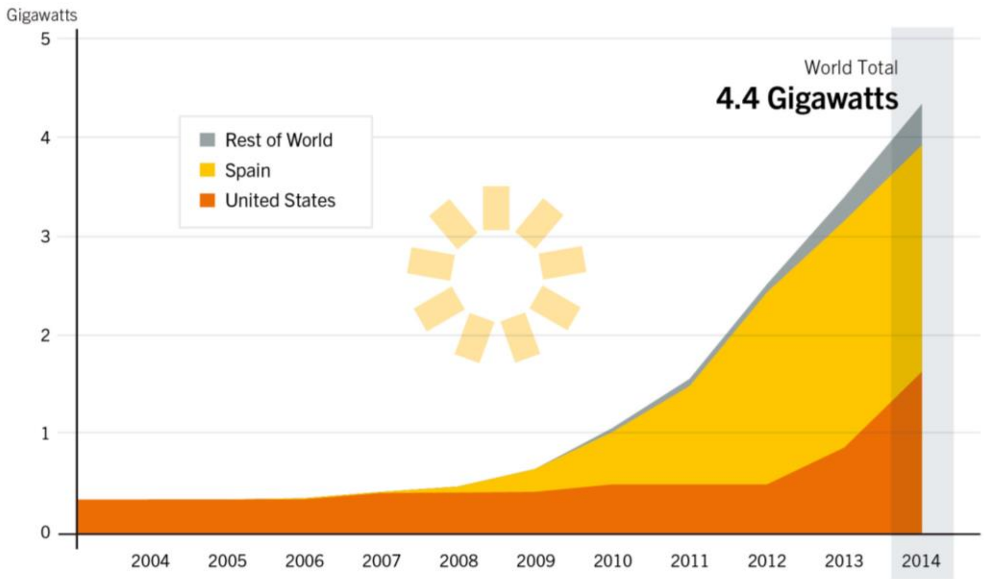
Αρκετά τέτοια συστήματα άρχισαν να κατασκευάζονται από το 1980. Παράδειγμα αποτελεί το σύστημα κεντρικού πύργου Solar One στο Barstow της Καλιφόρνιας ισχύος 10 MW. 1818 επίπεδα καθρέπτες με διαστάσεις 7×7 m αντανακλούν την ηλιακή ενέργεια στο λέβητα του πύργου για τη θέρμανση νερού. Λειτούργησε με επιτυχία από το 1983 μέχρι το 1988, αλλά η μείωση της κρατικής επιχορήγησης οδήγησε τη μονάδα σε κλείσιμο. Η μονάδα ανακαινίστηκε και λειτούργησε με επιτυχία (ως Solar Two) από το 1996 μέχρι το 1999, χρησιμοποιώντας συνθετικό έλαιο για θερμαντικό μέσο. Άλλες μονάδες λειτουργούν σε Ισπανία (κυρίως), Η.Π.Α. και Ιαπωνία. Σήμερα, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων στον κόσμο ανέρχεται στα 4400 MW (Σχήμα 8.23).



Σχήμα 8.21. *Διάγραμμα κεντρικού πύργου*



Σχήμα 8.22*. Σχηματικό διάγραμμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακά θερμικά συστήματα.*



Σχήμα 8.23. *Εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων στον κόσμο. Πηγή: REN 21, Renewables 2015 Global Report.)*

8.5.3. Ηλιακές λίμνες

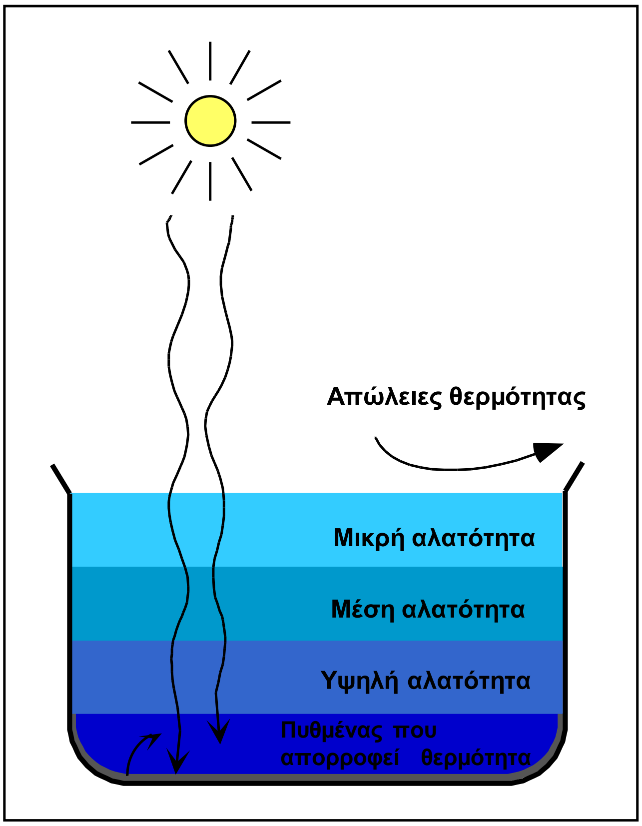
Όταν απαιτούνται μεγάλες ποσότητες θερμού νερού υπάρχουν και άλλα σχήματα αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως είναι οι λεγόμενες «ηλιακές λίμνες» (solar ponds), όπου δεν υπάρχει σύστημα εστίασης. Οι ηλιακές λίμνες διακρίνονται σε λίμνες με άλατα (salt gradient ponds) και λίμνες με μεμβράνες.

(α) Λίμνες με άλατα

Στις ηλιακές λίμνες υπάρχει έντονη διαστρωμάτωση του νερού, λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης του άλατος (NaCl, $MgCl_2$ κ.ά.), και η θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία παγιδεύεται στα κατώτερα και πυκνότερα στρώματα της λίμνης (Σχήμα 8.24). Η θερμοκρασία στα κατώτερα στρώματα μπορεί να φτάσει τους 93ºC. Συνήθως ο πυθμένας της λίμνης καλύπτεται από μέλαν απορροφητικό υλικό για μεγιστοποίηση της απορρόφησης της ακτινοβολίας και για μείωση της πιθανότητας ρύπανσης του εδάφους. Η θερμότητα των κατωτέρων στρωμάτων απομακρύνεται με εναλλάκτη για παραγωγή θερμού νερού ή ηλεκτρισμού με τον οργανικό κύκλο Rankine, με συνολική απόδοση όμως μικρότερη από 2%. Επιδεικτικά έργα ηλιακών λιμνών δοκιμάστηκαν στο Ισραήλ, τις ΗΠΑ και τη Σαουδική Αραβία με επιφάνεια νερού ~50 στρεμμάτων και εγκατεστημένη ισχύ 50 MW.

(β) Λίμνες με μεμβράνες

Είναι παρόμοιου τύπου με τις λίμνες με άλατα, αλλά τα στρώματα διαχωρίζονται με λεπτές διαφανείς μεμβράνες.



Σχήμα 8.24. *Σχηματικό διάγραμμα ηλιακής λίμνης.*

8.6. Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (ή κυψελίδες, solar/photovoltaic cell) μετατρέπουν απευθείας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια («Volt» από τον Alessandro Volta, 1745-1827). Τα ΦΒ είναι πολύ ευέλικτα συστήματα, μπορεί να καλύπτουν τόσο μικρές (π.χ. ενέργεια για ένα φορητό υπολογιστή), όσο και μεγάλες ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια (ένα ολόκληρο χωριό). Ιστορικά τα ΦΒ χρησιμοποιήθηκαν (και χρησιμοποιούνται) εκεί όπου είναι αδύνατη ή αντιοικονομική η χρήση συμβατικής ενέργειας, όπως στους δορυφόρους, σε απομακρυσμένα συστήματα τηλεπικοινωνιών, σε φάρους, για άντληση νερού κτλ.

Σήμερα το μέσο κόστος εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει μειωθεί σημαντικά σε σχέση με την κατάσταση πριν από πέντε μόλις χρόνια και ανέρχεται περίπου σε 1,5-3 € ανά εγκατεστημένο W_p, γεγονός που, υπό συνθήκες, μάλλον τα κάνει ανταγωνιστικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για σύγκριση, το κόστος εγκατάστασης των σύγχρονων μονάδων φυσικού αερίου ανά kW είναι περίπου τρεις φορές χαμηλότερο. Επίσης, η παραγόμενη σήμερα φωτοβολταϊκή kWh κοστίζει 15-40 c€.

Αν και πρακτικά τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι διαθέσιμα από τα μέσα του 1950 (εφαρμογή σε δορυφόρους), η διερεύνηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου ξεκίνησε το 1839, όταν ο Γάλλος επιστήμονας Edmond Becquerel ανακάλυψε ότι μπορεί να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν φώτιζε τις πλάκες από άργυρο σε μία υγρή μπαταρία.

Εκτός από το πρόβλημα του κόστους, ένα άλλο πρόβλημα που προκύπτει (όπως και με άλλες εναλλακτικές πηγές ενέργειας) είναι η ανάγκη αποθήκευσης της ενέργειας και η χρησιμοποίηση της σε ώρες που δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία. Πάντως είναι άμεσης προτεραιότητας η συνέχιση με εντατικότερους ρυθμούς της ερευνητικής προσπάθειας που θα κάνει το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας από τα ΦΒ συγκρίσιμο με το κόστος από τα συμβατικά καύσιμα. Επίσης θα πρέπει να θεσπιστούν κίνητρα για την εγκατάσταση ΦΒ συστημάτων.

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το ηλιακό ή φωτοβολταϊκό στοιχείο (solar cell) αποτελείται ουσιαστικά από δύο ή περισσότερες στιβάδες ημιαγωγών. Όταν τα φωτόνια προσπίπτουν σε ένα στοιχείο, μπορούν να ανακλαστούν, να απορροφηθούν ή να διαπεράσουν το στοιχείο. Μόνο τα απορροφημένα φωτόνια δημιουργούν ιοντικά ζεύγη (ηλεκτρόνια και οπές) παράγοντας έτσι ηλεκτρισμό. Όταν συμβαίνει αυτό η ενέργεια του φωτονίου μεταφέρεται σε ένα ηλεκτρόνιο ενός ατόμου του στοιχείου. Το ηλεκτρόνιο μπορεί να αποδράσει από τη θέση του δημιουργώντας μια «οπή». Αυτά τα φορτία κινούνται μέσα στο πλέγμα των ημιαγωγών και όταν περάσουν από τον έναν ημιαγωγό στον άλλον δημιουργούν ένα δυναμικό, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.25. Ένα τυπικό στοιχείο δημιουργεί ένα δυναμικό ανοικτού κυκλώματος περίπου 0,5 V συνεχούς ρεύματος. Η ποσότητα της ηλεκτρικής ισχύος που παράγεται από ένα ΦΒ στοιχείο εξαρτάται από την απόδοση του στοιχείου (είδος υλικού), την επιφάνειά του και την ηλιακή ακτινοβολία (ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και μήκος κύματος της ακτινοβολίας). Η μέγιστη απόδοση που έχει επιτευχθεί μέχρι σήμερα είναι 25%.

Ένα τυπικό στοιχείο πυριτίου 100 cm^2 δημιουργεί περίπου 1,5 W ισχύ σε δυναμικό ανοικτού κυκλώματος περίπου 0,5 V DC και 3 A σε καλοκαιρινή ακτινοβολία (1000 Wm^{-2}).

Η ένταση του ρεύματος εξαρτάται από

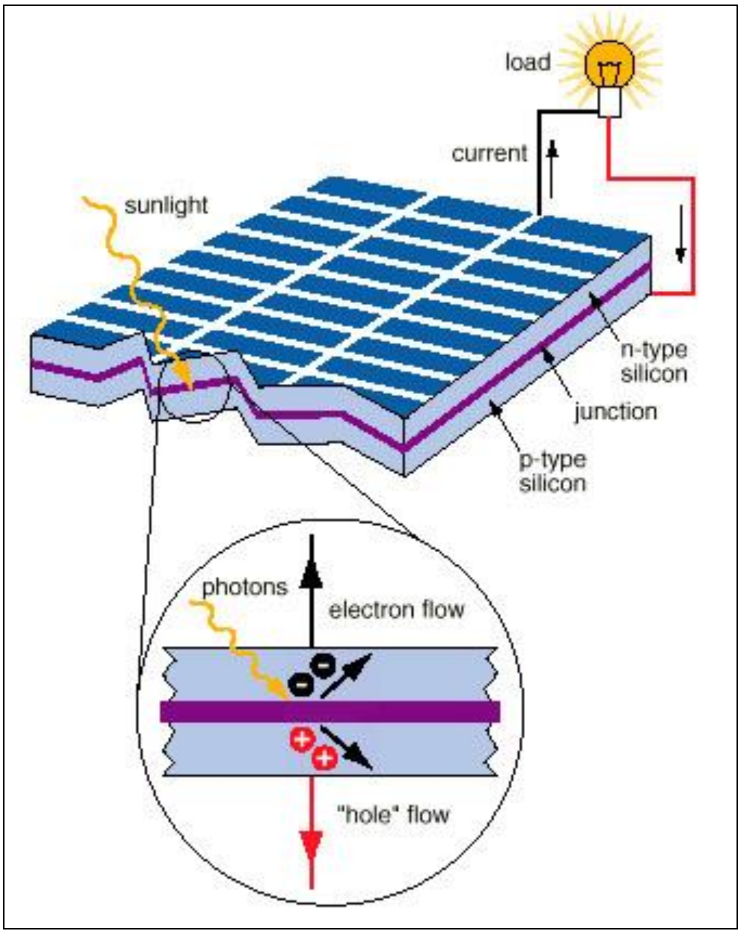
- την απόδοση του στοιχείου,
- την επιφάνειά του και
- την ηλιακή ακτινοβολία (σχεδόν αναλογικά).

Υλικά Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

Τα ΦΣ που χρησιμοποιούνται σήμερα:

(1) Δίσκοι από *ενιαίο, συνεχή κρύσταλλο* πυριτίου (single crystal solar cell), πάχους 0,3-0,5 mm, οι οποίοι παρασκευάζονται με τεμαχισμό κυλίνδρου Si που δημιουργείται με κρυστάλλωση στους 1400ºC – μέθοδος Czochralski (Σχήμα 8.32). Σχετικά δαπανηρή μέθοδος παρασκευής. Οι δίσκοι

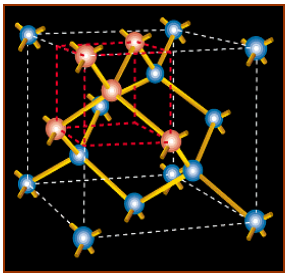
αυτοί έχουν απόδοση που φτάνει το 25%.

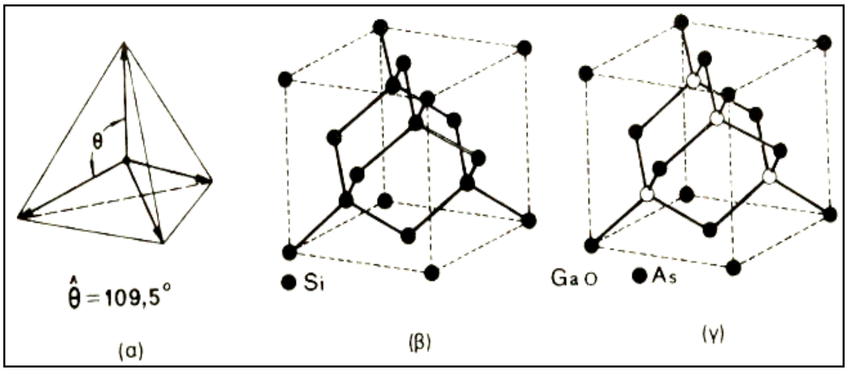


Σχήμα 8.25. *Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε ένα ηλιακό στοιχείο.*

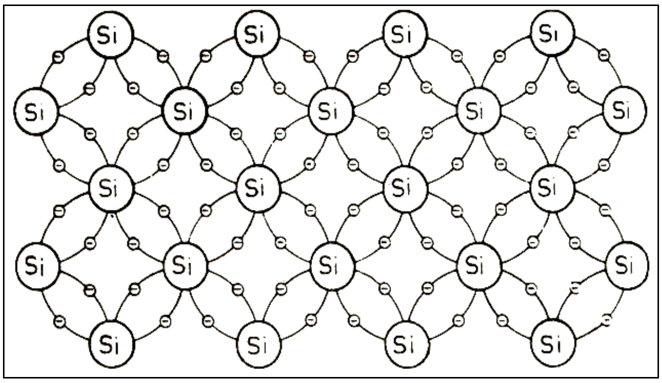
Ημιαγωγοί και η δίοδος p-n

Ημιαγωγοί: **υλικά με ενδιάμεση ηλεκτρική αγωγιμότητα (μεταξύ αγωγών και μονωτών)**

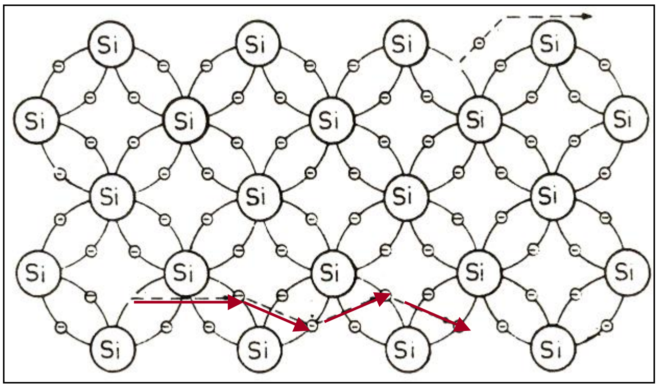




Σχήμα 8.26. *Απεικόνιση του μορίου του πυριτίου, Si (αριστερά και β) και του αρσενικούχου γαλλίου GaAs (γ). Στο Si: όλα τα άτομα ίδια, ενώ στο GaAs: τα άτομα διαφορετικά.*

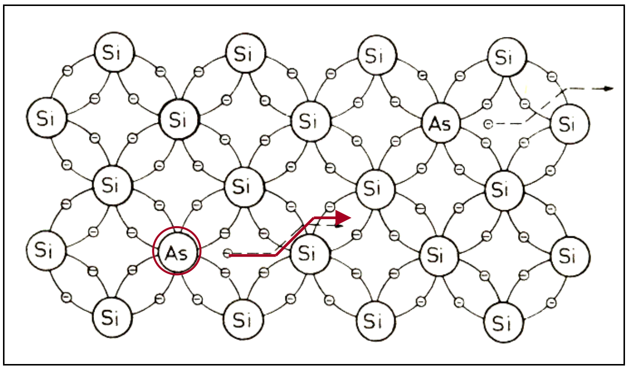


Σχήμα 8.27. *Απλοποιημένη απεικόνιση του πλέγματος του Si, με τα ηλεκτρόνια σθένους εντοπισμένα στους δεσμούς.*

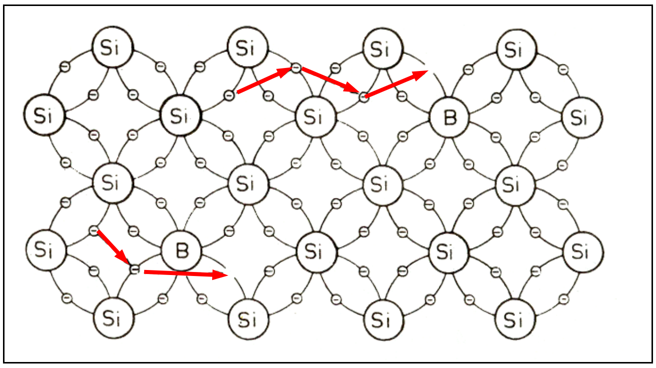


Σχήμα 8.28. *Επίδραση της θερμικής διέγερσης στο Si.*

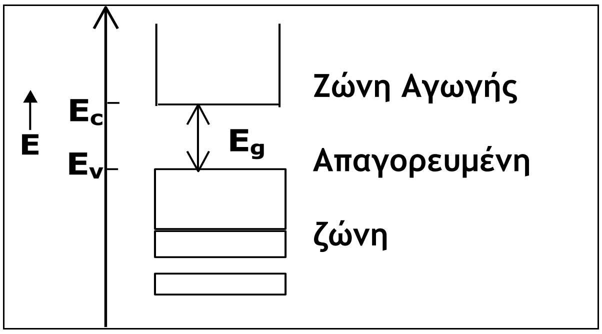
Ημιαγωγοί προσμίξεων



Σχήμα 8.29. *Σχηματισμός Si τύπου n με προσμίξεις από άτομα – δότες ηλεκτρονίων (πεντασθενής As). [D=donor]*



Σχήμα 8.30. *Σχηματισμός Si τύπου p με προσμίξεις από άτομα – αποδέκτες ηλεκτρονίων (τρισθενής B). [A=acceptor]*



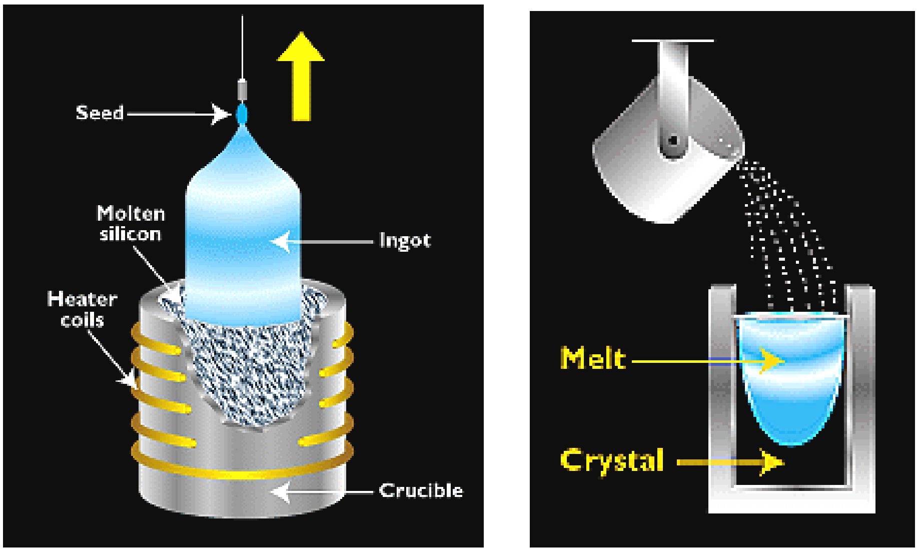
Σχήμα 8.31. *Ορισμός του ενεργειακού διακένου E_g (bandgap) στους ημιαγωγούς. Τα διαφορετικά ΦΒ υλικά έχουν διαφορετικό ενεργειακό διάκενο E_g.*

(2) Δίσκοι από *πολυκρυσταλλικό πυρίτιο* (Polycrystalline wafers) παράγονται από έναν κύλινδρο Si που δημιουργείται με χύτευση (Σχήμα 8.32). Φθηνότερη μέθοδος από την προηγούμενη, αλλά δεν προσφέρει τόσο καλή απόδοση (<20%). Και στις δύο μεθόδους το μισό σχεδόν υλικό χάνεται κατά τον τεμαχισμό.

(3) Το *άμορφο πυρίτιο* (amorphous silicon, α-Si, τεχνολογία λεπτής στιβάδας) δημιουργείται με την εναπόθεση Si σε υποστρώματα γυαλιού (ή ακόμη και πλαστικού) από ένα αντιδρών αέριο, όπως

το σιλάνιο (SiH_4) και την παρουσία κατάλληλων προσμίξεων. Η ευρύτερα εφαρμοζόμενη μέθοδος σήμερα. Η εμπορική απόδοση της μεθόδου είναι μικρότερη από 10%. Διεργασία που γίνεται σε χαμηλή θερμοκρασία και, επομένως, με μικρότερο κόστος.

(4) Άλλες τεχνολογίες λεπτής στιβάδας: CdTe/CdS (πρόσφατα στις ΗΠΑ έχουν γίνει δύο μονάδες για παραγωγή >200 MW), GaAs, $CuInSe_2$. Η τεχνολογία αυτή προσφέρει αρκετά οικονομικά πλεονεκτήματα.



Σχήμα 8.32. *Μέθοδοι παρασκευής ενιαίου κρυστάλλου πυριτίου (αριστερά) και πολυκρυσταλλικού πυριτίου (δεξιά).*

Απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου:

Συλλογή της ηλιακής ενέργειας

Η ποσότητα της ενέργειας που λαμβάνεται εξαρτάται καθοριστικά από τον προσανατολισμό του συλλέκτη σε σχέση με τη γωνία του ήλιου.

- Κάτω από βέλτιστες συνθήκες μπορούν να ληφθούν ροές ενέργειας μέχρι 1000 W ανά m^2.
- Το χειμώνα, για τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος 40° (π.χ. Λάρισα), η ήλιος είναι «χαμηλά» και η μέση ροή ανέρχεται 300 W ανά m^2.

Εφαρμογές – κόστος

Η συνηθέστερη εφαρμογή της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας σήμερα είναι η κατασκευή αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων (off-grid system) δηλ. εγκαταστάσεων που λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καθορισμένων καταναλώσεων, ενός σπιτιού ή μιας επαγγελματικής χρήσης. Εναλλακτικά, ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού με φωτοβολταϊκά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το δίκτυο (grid-connected system). Τα περισσότερα φωτοβολταϊκά συστήματα που έχουν εγκατασταθεί στην Ελλάδα εξυπηρετούν απομονωμένες χρήσεις, σε αντίθεση με τα συστήματα στις άλλες χώρες της Ε.Ε.

Το βασικό τμήμα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η φωτοβολταϊκή γεννήτρια (αποτελούμενη από τα στοιχεία), όπως δείχνει το Σχήμα 8.33. Το σύστημα περιλαμβάνει επίσης συσσωρευτές, διατάξεις για τη ρύθμιση και τη μετατροπή της τάσης και, συχνά, μια βοηθητική γεννήτρια.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1:

Ένα τυπικό νοικοκυριό το χειμώνα καταναλώνει περίπου 1500 kWh ανά μήνα ή περίπου 50 την ημέρα.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μια στέγη 100 m^2. Το χειμώνα σε μια ηλιόλουστη μέρα και για 6 ώρες η ενέργεια που λαμβάνεται είναι:

Q=IxA=300 (W/m^2)χ6(h)χ100 (m^2) =180 kWh (ανά ημέρα): περισσότερα από ότι χρειαζόμαστε.

Αλλά υπάρχει και το πρόβλημα της ενεργειακής απόδοσης:

- 5% απόδοση - 9 kWh ανά ημέρα
- 10% απόδοση - 18 kWh ανά ημέρα
- 20% απόδοση - 36 kWh ανά ημέρα

Επομένως, με την μεγαλύτερη απόδοση μπορούμε να καλύψουμε κάτι παραπάνω από το μισό των ενεργειακών αναγκών στο χειμώνα.

Με εξοικονόμηση ενέργειας, με κατάλληλη μόνωση και με προσανατολισμό προς το νότο (παθητικά ηλιακά συστήματα) είναι δυνατό να περιορίσουμε την ενεργειακή μας χρήση ακόμη και στο μισό. Σε αυτήν την περίπτωση μπορούμε να καλύψουμε ολοκληρωτικά τις ενεργειακές μας ανάγκες !

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2:

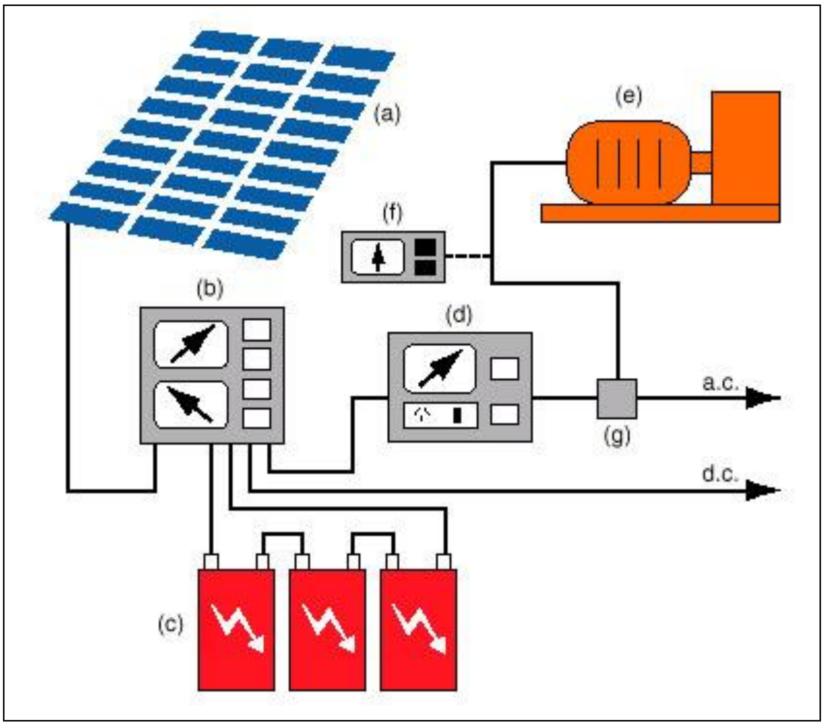
Μια περιοχή του Ν. Φλώρινας λαμβάνει 600 W ανά m^2 ηλιακής ακτινοβολίας τον Ιούλιο. Ας υποθέσουμε ότι τα ηλιακά πανέλα έχουν απόδοση 10% και ότι φωτίζονται για 8 ώρες. Πόσα τετραγωνικά μέτρα απαιτούνται για την παραγωγή 5000 kWh ηλεκτρισμού;

- Κάθε τετραγωνικό μέτρο μας δίνει: 600 x 0,1 = 60 W
- Σε 8 ώρες θα πάρουμε 8x60 = 480 Wh ή ~ 0,5 kWh ανά m^2
- Χρειαζόμαστε: 5000 kWh
- Επομένως απαιτούνται: 5000/0,5 = 10.000 m^2 επιφάνεια συλλεκτών.

Το κόστος των Φ/Β συστημάτων μειώνεται σταθερά με το χρόνο, χωρίς ακόμη βέβαια να ανταγωνίζεται τα συμβατικά καύσιμα (Σχήμα 8.34). Όπως έχει λεχθεί και στο Κεφάλαιο 7, η αύξηση των Φ/Β συστημάτων είναι σημαντική τα τελευταία χρόνια (Σχήμα 8.35), και μπορεί να λεχθεί ότι έχει αρχίσει να παίζει αξιόλογο ρόλο στο ενεργειακό ισοζύγιο (π.χ. σε Ισπανία, Γερμανία, Ελλάδα).

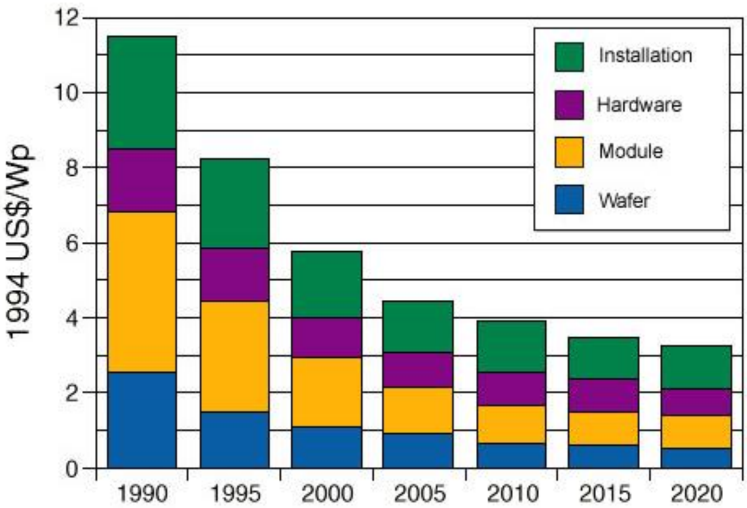
Η εγκατεστημένη φωτοβολταϊκή ισχύς στον κόσμο το 2014 έφτασε τα 177 GW (Πίνακας 8.35), παρουσιάζοντας εντυπωσιακή αύξηση 40 GW σε σχέση με το 2013. Να σημειωθεί ότι το 2004 υπήρχαν μόλις 2,4 GW. Πρώτη χώρα σε εγκατεστημένη ισχύ φ/β συστημάτων είναι η Γερμανία. Η επιτυχία αυτή της Γερμανίας (με περισσότερες από 1.000.000 φωτοβολταϊκές στέγες) οφείλεται στο συνδυασμό ενημέρωσης-ευαισθητοποίησης του κοινού με την ύπαρξη σημαντικών οικονομικών κινήτρων: ιδιαίτερα ελκυστικά επιτόκια δανεισμού και υψηλή τιμή αγοράς από τις εταιρείες διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (από 45 μέχρι και 60 c€/kWh, ανάλογα με την ισχύ και τη θέση της εγκατάστασης). Αν και η Γερμανία προηγείται στο σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος, το Λιχνενστάιν βρίσκεται το 2014 μπροστά από την Γερμανία αναφορικά με την εγκατεστημένη ισχύ ανά κάτοικο (με 481 Wp/κάτοικο έναντι 473 Wp/κάτοικο στη Γερμανία). Η Ελλάδα βρίσκεται στη έκτη θέση παγκοσμίως με 241 Wp/κάτοικο.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, το 2014 εγκαταστάθηκαν 50 GWp σε σχέση με τα 1195 MWp που εγκαταστάθηκαν το 2004. Η Κίνα σήμερα προηγείται τόσο στην παραγωγή των συστημάτων όσο και στην εγκατάσταση. Η αγορά είναι ευμετάβλητη και εταιρίες που κυριαρχούσαν πριν από μερικά χρόνια έχουν αγοραστεί από άλλες ή σταμάτησαν να παράγουν.



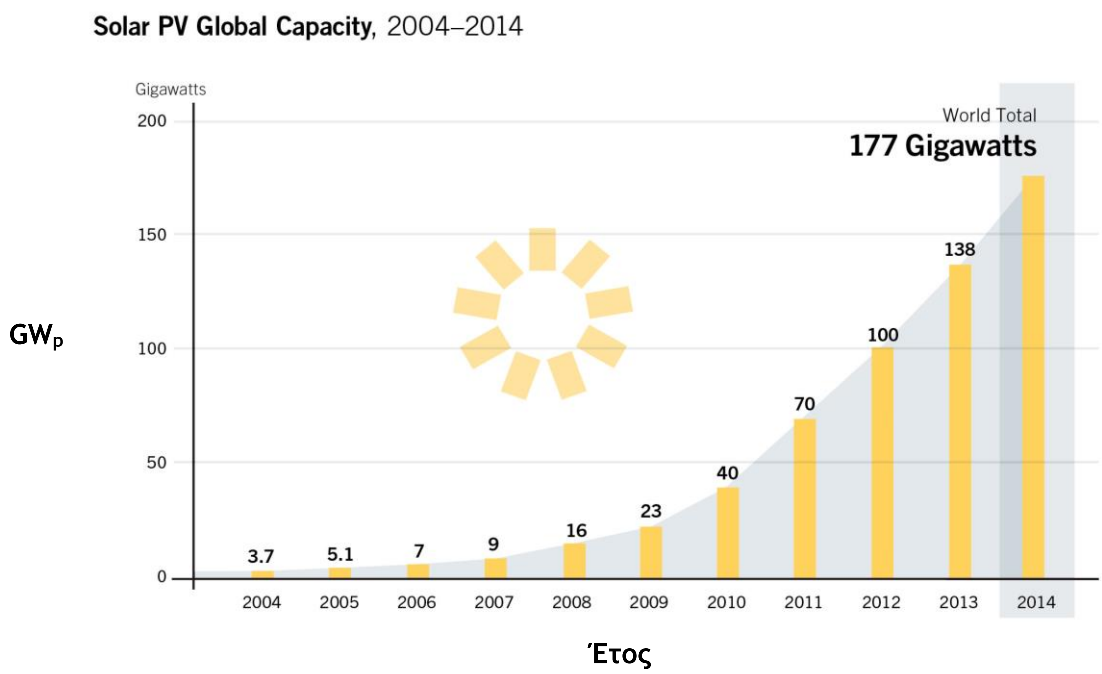
(a) ΦΒ πανέλο αποτελούμενο από 10-50 ΦΒ πλαίσια.
(b) Ρυθμιστής τάσης.
(c) Σύστημα αποθήκευσης με μπαταρίες.
(d) Αναστροφέας από συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα (π.χ. 240 V AC).
(e) Βοηθητική γεννήτρια

Σχήμα 8.33. *Σχηματικό διάγραμμα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.*



Σχήμα 8.34. *Διάγραμμα την εξέλιξη του κόστους των τμημάτων ενός ΦΒ συστήματος ανά W αιχμής.*

Σε τεχνολογικό επίπεδο, η τεχνολογία πολυκρυσταλλικού Si αντιπροσωπεύει το 56% των συστημάτων που παρήχθησαν το 2003, ενώ η τεχνολογία μονοκρυσταλλικού πυριτίου το 33%. Η τεχνολογία της λεπτής στιβάδας κατέχει μόνο το 2% της παραγωγής. Οι μεγαλύτερες εταιρείες παραγωγής ΦΒ στοιχείων είναι (το 2015) η Trina Solar, η Yingli, η JinkoSolar και η Canadian Solar.



Σχήμα 8.35. *Η ανάπτυξη της παγκόσμιας αγοράς των ΦΒ συστημάτων τα τελευταία 10 χρόνια.*

(Πηγή: REN21)

Μπαταρίες

Οι μπαταρίες αποθηκεύουν ικανές ποσότητες ηλεκτρικής ισχύος για να ικανοποιήσουν αυξημένα φορτία και να παράσχουν ηλεκτρισμό όταν δεν λειτουργούν τα ΦΒ συστήματα (συννεφιά, νύχτα). Συνήθως χρησιμοποιούνται ειδικές μπαταρίες μολύβδου (φορτίζονται και αποφορτίζονται στο 80% της χωρητικότητά τους για εκατοντάδες φορές). Το κόστος τους ανέρχεται από 600 μέχρι και 4500 €, ανάλογα με τον τύπο, τη χωρητικότητα (ampere-hours), τις κλιματικές συνθήκες, τη συντήρηση και το είδος χημικών που χρησιμοποιούν. Οι περισσότερες μπαταρίες περιέχουν τοξικά υλικά και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στη μεταχείριση. Οι μπαταρίες μολύβδου, που μπορούν να παράγουν H_2 όταν επαναφορτίζονται, θα πρέπει να τοποθετούνται εκτός της οικίας, σε καλά αεριζόμενο χώρο.

Μετατροπέας συνεχούς-εναλλασσόμενου

Τα συστήματα συνεχούς ρεύματος χρειάζονται και ένα μετατροπέα (inverter, αναστροφέα) συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος. Οι διάφοροι τύποι μετατροπέα παράγουν διαφορετική «ποιότητας» ηλεκτρισμού. Για παράδειγμα, ο φωτισμός, η τηλεόραση και τα εργαλεία μπορούν να λειτουργήσουν με ηλεκτρισμό «χαμηλής» ποιότητας, αλλά οι υπολογιστές, οι εκτυπωτές και οι άλλες πολύπλοκες ηλεκτρονικές συσκευές απαιτούν ηλεκτρισμό «υψηλής» ποιότητας. Το κόστος των μετατροπέων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες (ποιότητα ηλεκτρισμού, εάν το συνεχές ρεύμα είναι 12, 24, 36, ή 48 V, τον αριθμό των W σε εναλλασσόμενο που απαιτούνται για να λειτουργήσει το σύστημα αξιόπιστα, εάν ο μετατροπέας έχει επιπλέον μετρητικά κλπ.)

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα

Το τωρινό κόστος του ΦΒ «ηλιακού» ηλεκτρισμού ανέρχεται σε περίπου 0,15-0,5 €/kWh, κόστος που είναι αρκετά ακριβότερο από το κόστος από τις συμβατικές μονάδες και από άλλες ΑΠΕ. Ένα ερώτημα που προβάλλει για τον ηλιακό ηλεκτρισμό είναι η δημιουργία *αποκεντρωμένων ή συγκεντρωτικών συστημάτων.*

Η βασική ιδέα για τα αποκεντρωμένα συστήματα είναι η παραγωγή ηλεκτρισμού με ηλιακές στέγες για κατοικίες και επιχειρήσεις σε αυτόνομα συστήματα. Από την άλλη μεριά τα συγκεντρωτικά συστήματα συνίστανται από μεγάλες εγκαταστάσεις σε περιοχές με ήλιο και μεταφορά της ηλεκτρικής ισχύος με τις συνήθεις γραμμές μεταφοράς. Επειδή οι απώλειες στη μεταφορά ηλεκτρισμού είναι σχετικά μικρές (περίπου 1% για κάθε 60-100 km) μια εγκατάσταση ΦΒ φαίνεται περισσότερο οικονομική επένδυση για μεταφορά σε 100-200 km από την εγκατάσταση.

Τι μπορεί να γίνει για να παραχθεί ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια μεγάλης κλίμακας με τα σημερινά τεχνολογικά και οικονομικά δεδομένα;

- Επιδότηση από την πολιτεία, όπως γίνεται με πολλά άλλα κοινωνικού περιεχομένου εγχειρήματα.
- Αναμονή για βελτίωση της τεχνολογίας και εντατικοποίηση των ερευνητικών προσπαθειών για αύξηση της απόδοσης και μείωση του κόστους.
- Ο καταναλωτής να πληρώνει το πραγματικό κόστος της συμβατικής ενέργειας, στο οποίο θα πρέπει να προστίθεται το λανθάνον περιβαλλοντικό και κοινωνικό κόστος από τη συνεχιζόμενη χρήση των συμβατικών καυσίμων.
- Φορολογία στα συμβατικά καύσιμα!

Τα πλεονεκτήματα των ΦΒ συστημάτων συνοψίζονται ως εξής:

- Η ΦΒ ηλεκτρική ενέργεια δεν υπόκειται στις διακυμάνσεις της Η.Ε. από συμβατικά καύσιμα.
- Η αξιοπιστία των ΦΒ συστημάτων είναι υψηλή και η ετήσια μέση διακύμανση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας δεν υπερβαίνει το 1%.
- Τα ΦΒ συστήματα είναι ιδανικά για τη τροφοδοσία του ηλεκτρικού δικτύου και είναι πολύ ευέλικτα. Επίσης, είτε αυτόνομα είτε με άλλες ΑΠΕ (υβριδικά συστήματα, π.χ. ανεμογεννήτριες) μπορεί να εξυπηρετήσει ανάγκες σε απομακρυσμένες από το δίκτυο περιοχές (Σχήμα 8.36).
- Η απόδοση των ΦΒ αυξάνει με τα χρόνια και το κόστος τους συνεχίζει να μειώνεται.
- Τα ΦΒ συστήματα λειτουργούν αθόρυβα, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (η οποία φθάνει τα 30 χρόνια) με δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες.

Ηλιακά / ηλεκτρικά αυτοκίνητα

Η βασική ιδέα στηρίζεται στην κατασκευή συστοιχίας ηλιακών συλλεκτών στην οροφή του αυτοκινήτου που να τροφοδοτούν με ηλεκτρισμό τις μπαταρίες που με τη σειρά τους θα κινούν το αυτοκίνητο. Ήδη υπάρχουν πολλά επιδεικτικά αυτοκίνητα. Το σημείο-κλειδί είναι η αποθήκευση στις μπαταρίες, ενώ θα πρέπει να υπάρχει ισορροπία μεταξύ της απόστασης που διανύεται και της ισχύος. Σήμερα οι υπάρχουσες μπαταρίες (μολύβδου-οξέος) δεν είναι αποτελεσματικές. Άλλοι τύποι μπαταριών παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.2.

Με τη σημερινή τεχνολογία φαίνεται απίθανο τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα να κινούνται σε μεγάλες αποστάσεις με μεγάλη ταχύτητα και η χρήση τους περιορίζεται μέσα στην πόλη για μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

***Πίνακας 8.2**. Άλλοι τύποι μπαταριών*

Υλικό	Πυκνότητα ενέργειας (W-hrs/kg)	Πυκνότητα ισχύος (W/kg)	Σχόλια
Μολύβδου - οξέος	40	70	Μεγάλη διάρκεια ζωής
Νικελίου-σιδήρου	55	100	Πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής
Νατρίου- θείου	90	100	Θερμοκ. λειτουργίας 300-350ºC
Λιθίου-θειούχου σιδήρου	100	> 100	400-450ºC
Νικελίου- ψευδαργύρου	75	120	Μικρή διάρκεια ζωής

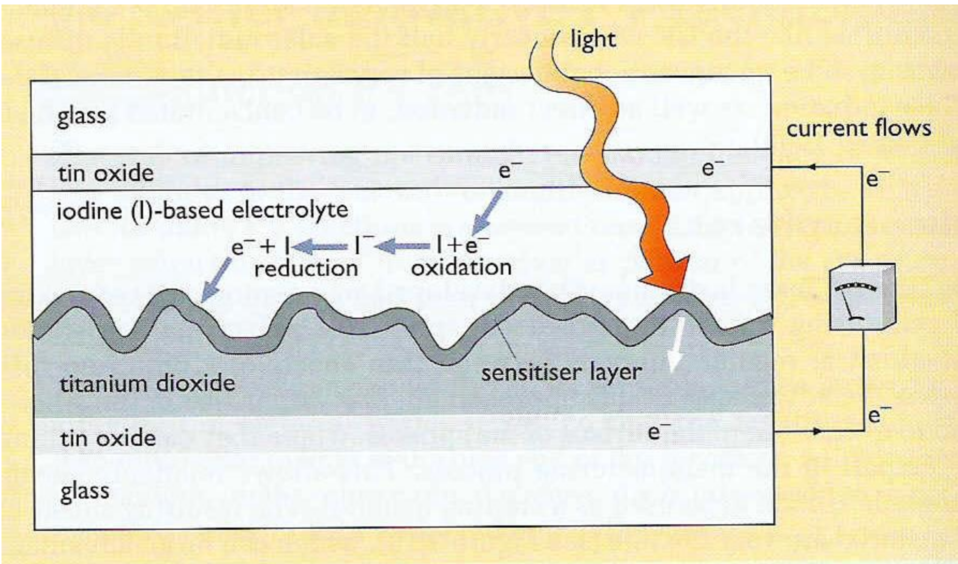
__Σχήμα 8.36__. Εφαρμογές ΦΒ συστημάτων. Η εταιρεία BP ξεκίνησε το 2002 ένα φιλόδοξο (και διαφημιστικό συγχρόνως) προγραμμα εγκατάστασης ΦΒ συστημάτων σε 2000 πρατήρια βενζίνης σε Ευρώπη και Η.Π.Α.

8.7. Φωτοηλεκτροχημικά Στοιχεία

Μία εντελώς διαφορετική ιδέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο είναι οι φωτοηλεκτροχημικές κυψελίδες που αναπτύχθηκαν από τον Καθ. Μ. Graetzel και τους συνεργάτες του από τη δεκαετία του 1980 στο Ομοσπονδιακό Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Λωζάννης στην Ελβετία.

Η κυψελίδα αυτή συνίσταται από δύο γυάλινες πλάκες επικαλυμμένες από ένα λεπτό στρώμα, διαφανούς, ηλεκτρικά αγώγιμου οξειδίου του κασσιτέρου, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.37. Στην κάτω πλάκα προστίθεται και ένα λεπτό, αλλά τραχύ, στρώμα από διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2), τα οποίο είναι ημιαγωγός. Ακριβώς επάνω στην τραχιά επιφάνεια του TiO_2 τοποθετείται μονομοριακό στρώμα ειδικής χρωστικής (ευαισθητοποιητής-sensitizer), συνήθως σύμπλοκο του ρουθηνίου ή του οσμίου. Μεταξύ της στιβάδας του ευαισθητοποιητή και της άλλης πλάκας υπάρχει το στρώμα του ηλεκτρολύτη, που βασίζεται στο ιώδιο. Με την απορρόφηση ενός φωτονίου κατάλληλης ενέργειας, η στιβάδα του ευαισθητοποιητή εμβάλλει ένα ηλεκτρόνιο στο στρώμα του TiO_2 με επακόλουθο την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Τα ηλεκτρόνια που επιστρέφουν στην επάνω αγώγιμη στιβάδα μέσω οξειδοαναγωγικής διεργασίας στον ιωδούχο ηλεκτρολύτη επανακάμπτουν στον ευαισθητοποιητή ώστε να συνεχιστεί η διεργασία.

Μέχρι τώρα με τη μέθοδο αυτή έχουν επιτευχθεί αποδόσεις μέχρι και 10%, ενώ μικρή παραγωγή τέτοιων, φθηνών σχετικά και εύκολων να κατασκευαστούν, κυψελίδων γίνεται στην Ελβετία και στην Αυστραλία. Σε πολλές χώρες υπάρχει και ερευνητική δραστηριότητα στον τομέα αυτόν.



__Σχήμα 8.37__. Οι αρχές λειτουργίας του φωοηλεκτροχημικού στοιχείου Graetzel. (Πηγή: Boyle, 2004.)

9. ΒΙΟΜΑΖΑ

9.1. Εισαγωγή

Με τον όρο **βιομάζα** εννοούμε όλα τα υλικά (στερεά, υγρά ή αέρια) που περιέχουν άνθρακα και τα οποία μπορούν να μετατραπούν σε ενέργεια (βιοενέργεια). Τα υλικά αυτά μπορούν απευθείας να καούν για παραγωγή θερμότητας ή ισχύος ή να μετατραπούν σε **βιοκαύσιμα** (π.χ. ξυλάνθρακας, βιοντίζελ). Η βιομάζα μπορεί να προέρχεται είτε άμεσα από πρωτογενή πηγή (φυτά), είτε έμμεσα από τα αστικά, βιομηχανικά ή αγροτικά απόβλητα. Έτσι οι επιστήμονες θεωρούν ως βιομάζα την ξυλεία, τα υπολείμματα της ξυλείας (κλαδιά, πριονίδια κτλ.) και της επεξεργασίας φυτικών καρπών (ελαιών, καφέ, καλαμποκιού, άχυρου κτλ.), τα λύματα των πόλεων, τα απορρίμματα και τα στερεά απόβλητα των κτηνοτροφικών μονάδων. Ο κλασικός ορισμός της βιομάζας είναι: η πρόσφατη οργανική ύλη που προέρχεται από τα φυτά ως αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής μετατροπής. Η ξυλεία και τα υπολείμματα δασοπονικών και αγροτικών δραστηριοτήτων αποτελούν το μεγαλύτερο και καλύτερα αξιοποιήσιμο μέρος της βιομάζας. Τα δάση και οι θαμνώνες αποτελούν το 92% της παραγόμενης βιομάζας. Η παραγόμενη ετησίως βιομάζα ανέρχεται περίπου σε $1{,}4 \times 10^{11}$ ΤΙΠ.

Γενικά, μόνο το 5% της συνολικής βιομάζας ενός φυτού κατάλληλο για τροφή. Υπάρχουν οι εξής εναλλακτικές λύσεις για το υπόλοιπο 95%: η καύση του για παραγωγή θερμότητας και η μετατροπή του σε στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα ή άλλα χρήσιμα υλικά.

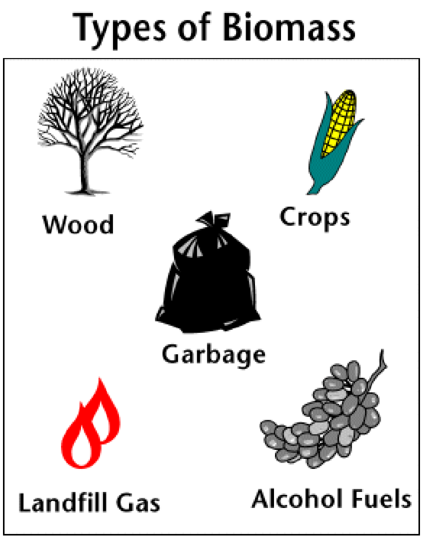
Δεν υπάρχουν αξιόπιστες εκτιμήσεις για τη συμμετοχή της βιομάζας στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας και συχνά η βιομάζα δεν εμφανίζεται στην κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας μιας χώρας. Είναι γεγονός πάντως αδιαμφισβήτητο ότι σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες η βιομάζα καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό των ενεργειακών αναγκών (π.χ. Νεπάλ, Αιθιοπία, Κένυα). Ακόμη και στις ανεπτυγμένες χώρες, η κατανάλωση βιοενέργειας δεν είναι αμελητέα και υπερβαίνει στο 3% της ενεργειακής κατανάλωσης. Ιδιαίτερα σε χώρες όπως η Σουηδία, η Αυστρία και οι Η.Π.Α., που χρησιμοποιούν εκτεταμένα την ξυλεία, το ποσοστό αυτό μπορεί να είναι αρκετά μεγαλύτερο.

9.2 Είδη και Προέλευση της Βιομάζας

Παρακάτω συνοψίζονται με παραδείγματα τα διάφορα είδη βιομάζας που μπορούν να αξιοποιηθούν με ποικίλους τρόπους:

- *Ποώδεις ενεργειακές καλλιέργειες:* αναφέρονται σε πολυετή φυτά με ετήσια συγκομιδή που ξεκινά ύστερα από 2-3 χρόνια (μπαμπού, γλυκό σόργο, μισχανθός κτλ.). Με τον όρο ενεργειακές καλλιέργειες εννοούμε τα φυτά τα οποία αναπτύσσονται ειδικά για να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα ή, κυρίως, να μετατραπούν σε βιοκαύσιμα.
- *Δασικές ενεργειακές καλλιέργειες.* Ειδικές φυτείες που ξυλεύονται σε 5-8 χρόνια (υβριδική ιτιά, υβριδική λεύκη, σφενδάμη, ευκάλυπτος, συκομουριά κτλ.). Χρησιμοποιούνται κυρίως για παραγωγή θερμότητας (τηλεθέρμανση) και συμπαραγωγή (με προσθήκη σε άνθρακα) θερμότητας και ηλεκτρισμού.

- *Αγροτικές καλλιέργειες* (ζαχαροκάλαμο, σόγια, ηλιόσπορος, κράμβη η ελαιοφόρος) για παραγωγή βιοελαίων, βιοαιθανόλης και βιομεθανόλης, σακχάρων και βιοαποικοδομήσιμων πλαστικών υλικών. Το «ενεργειακό» λεγόμενο ζαχαροκάλαμο και το καλαμπόκι αποτελούν τις πιο διαδεδομένες καλλιέργειες για παραγωγή βιοαιθανόλης.
- *Υδατικές καλλιέργειες:* ορισμένα είδη φυκών και άλλα είδη της υδροπανίδας. Προς το παρόν χρησιμοποιούνται για παραγωγή εξειδικευμένων υλικών.
- *Ξυλεία γενικά,* κλαδέματα, δασικά παραπροϊόντα (κλαδιά, πριονίδια κλπ.). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για συμπαραγωγή.
- *Γεωργικά παραπροϊόντα* (καλαμπόκι, τσόφλια ρυζιού, άχυρα δημητριακών κτλ.)



- *Απορρίμματα-απόβλητα από τις βιομηχανίες τροφίμων* (χυμών, καφέ, πατάτας, ζάχαρης, ζύθου, γάλακτος, λιναρόσπορου κτλ.)
- *Παραπροϊόντα από επεξεργασία φυτών* (πυρηνόξυλο, βαμβακόσποροι, ζαχαροκάλαμο κτλ.)
- *Κτηνοτροφικά και πτηνοτροφικά κατάλοιπα* (κοπριά, παραγωγή βιοαερίου με αναερόβια ζύμωση)
- *Οικιακά απορρίμματα* (απευθείας καύση, αναερόβια ζύμωση)
- *Οικιακά λύματα και απόβλητα* ορισμένων βιομηχανιών επεξεργασίας οργανικών ουσιών (χάρτου-black liquor, δέρματος κτλ.)

Οι δύο κύριες πηγές βιοενέργειας είναι οι ενεργειακές καλλιέργειες και τα απορρίμματα, δηλαδή τα προϊόντα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι ενεργειακές καλλιέργειες έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον των επιστημόνων, των αγροτών και των κρατών για διαφόρους λόγους:

- Για την ανάγκη περιορισμού των εκπομπών του CO_2 που εκπέμπονται από την καύση των συμβατικών καυσίμων.

- Για την αξιοποίηση ενδογενών ενεργειακών πόρων, σε αντικατάσταση του εισαγόμενου πετρελαίου.

- Για να αντιμετωπιστεί μερικά το αγροτικό πρόβλημα της υπερπαραγωγής σε ορισμένα προϊόντα, των χαμηλών τιμών των προϊόντων και του περιορισμού ορισμένων «παραδοσιακών» καλλιεργειών.

Η βιομάζα είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών της ξηράς και των υδρόβιων φυτικών οργανισμών και συνιστά δευτερογενή ηλιακή ενέργεια. Τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια και αναπτύσσονται με τη χρήση κυρίως νερού και διοξειδίου του άνθρακα, όπως δείχνει η αντίδραση

$$CO_2 + 2\,H_2O \xrightarrow{\text{φως}} ([CH_2O] + H_2O) + O_2 \qquad (9.1)$$

όπου το $[CH_2O]$ παριστάνει τη βασική μονάδα ενός μορίου υδατάνθρακα. Ειδικότερα για τη γλυκόζη, η παραπάνω αντίδραση γράφεται ως:

$$6CO_2 + 12\,H_2O \rightarrow (C_6H_{12}O_6 + 6H_2O) + 6O_2 \qquad (9.2)$$

Σημειώνεται ότι με την παραπάνω διεργασία όλο το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας ανακυκλώνεται κάθε 300 χρόνια. Η χρήση της βιομάζας ανακυκλώνει το CO_2 στην ατμόσφαιρα και δεν προσθέτει νέες ποσότητες, όπως συμβαίνει με τα συμβατικά καύσιμα.

Η παραγόμενη βιομάζα ετησίως αντιστοιχεί σε ενέργεια ίση με δέκα φορές την ενέργεια που καταναλίσκει ο κόσμος αυτή τη στιγμή, αλλά όπως θα τονιστεί παρακάτω δεν μπορούμε να εκμεταλλευτούμε σε σημαντικό βαθμό αυτή τη στιγμή τη βιομάζα. Ένας από τους κυρίαρχους λόγους γι' αυτό είναι το κόστος μεταφοράς της βιομάζας, η οποία είναι φτωχή σε θερμαντική αξία. Σε αυτό συνεισφέρει και η σχετικά υψηλή υγρασία της βιομάζας.

Υγρασία βιομάζας

- Η βιομάζα περιέχει μεγάλες ποσότητες νερού, που συνήθως ξεπερνούν το 50%, ενώ στα φυτά φτάνει το 90%.
- «Ξηρή» καλείται η βιομάζα όταν έχει έλθει σε ισορροπία με το περιβάλλον, με τελικό ποσοστό υγρασίας 10-15%.
- Το ποσοστό υγρασίας εκφράζεται είτε ως προς την ξηρή βιομάζα είτε ως προς την «υγρή».
- Η παρουσία υγρασίας στη βιομάζα επιφέρει σημαντική μείωση της θερμαντικής αξίας της. Προσεγγιστικά, για κάθε 10% υγρασία της βιομάζας, η θερμαντική της αξία μειώνεται κατά 11%.

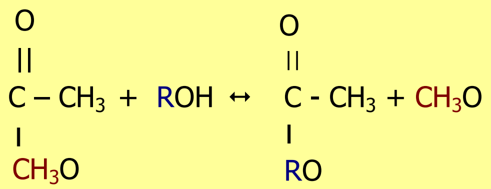
9.3 Τεχνολογίες Αξιοποίησης της Βιομάζας

Η βιομάζα αξιοποιείται εδώ και αιώνες βασικά μέσω της διεργασίας της καύσης, η οποία συνεχίζει να καταλαμβάνει κυρίαρχη θέση μεταξύ των μεθόδων εκμετάλλευσης της βιομάζας.

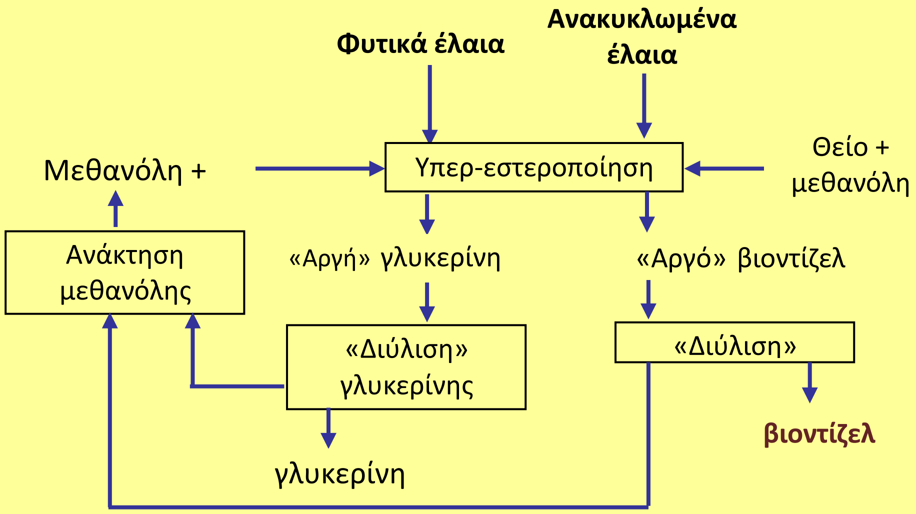
Οι τεχνολογίες αξιοποίησης της βιομάζας μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους τρόπους. Στις παρούσες σημειώσεις οι τεχνολογίες αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με το αν αξιοποιούνται τα λιγνοκυτταρινικά συστατικά της βιομάζας ή αν εξάγονται έλαια. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει την **καύση της βιομάζας** (άμεση καύση της ακατέργαστης βιομάζας ή καύση ύστερα από κάποια φυσική κατεργασία της βιομάζας) και τη **μετατροπή της βιομάζας** σε άλλα αέρια, υγρά ή στερεά καύσιμα με θερμοχημικές ή βιοχημικές μεθόδους. Βεβαίως η καύση αποτελεί θερμοχημική διεργασία, αλλά λόγω της σπουδαιότητάς της αναφέρεται χωριστά. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν ορισμένες ειδικές καλλιέργειες που παράγουν σπόρους πλούσιους σε έλαια, τα οποία μπορούν να ληφθούν με σύνθλιψη των σπόρων και να χρησιμοποιηθούν ως έχουν ή ύστερα από εστεροποίηση για υποκατάσταση του ντίζελ (βιοντίζελ) ή για θερμαντικά έλαια. Αν τα έλαια χρησιμοποιηθούν ως έχουν δημιουργείται πρόβλημα με αποθέσεις άνθρακα στο σύστημα εισαγωγής του καυσίμου στις μηχανές ντίζελ. Τέτοια φυτά είναι η ελαιοκράμβη (rapeseed, *Brassica Campestris* – το πιο διαδεδομένο, βρίσκεται με το εμπορικό όνομα Canola στη Βόρεια Αμερική), ο ηλιόσπορος, η σόγια κ.ά. Η θερμαντική αξία ορισμένων βιοελαίων είναι: έλαιο κράμβης 40,5 MJ/kg, ηλιόσπορος 39,7 MJ/kg (για σύγκριση, ντίζελ 38,5 MJ/kg). Τέλος, τονίζεται ότι συχνά χρησιμοποιούνται μίγματα βιοντίζελ και προϊόντων πετρελαίου.

Το **βιοντίζελ** μπορεί να παραχθεί από νέα ή χρησιμοποιημένα φυτικά έλαια και ζωικά λίπη, τα οποία δεν είναι τοξικά, είναι βιοαποικοδομήσιμα και είναι ανανεώσιμα. Τα έλαια και τα λίπη αντιδρούν με μία αλκοόλη (συνήθως μεθανόλη, η οποία προσεγγιστικά χρησιμοποιείται σε ποσοστό 10%) και παράγουν χημικές ουσίες γνωστές με το όνομα λιπαροί μεθυλεστέρες. **Βιοντίζελ** είναι το όνομα που δίνεται σε αυτές τις ενώσεις όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα. Ως παραπροϊόν παράγεται γλυκερίνη.

Τα καύσιμα βιοντίζελ μπορούν να παραχθούν με πολλές τεχνολογίες. Αρχικά, τα έλαια και τα λίπη διηθούνται και κατεργάζονται ώστε να απομακρυνθούν το νερό και οι προσμίξεις. Τα κατεργασμένα έλαια και λίπη ακολούθως αναμιγνύονται με μία αλκοόλη και τον καταλύτη. Τα μόρια των ελαίων (τριγλυκερίδια) διασπώνται και μετατρέπονται σε εστέρες και γλυκερίνη, τα οποία εν συνεχεία διαχωρίζονται και εξευγενίζονται. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνήθως οποιαδήποτε έλαια, ακόμη και χρησιμοποιημένα μαγειρικά έλαια. Άλλες τεχνολογίες για την παραγωγή βιοντίζελ είναι η υδρογόνωση φυτικών ελαίων και ζωικών υλών και οι θερμοκαλυτικές διεργασίες.



εστέρας 1 + αλκοόλη 1 ↔ εστέρας 2 + αλκοόλη 2



9.4. Καύση βιομάζας

Η συνηθέστερη χρήση της βιομάζας, η οποία χρησιμοποιείται από τότε που ο άνθρωπος ανακάλυψε τη φωτιά, είναι η άμεση καύση της. Το ξύλο, ως στερεό καύσιμο, είναι αρκετά διαδεδομένο ακόμα και σήμερα σε πολλές αγροτικές περιοχές της χώρας μας. Η θερμαντική αξία του αποξηραμένου ξύλου είναι κατά μέσο όρο 4500 kcal/kg ή 20 MJ/kg.

Στη διαδεδομένη αυτή τεχνολογία γίνεται άμεση καύση της βιομάζας με περίσσεια οξυγόνου. Χρησιμοποιείται παραδοσιακά κυρίως για θέρμανση χώρων και μαγείρεμα, ενώ σήμερα χρησιμοποιείται και για παραγωγή ατμού για ηλεκτρισμό. Η θερμογόνος αξία πολλών ειδών βιομάζας δίνεται στον Πίνακα 9.1 και στο Παράρτημα Ι. Όπως φαίνεται στον πίνακα αυτό η μέση τιμή της θερμογόνου δύναμης της ξυλείας είναι περίπου 10 MJ/kg. Η αύξηση της θερμοκρασίας ενός λίτρου νερού κατά 1°C απαιτεί 4,2 kJ θερμότητας. Έτσι για να φέρουμε ένα λίτρο νερού στο σημείο βρασμού απαιτούνται περίπου 400 kJ, θερμότητα που ισοδυναμεί με 40 g ξυλείας. Στην πράξη βέβαια, με μια απλή ανοικτή φωτιά, χρειαζόμαστε τουλάχιστον 50 φορές αυτήν την ποσότητα ξυλείας γιατί η απόδοση της παραδοσιακής, ανοικτής καύσης δεν υπερβαίνει το 2%. Αλλά, με καλά σχεδιασμένες θερμάστρες η απόδοση μπορεί να φτάσει το 25%.

Πίνακας 5.1. *Τυπικές τιμές θερμογόνου αξίας βιοκαυσίμων*

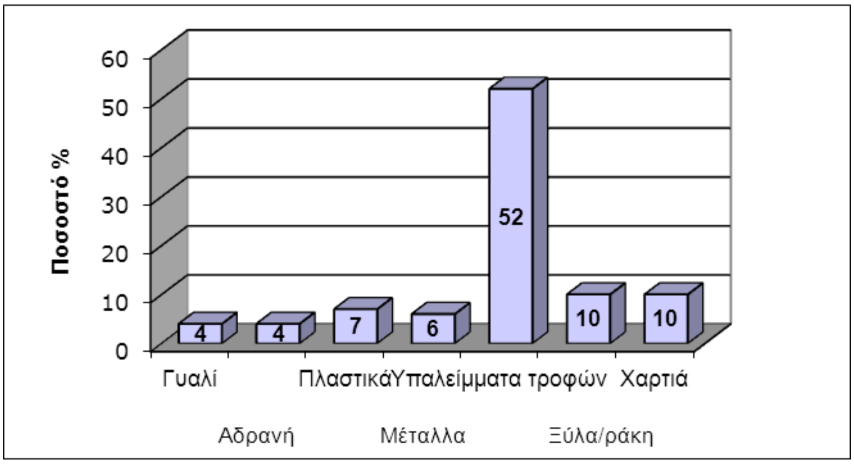
Βιοκαύσιμα	Καθαρή θερμογόνος αξία (MJ/kg)
Ξυλεία (υγρή, πρόσφατη κοπή)	10,9
Ξυλεία (ξήρανση στο αέρα, 20% υγρασία)	16,6
Ξυλεία (ξήρανση σε φούρνο)	20,0
Ξυλάνθρακας	29,0
Κατάλοιπα αποχύμωσης ζαχαροκάλαμου (υγρό)	8,2
Φλούδες καφέ	16,0
Φλούδες ρυζιού (αποξηραμένες)	14,4
Άχυρα σιταριού	15,2
Κοτσάνια καλαμποκιού	14,7
Κώνοι καλαμποκιού	15,4
Κοτσάνια βαμβακιού	16,4
Οικιακά απορρίμματα	9,0
Χαρτί	17,0
Αιθανόλη	27,6
Μεθανόλη	20,9

Αέρια από βιομάζα	Καθαρή θερμογόνος αξία (MJ/m^3)
Καύσιμο αέριο	5,9
Βιοαέριο	22,5

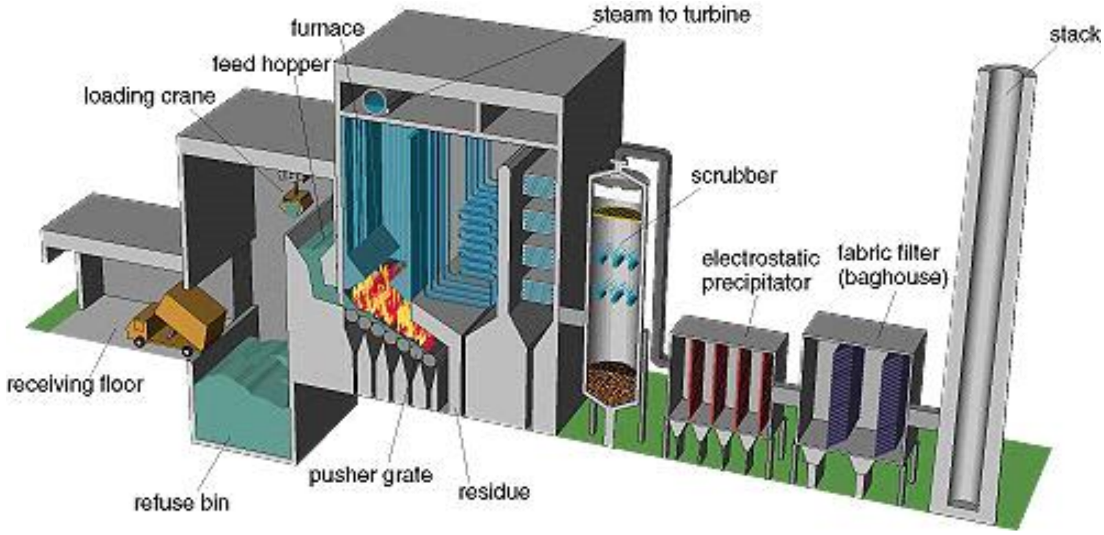
Η καύση του ξύλου επιτελείται σε δύο στάδια, επειδή το ξύλο περιέχει δύο καύσιμα: την πτητική ύλη (που συχνά «απελευθερώνεται» χωρίς να καεί) και το απανθράκωμα (char). Χαρακτηριστικό των βιοκαυσίμων είναι ότι περίπου τα τρία τέταρτα της ενέργειας τους βρίσκεται στην πτητική ύλη, σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στους γαιάνθρακες. Επομένως, είναι σημαντικό για το σχεδιασμό κάθε θερμάστρας, φούρνου ή λέβητα με βιοκαύσιμα να διασφαλίζεται η καύση της πτητικής ύλης και όχι να διαφεύγει αυτή από την καπνοδόχο. Καλύτερη καύση επιτελείται όταν η καύσιμη ύλη εισάγεται σε μικρά κομμάτια.

Για μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης παρουσιάζεται πρόβλημα της διαρκούς τροφοδοσίας σε βιομάζα σε συνδυασμό με τη δαπανηρή μεταφορά του. Στην Ευρώπη χρησιμοποιείται σε σημαντικό βαθμό για τηλεθέρμανση αγροτικών κατά το πλείστον οικισμών σε αρκετές χώρες (Σουηδία, Δανία, Αυστρία). Η **συν-καύση** (co-firing) αναφέρεται στην πρακτική της εισαγωγής της βιομάζας (ξυλεία σε ποσοστό 5-15%) σε υψηλής απόδοσης λέβητες με άνθρακα ως συμπληρωματικού καυσίμου και αποτελεί ελπιδοφόρα τεχνική, η οποία είναι ανταγωνιστική των συμβατικών καυσίμων.

Και η καύση των οικιακών απορριμμάτων αποτελεί μέθοδο παραγωγής ενέργειας (σε αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες), αν και τα απορρίμματα απέχουν πολύ από το να είναι ιδανικά καύσιμα, ιδιαίτερα με τρόπο που σήμερα αυτά συλλέγονται Η σύστασή τους και, κυρίως, η υγρασία τους ποικίλλουν σε σχέση με το κλίμα, τις διατροφικές συνήθειες, την εποχή του έτους, το βιοτικό επίπεδο κτλ. Τυπική σύσταση απορριμμάτων της Θεσσαλονίκης δίνεται στο Σχήμα 9.1, ενώ σχηματικό διάγραμμα καύσης απορριμμάτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.2. Γενικά, και ειδικότερα στην Ελλάδα, η υγρασία των απορριμμάτων είναι υψηλή, η ενεργειακή τους πυκνότητα μικρή και δαπανηρή η διαλογή και η μεταφορά τους.



Σχήμα 9.1. *Τυπική σύσταση των οικιακών απορριμμάτων της Θεσσαλονίκης.*



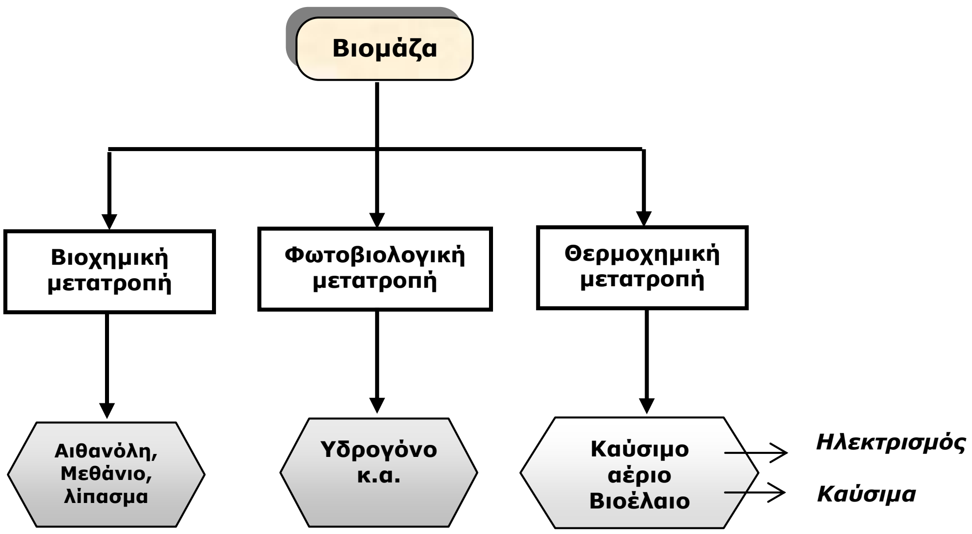
Σχήμα 9.2. *Σχηματικό διάγραμμα μονάδας καύσης απορριμμάτων. Οι σύγχρονες εγκαταστάσεις καύσης των απορριμμάτων χρησιμοποιούν χημικές και φυσικές διεργασίες για την απομάκρυνση των παραγόμενων ρυπαντών. Τα απορρίμματα πρέπει να αερίζονται επαρκώς και να διατηρούν την κατάλληλη θερμοκρασία για να επιτυγχάνεται πλήρης καύση. Τα αέρια καύσης περνούν από το λέβητα και θερμαίνουν νερό, πριν να οδηγηθούν στη διάταξη κατακράτησης των όξινων αερίων. Τα στερεά συστατικά απομακρύνονται είτε ηλεκτροστατικά είτε με σακόφιλτρα.*

9.5 Μετατροπή της Βιομάζας

Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμα προϊόντα (στερεά, υγρά ή αέρια) με μεγαλύτερη προστιθέμενη αξία (αναβάθμιση της βιομάζας). Η μετατροπή αυτή της βιομάζας γίνεται κυρίως με δυο γενικές κατηγορίες διεργασιών: (α) Τις **θερμοχημικές διεργασίες**, όπου θερμότητα ή/και καταλύτες χρησιμοποιούνται για να αποσυντεθεί η βιομάζα σε ενδιάμεσα ή τελικά προϊόντα (διεργασίες αεριοποίησης, πυρόλυσης). (β) Τις **βιοχημικές διεργασίες**, όπου διάφοροι μικρο-οργανισμοί και ένζυμα χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν τη βιομάζα σε χρήσιμα προϊόντα (ζύμωση και αναερόβια χώνευση).

Μια τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει τις **φωτοβιολογικές διεργασίες**, οι οποίες στοχεύουν στη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε καύσιμα και χημικά με μεγαλύτερη απόδοση από ότι η διεργασία της φωτοσύνθεσης. Για παράδειγμα, οι φωτοσυνθετικές δραστηριότητες των βακτηρίων και των χλωροφυκών έχουν χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή υδρογόνου από το νερό και το φως. Οι διάφορες διεργασίες μετατροπής παρουσιάζονται στο Σχήμα 9.3.

Η μετατροπή της βιομάζας, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, είναι ακόμη μη αποδοτική και δαπανηρή. Προς το παρόν η οικονομικότερη λύση είναι η «συν-καύση» με άλλα καύσιμα (ακόμη και για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος).

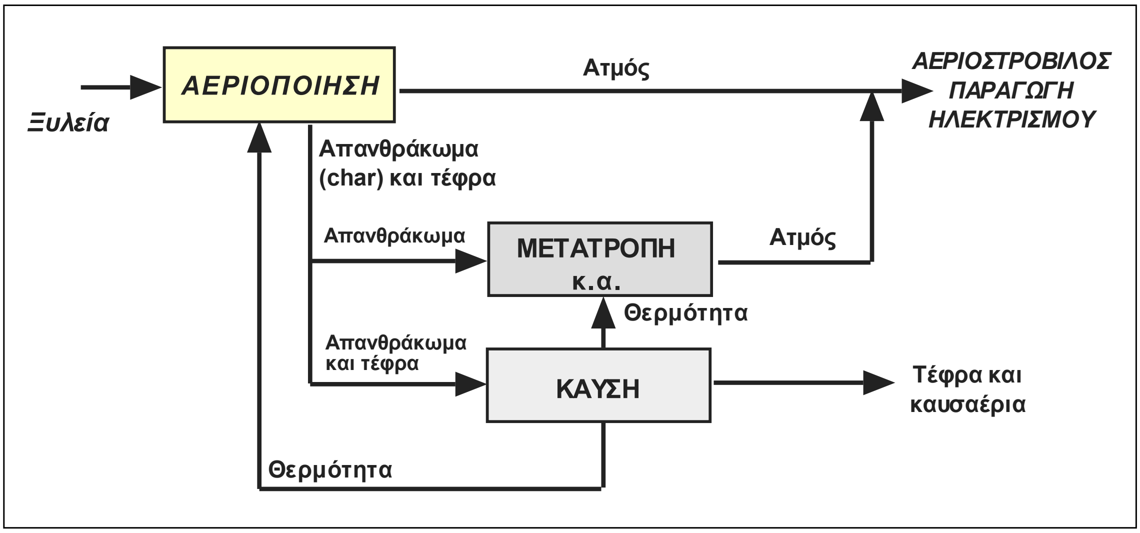


Σχήμα 9.3. *Σχήματα μετατροπής- αναβάθμισης της βιομάζας.*

9.5.1 Θερμοχημικές διεργασίες

Ειδικότερα χρησιμοποιούνται οι τεχνολογίες:

(1) Αεριοποίηση. Ο όρος αεριοποίηση (gasification) αναφέρεται σε σειρά χημικών διεργασιών κατά τις οποίες το στερεό καύσιμο αντιδρά σε κατάλληλες συνθήκες με ατμό και αέρα ή οξυγόνο για την παραγωγή αέριων καυσίμων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας, σε μηχανές εσωτερικής καύσης ή σε λέβητες (Σχήμα 9.4). Η διεργασία περιλαμβάνει τη θέρμανση της βιομάζας σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 300°C και μέχρι 1000°C και πίεση από 1 atm μέχρι και 30 atm για την παραγωγή ενός καύσιμου αερίου με μικρή ή ενδιάμεση θερμογόνο δύναμη (περίπου 4-10 MJ/Nm^3) και του απανθρακώματος. Η χρήση καθαρού οξυγόνου αυξάνει την απόδοση της διεργασίας, αλλά και το κόστος. Το αέριο αυτό μίγμα αποτελείται από CO, H_2, CH_4 μαζί με CO_2 και άζωτο. Η σύσταση του μίγματος εξαρτάται από τις συνθήκες της διεργασίας και από το αν χρησιμοποιείται αέρας ή οξυγόνο. Κάτω από ορισμένες συνθήκες (παρουσία οξυγόνου και όχι αέρα) μπορεί να παραχθεί αέριο συνθέσεως (CO και H_2) για παρασκευή μεθανίου και μεθανόλης.



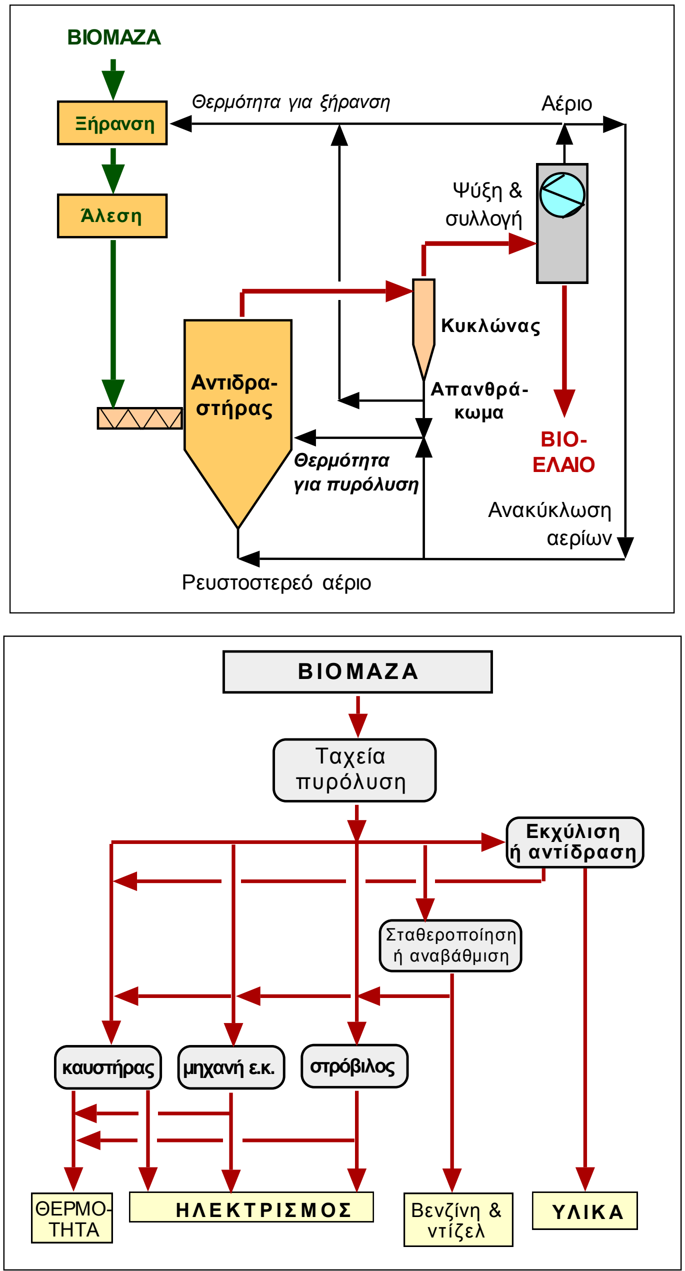
Σχήμα 9.4. *Σχηματικό διάγραμμα της διεργασίας της αεριοποίησης για παραγωγή ηλεκτρισμού.*

Η αεριοποίηση δεν αποτελεί «νέα» τεχνολογία και σε πολλές πόλεις στον κόσμο χρησιμοποιούνταν για δεκαετίες το «φωταέριο», προϊόν αεριοποίησης του άνθρακα, ενώ το αέριο από ξύλα χρησιμοποιούνταν για φωτισμό και θέρμανση πριν από τον Β’ Παγκόσμιο Πόλεμο. Μικρές μονάδες αεριοποίησης (<300 kW) διατίθενται στο εμπόριο σε συνδυασμό με ηλεκτρογεννήτριες, ενώ μεγάλες πιλοτικές μονάδες (10-30 MW) λειτουργούν από τα μέσα της δεκαετίας του 1990. Η απόδοση κυμαίνεται από 40% μέχρι 70%.

(2) Αργή ή συμβατική πυρόλυση. Η διεργασία είναι η απλούστερη και η παλαιότερη μέθοδος επεξεργασίας της βιομάζας με σκοπό την παραγωγή ξυλάνθρακα. Περιλαμβάνει τη θέρμανση, σχεδόν απουσία αέρα, σε θερμοκρασία 300-500°C, μέχρι να απομακρυνθεί παντελώς η πτητική ύλη του ξύλου. Η μέθοδος είναι παραδοσιακή, εφαρμόζεται σε όλα τα μέρη του κόσμου, αλλά δεν είναι πολύ αποδοτική. Με εξελιγμένη τεχνολογία μπορεί να συλλέγεται η πτητική ύλη του ξύλου και να αξιοποιείται. Ο ξυλάνθρακας είναι βιοκαύσιμο με διπλάσια θερμογόνο αξία από ότι το ξύλο και καίγεται σε αρκετά υψηλότερη θερμοκρασία. Για κάθε τόνο παραγόμενου ξυλάνθρακα απαιτούνται 4-10 τόνοι ξυλείας.

(3) Ταχεία πυρόλυση για παραγωγή υγρών καυσίμων. Αναφέρεται στη διεργασία στην οποία η βιομάζα εκτίθεται ταχύτατα σε μεγάλες θερμοκρασίες (στους 800-900°C) με αυστηρά ελεγχόμενες ποσότητες αέρα με αποτέλεσμα τη διάσπαση της βιομάζας (Σχήμα 9.5). Το τελικό προϊόν της πυρόλυσης είναι ένα μίγμα από στερεά (απανθράκωμα-char, περίπου το 10%), υγρά (οξυγονωμένα έλαια) και μη συμπυκνώσιμα αέρια πλούσια σε CO και υδρογόνο. Τα παραγόμενα υγρά (έλαια) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση και παραγωγή ηλεκτρισμού ή για άλλες χρήσεις. Βέβαια με το σημερινό κόστος παραγωγής των προϊόντων αυτών δεν είναι ανταγωνίσιμο με το κόστος των συμβατικών καυσίμων.

(4) Καταλυτική πυρόλυση: αναφέρεται στη χρήση ειδικών καταλυτών για αύξηση της απόδοσης σε ορισμένα προϊόντα. Τα υγρά προϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 9.5. *Σχηματικό διάγραμμα της διεργασίας της ταχείας πυρόλυσης και οι διάφορες εφαρμογές των βιο-ελαίων.*

9.5.2. Βιοχημικές διεργασίες

Περιλαμβάνουν τις τεχνολογίες:

(1) Ζύμωση. Η παραγωγή βιοκαυσίμων με ζύμωση, όπως είναι η αιθανόλη που παράγεται από διάφορα αγροτικά προϊόντα (ζαχαροκάλαμο, σταφύλια, κριθάρι, σιτάρι, καλαμπόκι, φρούτα) χάνεται στα βάθη της ιστορίας. Ζύμωση είναι η αναερόβια βιολογική διεργασία κατά την οποία τα σάκχαρα (π.χ. $C_6H_{12}O_6$) μετατρέπονται σε αιθανόλη με τη βοήθεια μικροοργανισμών. Το προϊόν της ζύμωσης περιέχει μόνο 10% αιθανόλη, η οποία θα πρέπει να ληφθεί με απόσταξη, κάτι που απαιτεί μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Μέρος της ενέργειας μπορεί να καλυφθεί από την καύση των φυτικών υπολειμμάτων. Αν και υψηλού κόστους, τα κύριο πλεονέκτημα της βιοαιθανόλης είναι η ευκολία χρήσης και μεταφοράς που έχουν τα υγρά καύσιμα.

Δύο κύρια προβλήματα υπάρχουν αυτή τη στιγμή με την παραγωγή καυσίμων από βιομάζα. Το ένα είναι η ποιότητα των βιοκαυσίμων, που είναι χειρότερη από την ποιότητα των συμβατικών καυσίμων, και το άλλο είναι το υψηλότερο κόστος που έχουν σήμερα (λόγω του υψηλού κόστους της πρώτης ύλης). Βέβαια για μερικές χώρες με άφθονα αγροτικά προϊόντα, όπως είναι η Βραζιλία, η παραγωγή αιθανόλης μπορεί να υποκαταστήσει (και έχει υποκαταστήσει) σε κάποιο βαθμό τα συμβατικά καύσιμα. Το πρόγραμμα παραγωγής βιοαιθανόλης στη χώρα αυτή ξεκίνησε το 1975, όταν οι τιμές του πετρελαίου ήταν υψηλές και της ζάχαρης χαμηλές. Τα περισσότερα αυτοκίνητα κινούνται με μίγμα αιθανόλης και βενζίνης σε ποσοστό 26%. Η οικονομική διάσταση της παραγωγής βιομάζας είναι αβέβαια, και εξαρτάται προφανώς από την τιμή του πετρελαίου.

Παραγωγή αιθανόλης από καλαμπόκι

Διαδικασίες μετατροπής καλαμποκιού (ή άλλων αμυλούχων καρπών) σε καύσιμο:

- Τα κοτσάνια και οι κώνοι αλέθονται και αναμιγνύονται με νερό.
- Θερμαίνονται για μετατροπή του αμύλου σε σάκχαρα.
- Ζύμωση των σακχάρων σε αιθανόλη
- Απόσταξη για να ληφθεί η αιθανόλη και απομάκρυνση της υγρασίας
- Ανάμιξη της αιθανόλης με συμβατικά καύσιμα

Η τεχνολογία αυτή αποτελεί την κύρια μέθοδο παραγωγής αιθανόλης στις Η.Π.Α. Τα συστήματα παραγωγής της βιοαιθανόλης ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη δυναμικότητά τους:

Συστήματα	Δυναμικότητα (L/ημέρα)
Μικρά	<200
Μεσαία	200-20.000
Μεγάλα	>20.000

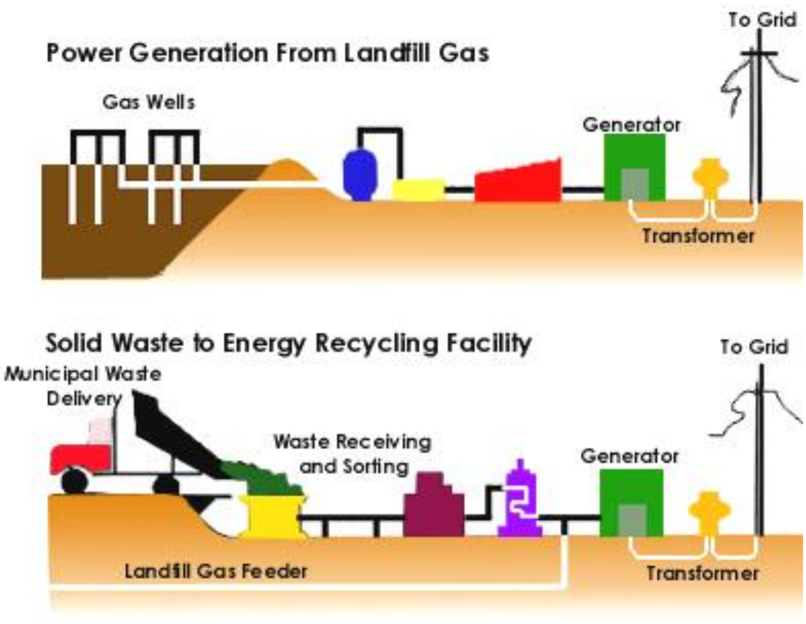
Τα μεσαία συστήματα φαίνονται να είναι ιδανικά συστήματα για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Οι αποδόσεις αιθανόλης ανά τόνο ακατέργαστης βιομάζας και ανά καλλιεργήσιμο στρέμμα δίνονται στον Πίνακα 9.5.

Πίνακας 9.5. *Αποδόσεις σε αιθανόλη διαφόρων καλλιεργειών.*

Υλικό	Λίτρα/τόνο βιομάζας	Λίτρα/στρέμμα & έτος
Ζαχαροκάλαμο	70	40-1200
Καλαμπόκι, σιτάρι	360	25-200
Ξυλεία	160	16-400
Μανιόκα (ρίζες) -cassava	180	50-400
Γλυκοπατάτες (ρίζες)	120	100-450

(2) Αναερόβια ζύμωση. Είναι η διεργασία κατά την οποία η οργανική ύλη αποσυντίθεται ύστερα από βακτηριακή δραστηριότητα απουσία οξυγόνου και παράγεται ένα μίγμα μεθανίου (σε ποσοστό 50-60%) και άλλων αερίων, όπως CO_2. Αποτελεί φυσική διεργασία που επιτελείται στο βυθό λιμνών ή ελών, όπου επικρατούν αναερόβιες συνθήκες. Αναερόβια ζύμωση γίνεται και σε περιπτώσεις που σχετίζονται με ανθρώπινες δραστηριότητες και δύο από αυτές έχουν αναπτυχθεί εμπορικά για την ανάκτηση ενέργειας: παραγωγή βιοαερίου (1) από κτηνοτροφικά λύματα ή την κοπριά των ζώων (biogas) και (2) από την ταφή των οικιακών απορριμμάτων στις χωματερές (landfill gas). Το βιοάεριο από τις χωματερές μπορεί να καεί επιτόπου για παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχήμα 9.6. Σπανιότερα, και στην περίπτωση που είναι πολύ καθαρό μπορεί να προστεθεί στο δίκτυο του φυσικού αερίου. Οι μονάδες αναερόβιας ζύμωσης με κοπριά κυμαίνονται από 1 m^3 (για ένα νοικοκυριό), μέχρι και 2000 m^3, για μια εμπορική εγκατάσταση. Το βιοαέριο που παράγεται μπορεί να καεί επιτόπου για μαγείρεμα, θέρμανση ή να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές εσωτερικής καύσης για παραγωγή ηλεκτρισμού. Από την άλλη μεριά, το βιοαέριο από χωματερές χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Σήμερα στο χώρο υγειονομικής ταφής Ταγαράδων Θεσσαλονίκης και Ψυτάλλειας Αττικής υπάρχουν μικρές μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού με βιοαέριο.

Μετατροπή βιομάζας σε μεθάνιο:
- Αναερόβια ζύμωση των οικιακών απορριμμάτων
- 1 τόνος λάσπης μετατρέπεται σε ~10^6 BTU (32% ισοδύναμο για άνθρακα)
- Η διεργασία μετατροπής δαπανηρή αλλά αποδοτική (50-70%)
- Η οικονομικότητα εξαρτάται από το οργανικό περιεχόμενο
- Προς το παρόν ακριβότερο το βιοαέριο από το φυσικό αέριο.



Σχήμα 9.6. *Παραγωγή ηλεκτρισμού από αέριο χωματερών*

9.6. Πλεονεκτήματα – περιορισμοί

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα από την αξιοποίηση της βιομάζας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

(1) Στον ενεργειακό τομέα

- Εναλλακτική μορφή ενέργειας, η οποία δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

- Εναλλακτικά καύσιμα, μη επηρεαζόμενα από την τιμή του πετρελαίου.

(2) Στον τομέα του περιβάλλοντος

- Μείωση των αναγκών σε ορυκτά καύσιμα
- Μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (κυρίως CO_2), ελαχιστοποίηση εκπομπών CO (μόλις το 15% από τις αντίστοιχες εκπομπές των ορυκτών καυσίμων), HC, όξινων αερίων (καθόλου SO_2 και ελάχιστο NO_x, δηλαδή μείωση της όξινης βροχής). Λιγότερη τέφρα από τον άνθρακα.
- Μείωση όγκου των απορριμμάτων και των παραπροϊόντων των λυμάτων: μειώνει το πρόβλημα της διάθεσής τους, αλλά και των σημαντικών ποσοτήτων του μεθανίου που προκύπτουν από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Υπενθυμίζεται ότι ένα μόριο μεθανίου είναι σχεδόν 25 φορές περισσότερο ενεργό από ένα μόριο CO_2 στην παγίδευση της υπεριώδους ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τη γη.
- Προστασία δασών από πυρκαγιές με ελεγχόμενη υλοτόμηση

Αέρια ρύπανση από την καύση βιομάζας :

- CO = 15% από ότι προέρχεται από τη βενζίνη των αυτοκινήτων
- Σωματίδια = 30% από ότι οι μονάδες που καίνε γαιάνθρακα
- Οξείδια θείου = όχι
- Υδρογονάνθρακες = 10% από ότι προέρχεται από τη βενζίνη των αυτοκινήτων
- Οξείδια αζώτου = 5% από ότι προέρχεται από τη βενζίνη των αυτοκινήτων

Σχήμα 9.8. *Η πιλοτική μονάδα πυρόλυσης της βιομάζας στη Βούλπη Ευρυτανίας.*

(3) Κοινωνικά –οικονομικά οφέλη

- Μείωση εξάρτησης από τα (εισαγόμενα κυρίως) ορυκτά καύσιμα – εξοικονόμηση συναλλάγματος.
- Ανάπτυξη απομακρυσμένων αγροτικών περιοχών, συγκράτηση πληθυσμών.
- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.

- Συνεισφορά της ανάπτυξης της γεωργίας.

Περιορισμοί στην ανάπτυξη της βιομάζας

- Μεγάλο κόστος μεταφοράς. Αντιμετώπιση: μονάδες μετατροπής στο χώρο παραγωγής.
- Η αλόγιστη χρήση μπορεί να οδηγήσεις σε «αποδάσωση».
- Κατά την ατελή καύση της ξυλείας παράγονται οργανικά σωματίδια, CO και οργανικά αέρια.
- Οι τεχνολογίες ακόμη είναι αντιοικονομικές.
- Η καύση της βιομάζας δημιουργεί ιπτάμενη τέφρα, η οποία πρέπει να συλλεχθεί και να διατεθεί κατάλληλα. Επίσης, απαιτείται κατάλληλη επεξεργασία των υγρών που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του βιοαερίου.

9.7 Το μέλλον της Βιομάζας

Η βιομάζα έχει τη δυνατότητα να συνεισφέρει σε σημαντικό βαθμό στην ενεργειακή κατανάλωση με οικονομικά και αειφόρο τρόπο. Συγχρόνως, μπορεί να βοηθήσει διάφορες χώρες να καλύψουν τους στόχους τους για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου.

Για τις βιομηχανικές χώρες οι κύριες τεχνολογίες της βιομάζας που αναμένεται να εφαρμόζονται στο μέλλον είναι η άμεση καύση φυτικών υπολειμμάτων και απορριμμάτων, η παραγωγή βιοαιθανόλης και βιοντίζελ και η συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ισχύος από ενεργειακές φυτείες. Το μέλλον της παραγωγής ηλεκτρισμού έγκειται στην ολοκλήρωση των συστημάτων με την τεχνολογία των αεριοστροβίλων, που δίνουν αυτή τη στιγμή τις υψηλότερες αποδόσεις.

Αναφορικά με τις αναπτυσσόμενες χώρες εκτιμάται ότι το 2050 ποσοστό 90% του παγκόσμιου πληθυσμού θα κατοικεί σε αυτές τις χώρες. Επειδή σε αυτές τις χώρες η βιομάζα παίζει και θα συνεχίσει να παίζει σημαντικό ρόλο (για θέρμανση και μαγείρεμα), είναι σημαντικό να ενισχυθούν οι προσπάθειες για περισσότερο αποδοτική παραγωγή και μετατροπή της βιομάζας.

Στρατηγικές για αύξηση της χρήσης βιομάζας

- Ανάπτυξη ειδικών καλλιεργειών
- Εναλλαγή δασικών ειδών (ήδη χρησιμοποιείται σε άλλους τομείς)
- Βελτίωση της απόδοσης των καυστήρων βιομάζας (τώρα 10-30%)

9.8. Η Βιομάζα και τα Βιοκαύσιμα στον κόσμο, την Ευρώπη και την Ελλάδα

Ο στόχος της Ε.Ε. για συμμετοχή των ΑΠΕ στο 10% της ενεργειακής κατανάλωσης το 2020 στις μεταφορές βασίζεται σημαντικά στη δυναμική παρουσία βιοκαυσίμων. Η οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθορίζει τα κριτήρια αειφορίας βιοκαυσίμων για όλα τα βιοκαύσιμα που παράγονται ή καταναλώνεται στην ΕΕ ώστε να διασφαλίζεται ότι παράγονται με βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο

Οι προδιαγραφές του βιοντίζελ που χρησιμοποιείται στις μεταφορές, ορίζεται από την Ευρωπαϊκή προδιαγραφή ΕΝ 14214. Σήμερα στη χώρα μας λειτουργούν αρκετές μονάδες παραγωγής βιοντίζελ. Το βιοντίζελ στην Ελλάδα χρησιμοποιείται προαναμεμειγμένο σε ένα μικρό ποσοστό σε όλες ανεξαίρετα τις ποσότητες του διατιθέμενου στη χώρα πετρελαίου κίνησης. Οι απαιτούμενες ετήσια ποσότητες προέρχονται κατά προτεραιότητα από ελληνικές ενεργειακές καλλιέργειες και πρώτες ύλες, οι οποίες απορροφούνται στο σύνολό τους και μετατρέπονται σε βιοντίζελ στις μονάδες που λειτουργούν στη χώρα. Ορισμένες ποσότητες βιοντίζελ παράγονται είτε από εισαγόμενες πρώτες ύλες είτε εισάγονται ως έτοιμο τελικό προϊόν. Το ποσοστό ανάμειξης βαίνει αυξανόμενο. Η ανάμειξη ξεκίνησε από το τέλος του 2005 με ένα ποσοστό 2,5% κατ' όγκο σε βιοντίζελ, για να αυξηθεί από τις αρχές του 2010 στο 6,5%.

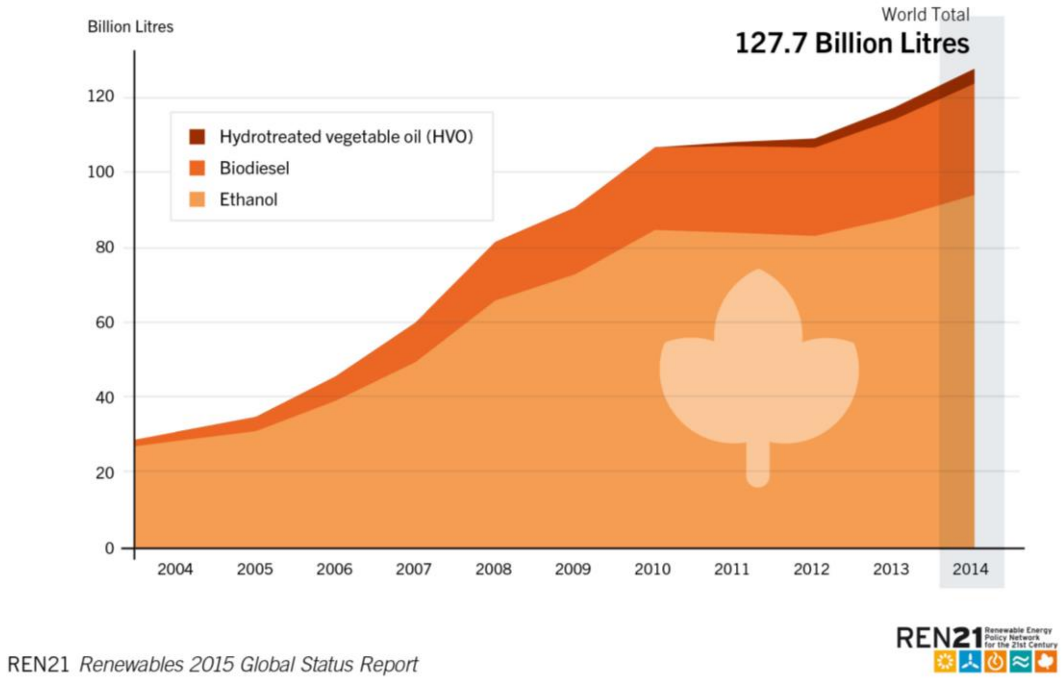
Στην Ε.Ε. η βιοαιθανόλη παρασκευάζεται με ζύμωση ζαχαροτεύτλων, καλαμποκιού, κριθαριού και σιταριού. Η βιοαιθανόλη μπορεί να προστεθεί είτε απευθείας στη βενζίνη (σε μικρό ποσοστό) ή ως τριτοταγής αιθυλικός βουτυλαιθέρας (ethyl tertiary boutyl ether, ETBE), ο οποίος παρασκευάζεται με αντίδραση με ισοβουτάνιο που προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα. Ένας τόνος βιοαιθανόλης αντιστοιχεί σε 0,64 ΤΙΠ. Δύο είναι οι χώρες που κυριαρχούν στην παραγωγή βιοαιθανόλης. Η Βραζιλία, με πρώτη ύλη το ζαχαροκάλαμο, και οι Η.Π.Α., κυρίως από καλαμπόκι. Επίσης, υπό διερεύνηση είναι η παραγωγή βιοαλκοολών από κυτταρινούχες πρώτες ύλες, κάτι που θα μπορούσε να μειώσει στο μισό το κόστος παραγωγής. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει παραγωγή βιοαιθανόλης στην χώρα μας.

Το βιοντίζελ στο μεγαλύτερο ποσοστό (>80%) από την ελαιοκράμβη και δευτερευόντως από τον ηλίανθο και χρησιμοποιείται. Τρεις είναι οι κυριότερες χώρες που παράγουν βιοντίζελ: η Γερμανία (με παραγωγή περίπου 3,2 εκατ. Τόνους το 2013), η Γαλλία και η Ιταλία. Η Ελλάδα το 2013 κατανάλωσε περίπου 140.000 τόνους βιοντίζελ. Η εξέλιξη της παραγωγής βιοκαυσίμων στον κόσμο παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.9.

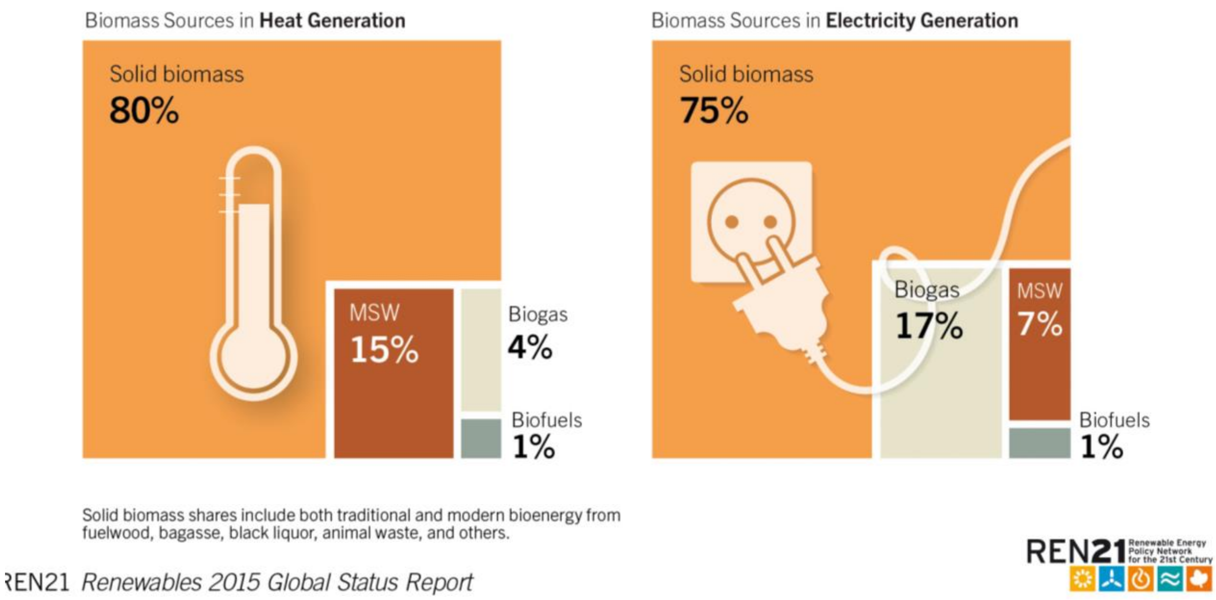
Η κατανάλωσξ στερεής βιομάζας (που περιλαμβάνει δασική ξυλεία, υπολείμματα ξυλείας, πελέτες, υπολείμματα ζαχαροκάλαμου, ζωικά απόβλητα κτλ.) στην ΕΕ-28 έφτασε το 2013 τα 88 εκατ. ΤΙΠ, επιβεβαιώνοντας το σημαντικό ρόλο αυτής της ΑΠΕ στην παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Είναι προφανές ότι η στερεή βιομάζα παγκοσμίως είναι ο κυρίαρχος τύπος βιομάζας (Σχήμα 9.10). Οι χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή στερεής βιομάζας στην Ευρώπη είναι η Γερμανία, η Γαλλία, η Σουηδία και η Φιλανδία.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1) Ποιοι είναι οι κυριότεροι περιορισμοί στην ανάπτυξη της αξιοποίησης της βιομάζας;
2) Σε ποιες περιοχές της χώρας μας θα μπορούσε να υπάρξει αξιοποίηση της βιομάζας;
3) Με ποιες διεργασίες πιστεύετε ότι θα γίνεται στο απώτερο μέλλον η αναβάθμιση της βιομάζας και γιατί;
4) Ποιοι είναι οι κυριότεροι προβληματισμοί από την καύση των απορριμμάτων;
5) Με τα σημερινά δεδομένα, ποιο είναι το καταλληλότερο υγρό καύσιμο για να αντικαταστήσεις τα καύσιμα των μεταφορών;



Σχήμα 9.9. *Εξέλιξη της παραγωγής βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλης, βιοντίζελ και υδρογονωμένων φυτικών ελαίων) στον κόσμο. (Πηγή: REN 21, Renewables 2015 Global Report.)*



Σχήμα 9.10. *Τα μερίδια των διάφορων τύπων βιομάζας στην παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού όπου κυριαρχεί η στερεή βιομάζα. (Πηγή: REN 21, Renewables 2015 Global Report.)*


WOULD YOU LIKE FRIES WITH THAT?!
FISH and CHIPS
HAMBURGERS
THIS TRUCK RUNS ON BIODIESEL!
4×4
BIO DIESEL

10. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

10.1 Εισαγωγή

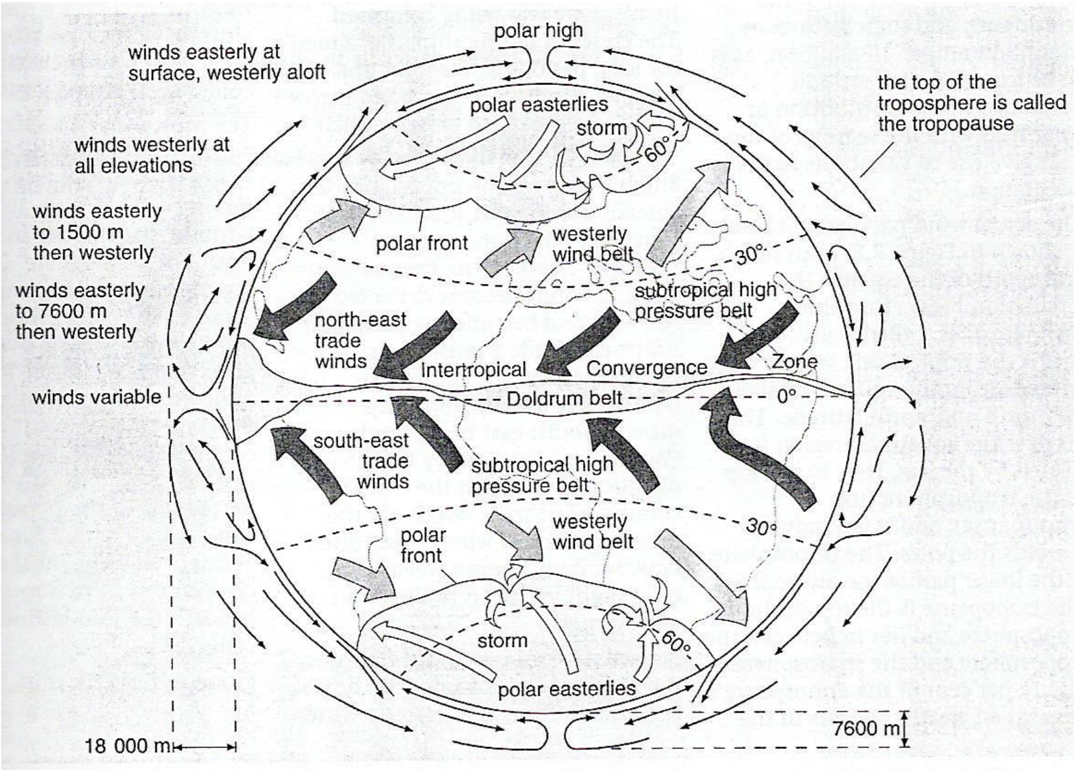
Η **αιολική ενέργεια** άρχισε να χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ήδη από τα τέλη του 19ου αιώνα, αν και ώθηση στη χρήση της έδωσε η πετρελαϊκή κρίση του 1973. Τα τελευταία χρόνια η αιολική ενέργεια αποτελεί μία «ώριμη» ενεργειακή πηγή, με χαμηλό σχετικά κόστος, η οποία μπορεί να παράσχει σημαντικές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται από την καύση των ορυκτών καυσίμων. Την αιολική ενέργεια όμως την αξιοποιούμε εδώ και χιλιάδες χρόνια στα ιστιοφόρα πλοία, για άλεση δημητριακών και για πολλές εφαρμογές μηχανικής ενέργειας. Μόνο στο Άμστερνταμ το 1700 υπήρχαν 700 μεγάλοι ανεμόμυλοι που κινούσαν τη βιομηχανία της Ολλανδίας, το τέλος του 19^{ου} αιώνα βρήκε την Ευρώπη με 100.000 αιολικά συστήματα. Σήμερα υπάρχουν περισσότεροι από ένα εκατομμύριο ανεμόμυλοι για την άντληση νερού, αλλά και για φόρτιση μπαταριών. Οι σύγχρονοι «ανεμόμυλοι» που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζονται **ανεμογεννήτριες** ή **ανεμοκινητήρες (wind generators, wind turbines)** ή καλύτερα **συστήματα μετατροπής της αιολικής ενέργειας (wind energy conversion systems).** Το κόστος των ανεμογεννητριών μειώνεται συνεχώς από το 1980.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών συστημάτων σε όλο τον κόσμο στις αρχές του 2006 έφτανε τα 513.700 MW εγκατεστημένης ισχύος, δηλαδή 10 φορές περισσότερο ισχύ από ότι πριν από 10 χρόνια! Τα μεγαλύτερα αιολικά πάρκα είναι εγκατεστημένα στην Γερμανία, την Δανία (η οποία καλύπτει περίπου το 20% των αναγκών της σε ηλεκτρική ενέργεια από τον άνεμο!), την Ισπανία και στην Καλιφόρνια. Το 70% της αιολικής ηλεκτροπαραγωγής γίνεται σήμερα στην Ε.Ε. και το 18% στην Βόρεια Αμερική. Εκτιμάται για την Ελλάδα ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να καλύψει ποσοστό 15% των αναγκών της χώρας μας σε ηλεκτρική ενέργεια. Στο τέλος του 2005 υπήρχαν εγκατεστημένα περισσότερα από 570 MW σε αιολικά πάρκα, κυρίως στα νησιά του Αιγαίου (Σύρος, Άνδρος, Κάρπαθος, Κύθνος, Σαμοθράκη, Χίος κ.ά.), την Εύβοια, τη Θράκη και την Κρήτη.

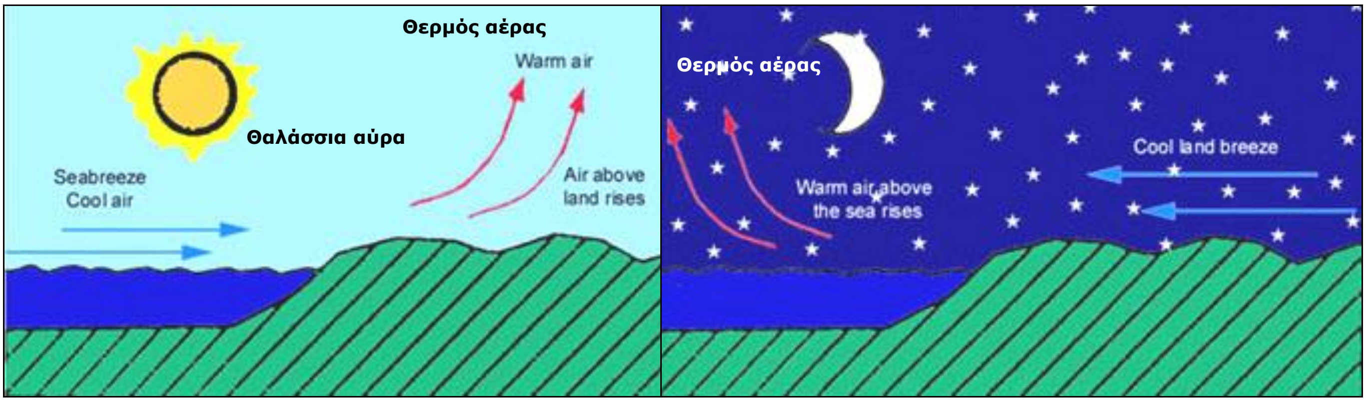
Ο άνεμος είναι μια πηγή ενέργειας που προέρχεται βασικά από τις διαφοροποιήσεις στην ατμοσφαιρική πίεση, οι οποίες από τη μεριά της οφείλονται στην άνιση θέρμανση της επιφάνειας της γης και της θάλασσας από τον ήλιο. Επομένως, η αιολική ενέργεια είναι έμμεση μορφή της ηλιακής ενέργειας και περίπου 1-2% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης μετατρέπεται σε άνεμο. Καθώς ο αέρας θερμαίνεται στις τροπικές ζώνες αρχικά ανυψώνεται στην ατμόσφαιρα και κατόπιν οδεύει χοντρικά προς τους πόλους. Η κίνηση αυτή της ατμόσφαιρας επηρεάζεται σημαντικά από την περιστροφή της γης, η επίδραση της οποίας είναι μεγαλύτερο στον ισημερινό και μηδενική στους πόλους, από την αναλογία της επιφάνειας της ξηράς προς την αντίστοιχη της θάλασσας, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της ξηράς (βουνά, πεδιάδες) και από εποχές του χρόνου. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω δημιουργούνται συγκεκριμένα «πρότυπα» της κίνησης των ανέμων στη γη που αποτυπώνονται στο Σχήμα 10.1.

Άνεμοι δημιουργούνται και σε τοπική κλίμακα με διάφορους μηχανισμούς, όπως η δημιουργία θαλάσσιας ή απόγειας αύρας (Σχήμα 10.2) και τα καθοδικά ρεύματα προς τις κοιλάδες από τα βουνά.

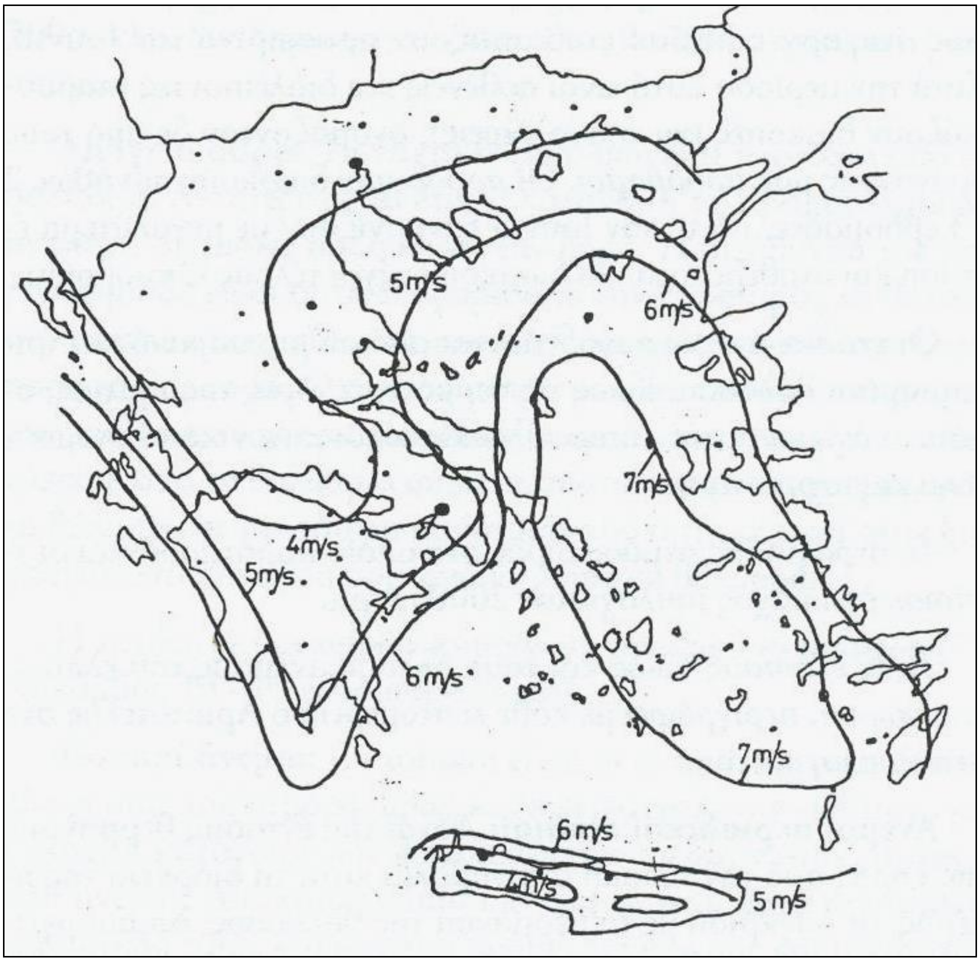
Οι ταχύτητες του ανέμου διαφέρουν με το ανάγλυφο μιας περιοχής και ποικίλλουν σημαντικά με την εποχή και την ημέρα. Για να θεωρηθεί μια περιοχή κατάλληλη για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας θα πρέπει η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου (μετρούμενη 10 m από το έδαφος της γης) να είναι μεγαλύτερη από 4 m/s. Το Σχήμα 10.3 παρουσιάζει τις περιοχές της Ελλάδας όπου λόγω της μεγάλης μέσης ετήσιας ταχύτητας των ανέμων μπορεί να αξιοποιηθεί η αιολική ενέργεια. Τέτοιες περιοχές είναι τα νησιά του Αιγαίου και η Κρήτη.



Σχήμα 10.1. *Απλοποιημένη αναπαράσταση της κυκλοφορίας των ανέμων (Boyle, 1996).*



Σχήμα 10.2. *Σχηματισμός ανέμων από τοπική θέρμανση και ψύξη της ξηράς και της θάλασσας. Κατά τη διάρκεια της ημέρας ο άνεμος φυσάει από τη θάλασσα προς τη στεριά, ως αποτέλεσμα τω διαφορετικών ρυθμών θέρμανσης της ξηράς και της θάλασσας που οφείλονται στις διαφορετικές τιμές της θερμοχωρητικότητας. Η θερμοχωρητικότητα της ξηράς είναι μικρότερη από τη θερμοχωρητικότητα της θάλασσας. Το βράδυ αντιστρέφεται η κατεύθυνση του ανέμου.*



Σχήμα 10.3. *Χάρτης του αιολικού δυναμικού της χώρας μας.*

10.2. Χαρακτηριστικά του Ανέμου

Ο άνεμος αποτελεί ένα ιδιαίτερα μεταβλητό μέγεθος, τόσο κυρίως με το χρόνο, όσο και το ύψος από το έδαφος. Επομένως, για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής χρειάζονται αναλυτικές μετρήσεις της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου. Οι πρώτες γίνονται με τη χρήση συνήθως κυπελλοφόρων ή ελικοφόρων ανεμομέτρων και η δεύτερες με ανεμοδείκτη ακριβείας. Για κάθε περιοχή απαιτείται περίοδος μετρήσεων 6 μηνών με ένα χρόνο, ενώ οι μετρήσεις γίνονται συνήθως σε ύψος 10 m από το έδαφος.

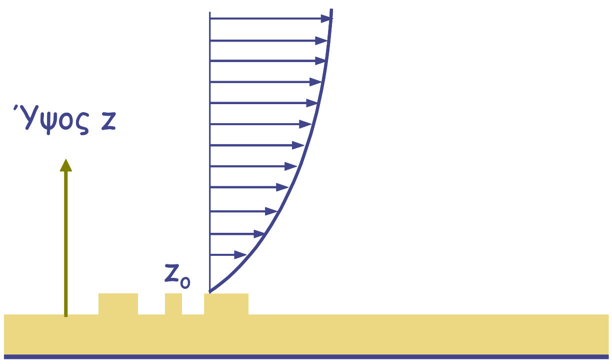
Διακύμανση με το ύψος

Η ένταση του ανέμου αυξάνεται με αύξηση του ύψους και η κατακόρυφη κατανομή του αέρα ακολουθεί τη συμπεριφορά τυρβώδους οριακού στρώματος. Έχουν προταθεί αρκετές προσεγγίσεις, δύο από τις οποίες είναι:

(α) Λογαριθμική κατανομή: η ταχύτητα στο ύψος z δίνεται από τη σχέση:

$$v(z) = k_1 \ln\left(\frac{z}{z_o}\right) + k_2 \qquad (10.1)$$

Οι τραχειές επιφάνειες χαρακτηρίζονται από την παράμετρο z_o, το ύψος της τραχύτητας του εδάφους (z_o=0,01 m για γρασίδι, z_o=0,5 m για δασωμένη περιοχή, z_o=3,0 m για μια πόλη).



(β) Εκθετική κατανομή: εκφράζεται από τη σχέση

$$v(z) = v(z_r) \cdot \left(\frac{z}{z_r} \right)^{\alpha} \tag{10.2}$$

όπου η παράμετρος α εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους και τη διεύθυνση του ανέμου. Τυπικές τιμές του «α» δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Κάλυψη εδάφους	**α**
Λεία επιφ., θάλασσα, άμμος	0,1
Γρασίδι	0,16
Χαμηλές καλλιέργειες	0,18
Ψηλές καλλιέργειες ή θάμνοι	0,20
Ψηλά δέντρα, σπίτια	0,30

Οι καλύτερες θέσεις για παραγωγή αιολικής ενέργειας είναι την κορυφή ομαλών λόφων, μακριά από άλλους λόφους. Γενικά, θα πρέπει να προηγείται επίπεδη επιφάνεια ή θάλασσα για εκατοντάδες μέτρα.

Διακύμανση με το χρόνο

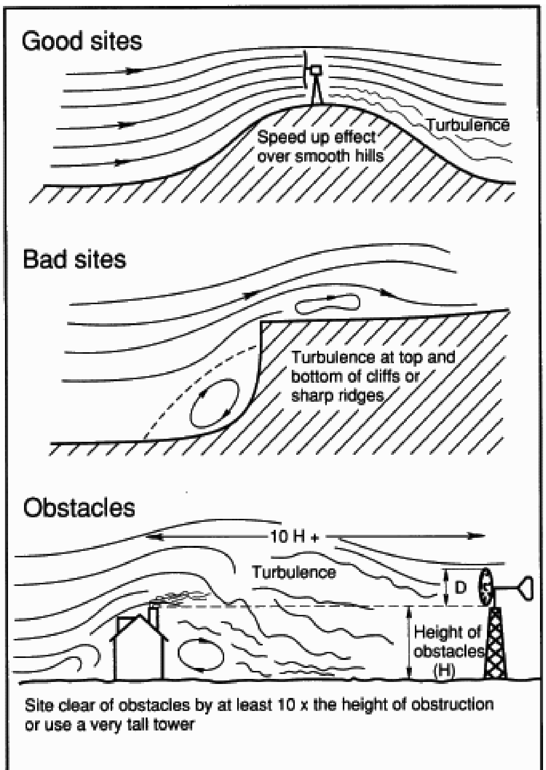
Όπως είναι εύκολα αντιληπτό η ταχύτητα του ανέμου ποικίλλει σημαντικά με το χρόνο και την εποχή. Η παραγόμενη ισχύς από τον άνεμο εξαρτάται από τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF) της ταχύτητας του ανέμου και όχι απλά από τη μέση τιμή του ανέμου σε μία περιοχή. Οι πλέον χρησιμοποιούμενες συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας για το αιολικό δυναμικό είναι η συνάρτηση Weibull και η συνάρτηση Rayleigh.

Η συνάρτηση Weibull γράφεται ως εξής

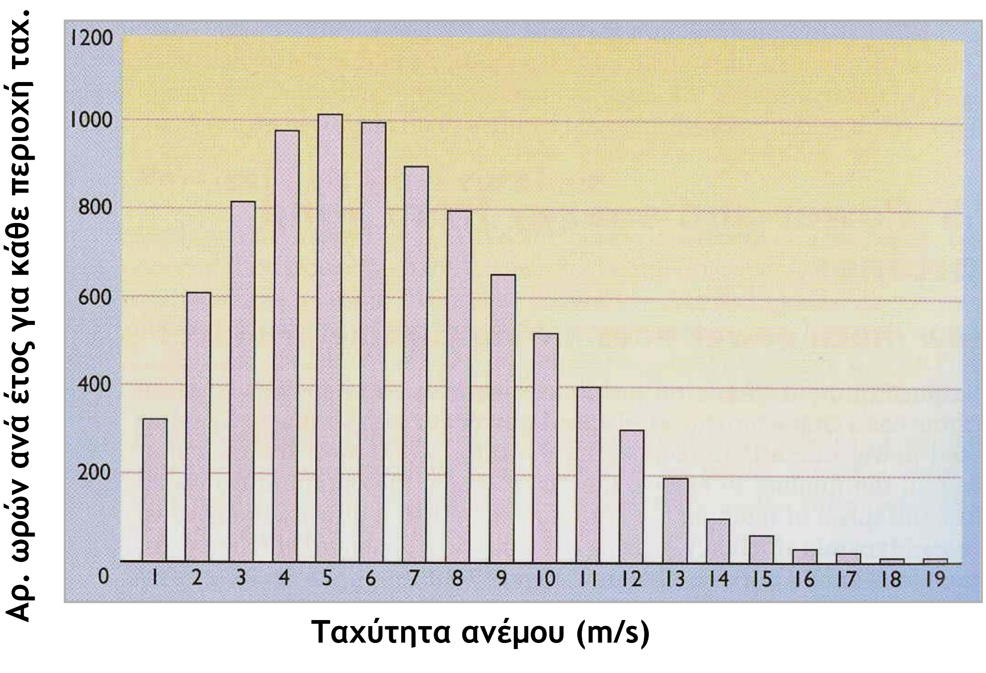
$$f(v) = \left(\frac{k}{c} \right) \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \qquad 0 < v < \infty \tag{10.3}$$

όπου k είναι η παράμετρος σχήματος, συνδέεται με τη τυπική απόκλιση της ταχύτητας και c είναι η λεγόμενη παράμετρος κλίμακας που συνδέεται με τη μέση ταχύτητα

Μια ειδική μορφή της συνάρτησης είναι όταν k=2. Σε αυτή την περίπτωση οδηγούμαστε στην κατανομή Rayleigh που δίνεται ως εξής:



Flow over hills and obstacles



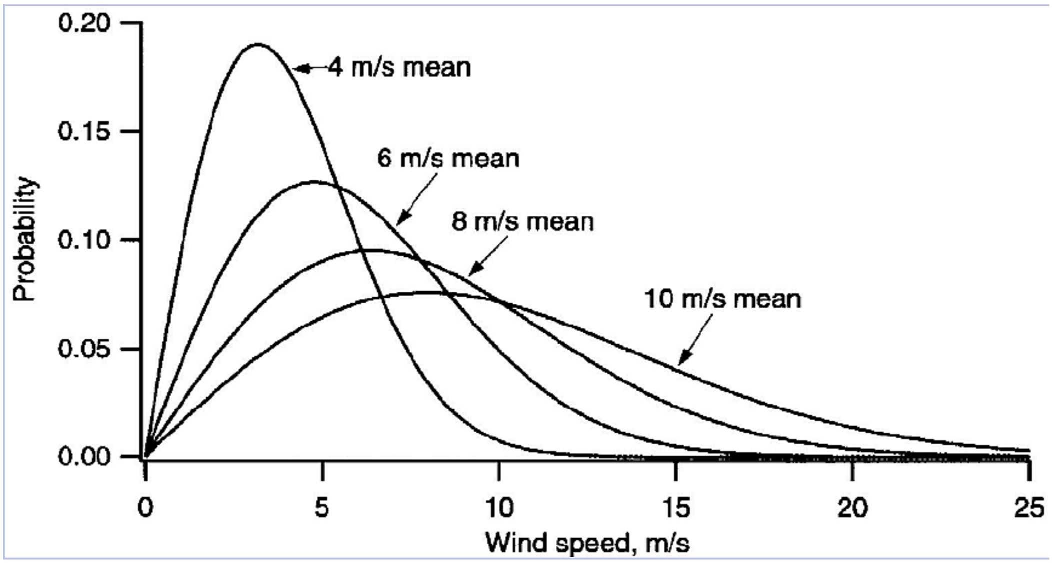
Τυπική κατανομή της ταχύτητας του ανέμου (Boyle, 2004)

$$f(v) = \frac{\pi \cdot v}{2\bar{v}^2} \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{\bar{v}}\right)^2 \right] \qquad (10.4)$$

Η παράμετρος c της Weibull έχει αντικατασταθεί από την $c = 2\bar{v} / \sqrt{\pi}$. Η παραπάνω συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας έχει αποδειχθεί αρκετά αντιπροσωπευτική για το Αιγαίο.

Η αθροιστική πιθανότητα για v≥V δίνεται:

$$f(v \geq V) = \int_{v=V}^{\infty} f(v)dv = \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{V}{\bar{v}}\right)^2\right] \tag{10.5}$$



Η κατανομή Rayleigh για διάφορες τιμές μέσης V (m/s)

Πρόβλημα: Εάν έχουμε μία περιοχή με μέση ταχύτητα ανέμου 7 m/s και υποθέτουμε κατανομή Rayleigh, για πόσες ώρες το χρόνο η ταχύτητα του ανέμου θα είναι μικρότερη από 4 m/s;

Λύση:

Υπολογίζουμε

$$f_{v \leq V} = 1 - \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{V}{\bar{v}}\right)^2\right]$$

$$f_{4 \leq 7} = 1 - \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{4}{7}\right)^2\right] = 1 - 0,7738 = 0,2262$$

Άρα: 0,2262 x 8760 = 1982 ώρες

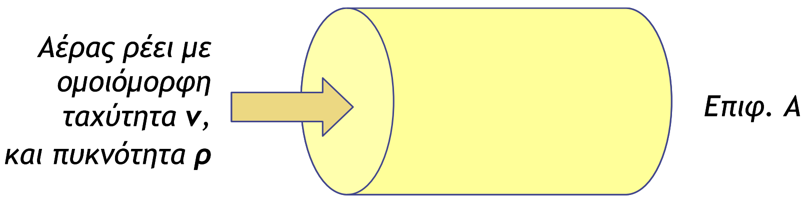
10.3. Διαθέσιμη Ισχύς του Ανέμου

Η ενέργεια που περιέχεται στον άνεμο είναι η κινητική του ενέργεια, η οποία δίνεται από τη σχέση (και σε αναφορά με τον κυλινδρικό όγκο του αέρα που περνάει από την επιφάνεια A με ταχύτητα v, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα):

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \tag{10.6}$$

όπου m είναι η μάζα του αέρα που διέρχεται. Εάν $\dot{m}$ είναι η μαζική παροχή του αέρα (ρAv), σε kg/s, τότε η κινητική ενέργεια του αέρα ανά δευτερόλεπτο (ή ισχύς του ανέμου) δίνεται από τη σχέση:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \qquad (10.7)$$



Επομένως, η ισχύς του ανέμου είναι ανάλογη:

- Της πυκνότητας του αέρα (η πυκνότητα του αέρα μειώνεται με το ύψος και είναι μικρότερη στις τροπικές περιοχές από ότι στις περιοχές με ψυχρό κλίμα).
- Της επιφάνειας μέσω της οποίας διέρχεται
- Του κύβου της ταχύτητας.

Παράδειγμα: Ποια είναι η συνολική ισχύς του ανέμου;

(1) 200 h με 7 m/s

(2) 100 h με 4 m/s και 100 h με 10 m/s

Λύση:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$\rho = 1,225 \;\; kg/m^3 \;\; (1\; atm.,\, 15°C)$$

$$P_{7(m/s)} = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 1\, m^2 \cdot (7 m/s)^3 \cdot 200 \;\; hours = 42,02 \;\; kWh$$

$$P_{4(m/s)} = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 1\, m^2 \cdot (4\;\, m/s)^3 \cdot 100 \;\; hours = 3,92 \;\; kWh$$

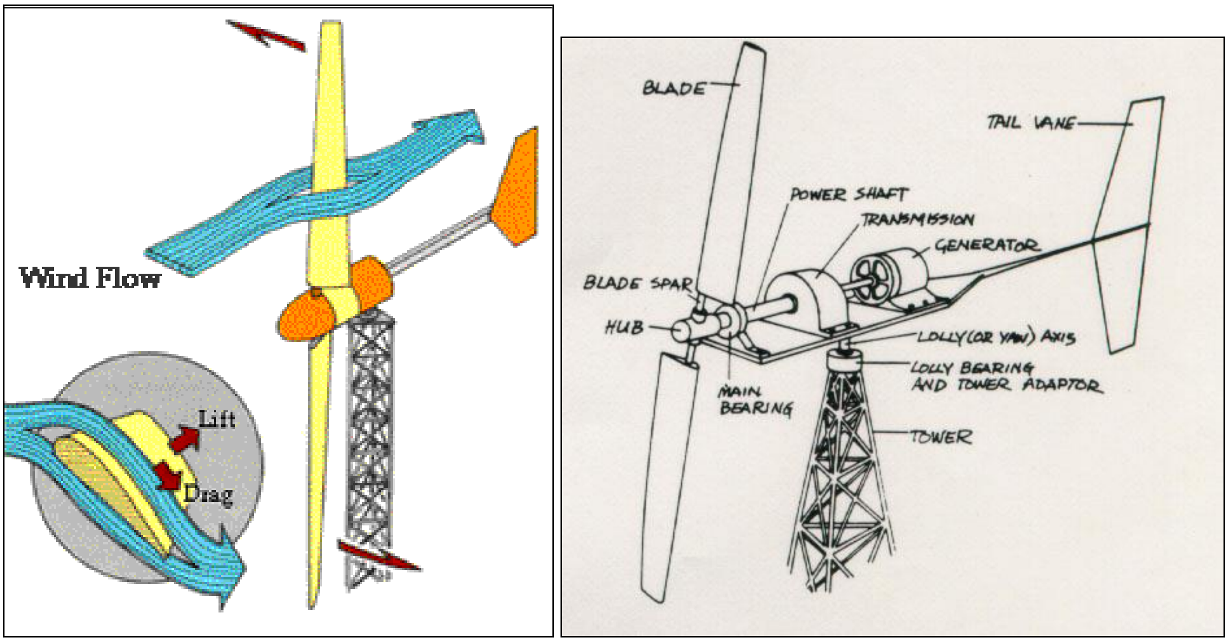
$$P_{10(m/s)} = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 1\, m^2 \cdot (10 m/s)^3 \cdot 100 \;\; hours = 61,25 \; kWh$$

$$P_{4\&10} = 3,92 \; kWh + 61,25 \; kWh = 65,17 \;\; kWh \Rightarrow 55\%$$ περισσότερο

10.4. Είδη Ανεμογεννητριών

Έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί δεκάδες συσκευές για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Συνήθως οι συσκευές αυτές χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: στις συσκευές με οριζόντιο άξονα και στις συσκευές με κατακόρυφο άξονα.

Οι **ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα** έχουν τον άξονά τους παράλληλο προς την επιφάνεια της γης, ο οποίος επίσης περιστρέφεται ώστε να είναι πάντοτε παράλληλος και με τη διεύθυνση του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν συνήθως 2 ή 3 πτερύγια (τύπου έλικας), σε αντίθεση με τους κλασικούς ανεμόμυλους που έχουν πολλά πτερύγια. Το 75% των σύγχρονων ανεμογεννητριών έχουν τρία πτερύγια. Η βελτίωση του σχεδιασμού των ανεμογεννητριών, που συνεχίζεται ακόμη, υποβοηθήθηκε σημαντικά από τις εξελίξεις στον τομέα της αεροδυναμικής (Σχήμα 10.4). Ένα από τα χαρακτηριστικά των σύγχρονων πτερυγίων είναι ο μεγάλος αεροδυναμικός βαθμός απόδοσής τους. Ο δρομέας της ανεμογεννήτριας τοποθετείται συνήθως σε προσήνεμη διάταξη, δηλαδή μπροστά από τον πύργο στήριξης.



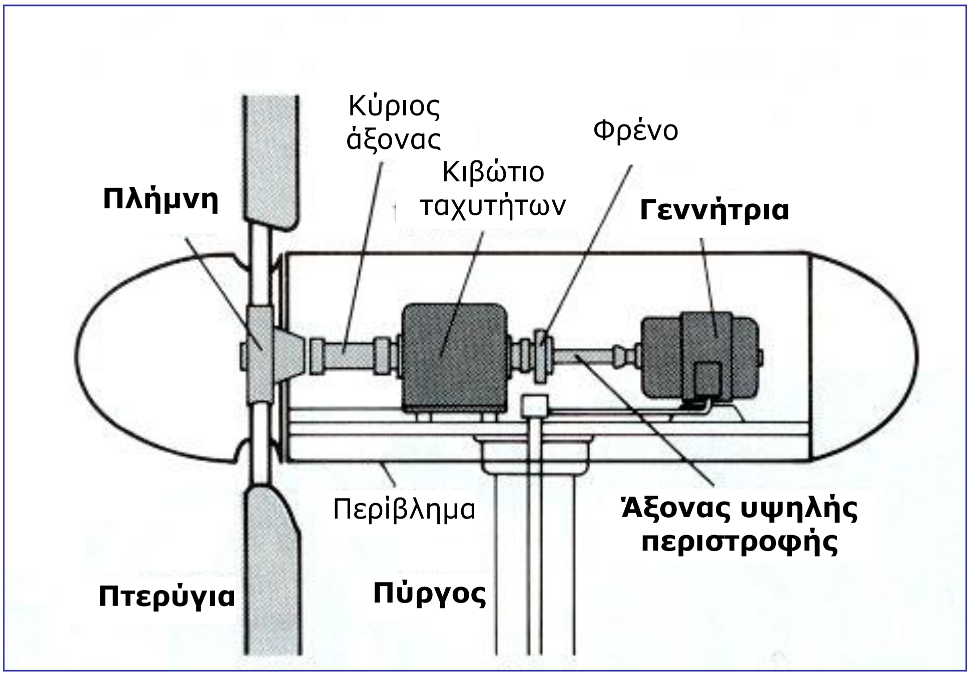
Σχήμα 10.4. *Ροή ανέμου γύρω από το πτερύγιο και σκαρίφημα ανεμογεννήτριας.*

Τα κύρια συστατικά μιας ανεμογεννήτριας είναι ο **δρομέας** ή **πτερωτή** (rotor), το **σύστημα μετάδοσης** (κύριος άξονας, κιβώτιο ταχυτήτων), η **γεννήτρια** (σύγχρονη ή επαγωγική), ο **πύργος** στήριξης στον οποίο είναι τοποθετημένος ο δρομέας, **το σύστημα πέδησης** – δισκόφρενο (γιατί η ανεμογεννήτρια θα πρέπει να σταματά να λειτουργεί σε μεγάλες ταχύτητες του ανέμου) και το **σύστημα σύνδεσης, ελέγχου και αποθήκευσης** (με συσσωρευτές, άντληση νερού κλπ.) της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα 10.5). Τέλος μπορεί να υπάρχει και σύστημα προσανα-τολισμού προς τη διεύθυνση του ανέμου, το οποίο λειτουργεί είτε με κατάλληλους αισθητήρες και σύστημα σερβομηχανισμού ή (σπανιότερα σήμερα) με τη βοήθεια καθοδηγητικού πτερυγίου. Για τον έλεγχο ισχύος της ανεμογεννήτριας είναι απαραίτητη είτε η ρύθμιση του βήματός της, ή ο κατάλληλος αεροδυναμικός σχεδιασμός και η αξιοποίηση του φαινομένου της «απώλειας στήριξης».

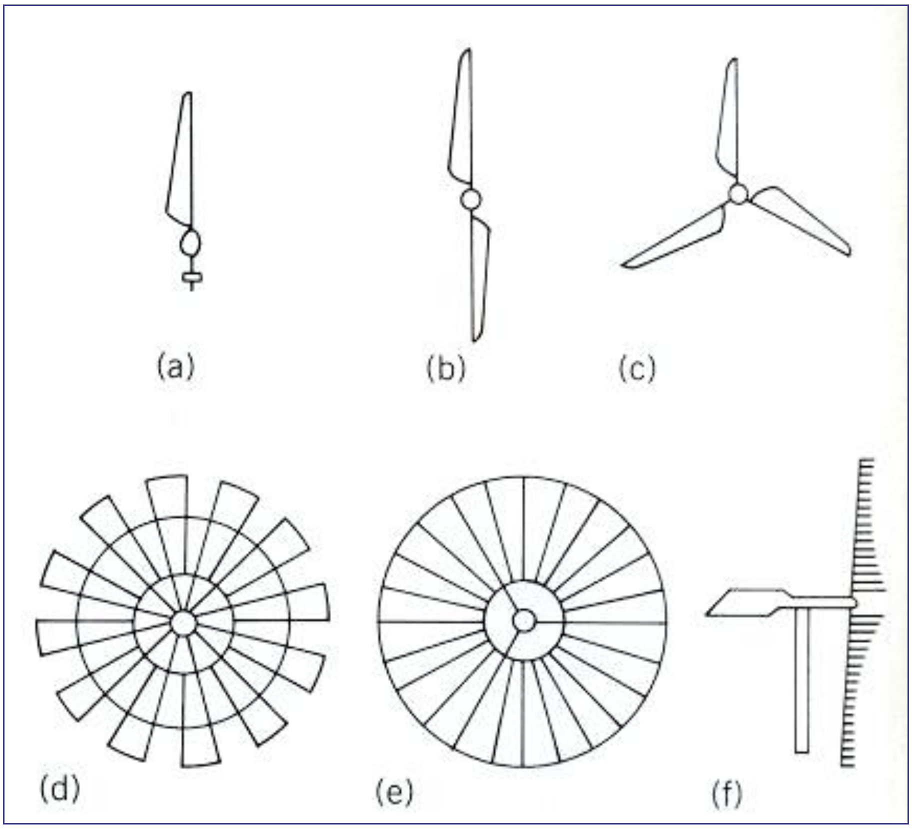
Ο δρομέας αποτελείται από τα 2-3 πτερύγια (που συνδέονται στην πλήμνη) και το σύνδεσμο του δρομέα με τη γεννήτρια. Διάφορα σχήματα δρομέα έχουν προταθεί και δοκιμαστεί και μερικά από αυτά παρουσιάζονται στο Σχήμα 10.6. Τα πτερύγια κατασκευάζονται από ενισχυμένο πολυεστέρα, ελαφρά κράματα μετάλλων κ.α. ή συνίστανται από περισσότερα του ενός υλικά (π.χ. συνδυασμός χάλυβα και πολυμερικών υλικών). Τα πτερύγια μπορούν να είναι σε οριζόντια ή κατακόρυφη θέση.

Ο άξονας μιας ανεμογεννήτριας κατασκευάζεται από ειδικό ενισχυμένο χάλυβα ώστε να μπορεί να μεταφέρει ισχυρές στρεπτικές και καμπτικές ροπές. Η έδρασή τους γίνεται συνήθως σε δύο έδρανα, τα οποία είναι ικανά να παραλαμβάνουν τόσο το βάρος του άξονα, όσο και τα ασκούμενα φορτία.

Το σύστημα μετάδοσης περιλαμβάνει διβάθμιο ή τριβάθμιο κιβώτιο μετασχηματισμού της χαμηλής ταχύτητας περιστροφής του δρομέα στις υψηλές ταχύτητες περιστροφής, όπου λειτουργούν συνήθως οι ηλεκτρικές γεννήτριες. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί συστήματα χωρίς σύστημα μετάδοσης.



Σχήμα 10.5. *Τα κυριότερα μέρη μιας ανεμογεννήτριας.*



Σχήμα 10.6. *Συστήματα δρομέα. (a) Μονόπτερος, (b) διπτέρυγος, (c) τριπτέρυγος, (d) αμερικανικός πολυπτέρυγος, (e) πολυπτέρυγος τύπου ποδηλάτου και (f) τύπου ιστίου.*

Ο πύργος στήριξης μιας ανεμογεννήτριας αποτελείται συνήθως από μεταλλικό σωλήνα (για μεγάλα συστήματα) ή από ένα μεταλλικό δικτύωμα ή από μία στήλη από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το ελάχιστο ύψος του προφανών θα πρέπει να υπερβαίνει την ακτίνα του δρομέα.

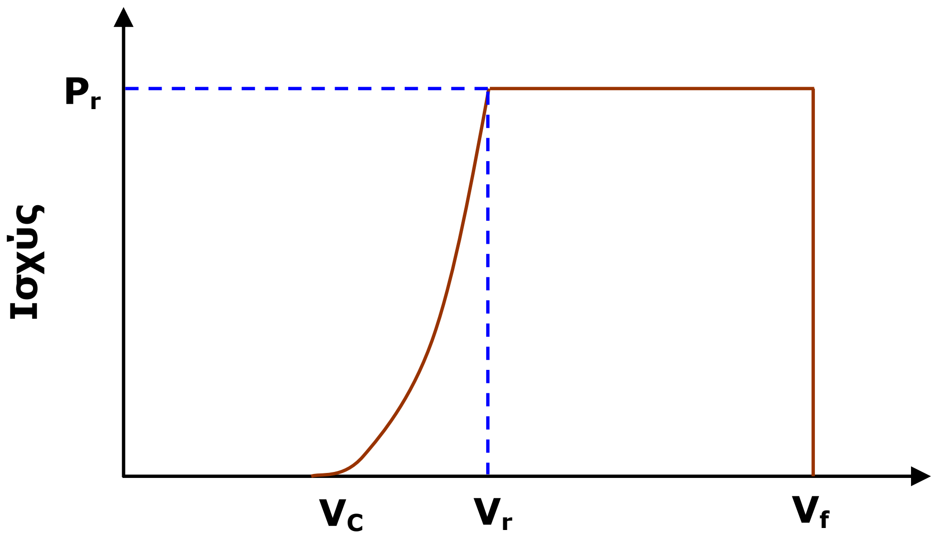
Η ισχύς των περισσότερων ανεμοστρόβιλων κυμαίνεται από 100 μέχρι 2000 kW, αν και βρίσκονται υπό πειραματική λειτουργία ή υπό σχεδιασμό ανεμοστρόβιλους με ισχύ 4,5 kMW. Η τυπική τιμή ισχύος των ανεμοκινητήρων σήμερα είναι τα 1000 kW, με διάμετρο δρομέα 60 m και σε ύψος 60-80 m.

Στην πράξη οι ανεμογεννήτριες είναι σχεδιασμένες να λειτουργούν σε μια περιοχή ταχυτήτων του ανέμου. Η χαμηλότερη ταχύτητα, η *ταχύτητα έναρξης* (cut-in speed) είναι περίπου 4-5 m/s, καθώς για χαμηλότερες ταχύτητες η παραγόμενη ενέργεια είναι πολύ μικρή (μικρότερη από τις απώλειες του συστήματος). Η *ταχύτητα αποκοπής* (cut-out speed) καθορίζεται από την ικανότητα της συσκευής να αντέχει την υψηλή ταχύτητα του ανέμου. Η *ονομαστική ταχύτητα* (rated speed) είναι η ταχύτητα του ανέμου στην οποία η συσκευή επιτυγχάνει τη μέγιστη ονομαστική ισχύ. Πάνω από αυτήν την ταχύτητα υπάρχουν μηχανισμοί για να διατηρείται η παραγόμενη ενέργεια σταθερή για αυξανόμενη ταχύτητα του ανέμου (Σχήμα 10.7).

Στιβαρότητα μιας α/γ οριζόντιου άξονα (solidity): ο λόγος σε κάθε χρονική στιγμή της συνολικής επιφάνειας των πτερυγίων προς τη μετωπική επιφάνεια σάρωσης.

Α/γ με μεγάλη στιβαρότητα: ξεκινούν μόνες τους εύκολα, αλλά φτάνουν στη μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ σε χαμηλές συχνότητες περιστροφής. Κατάλληλες για άντληση νερού, ακόμη και με χαμηλές ταχύτητες ανέμου.

Α/γ με μικρή στιβαρότητα: απαιτούν βοήθεια για να ξεκινήσουν, μόνες τους εύκολα, αλλά φτάνουν στη μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ σε υψηλές συχνότητες περιστροφής. Κατάλληλες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 10.7. *Η αποδιδόμενη ισχύς μιας ανεμογεννήτρια ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου. V_c ταχύτητα έναρξης περιστροφής της α/γ, V_r, ονομαστική ταχύτητα, V_f ταχύτητα αποκοπής P_r ονομαστική ισχύς της συσκευής.*

Οι **ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα** μπορούν να εκμεταλλευτούν το άνεμο ανεξάρτητα από τη κατεύθυνση του ανέμου και δεν υπάρχει η ανάγκη ρύθμισης του δρομέα με αλλαγή της κατεύθυνσης του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες αυτές περιστρέφονται γύρω από έναν κάθετο άξονα προς την κατεύθυνση του ανέμου. Το παραγόμενο μηχανικό έργο μεταφέρεται μέσω του κατακόρυφου άξονα στο έδαφος όπου εγκαθίσταται η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μηχανές κατακόρυφου άξονα έχουν πρόβλημα κατά την εκκίνηση, για την οποία απαιτείται εξωτερική βοήθεια. Ένα άλλο πρόβλημα σχετίζεται με τις δυσκολίες κατασκευής, μεταφοράς και εγκατάστασης των μακρόστενων πτερυγίων.

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα αναπτύχθηκαν γύρω από τις ιδέες του Γάλλου μηχανικού Georges Darrieus (η πρώτη ευρεσιτεχνία υποβλήθηκε το 1925). Τα Σχήματα 10.8 και 10.9 παρουσιάζουν σκαριφήματα των ανεμογεννητριών τύπου Darrieus και τύπου Savonius.

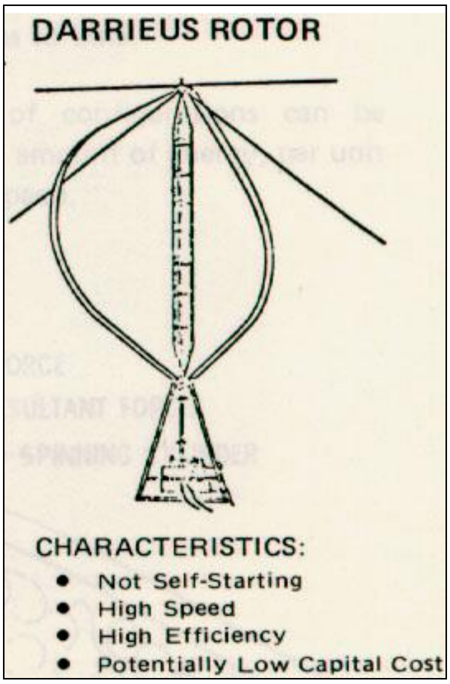
Αν και μεμονωμένες ανεμογεννήτριες μπορούν να ικανοποιήσουν χρήστες εκτός δικτύου, συχνά το μοντέλο αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας εστιάζεται στη σύνδεση της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από τα λεγόμενα «αιολικά πάρκα» (wind farms), δηλ. από ομάδα ανεμογεννητριών. Τα τυπικά χαρακτηριστικά ενός αιολικού πάρκου είναι:

1) Χωροθέτηση του πάρκου απομακρυσμένη τοποθεσία

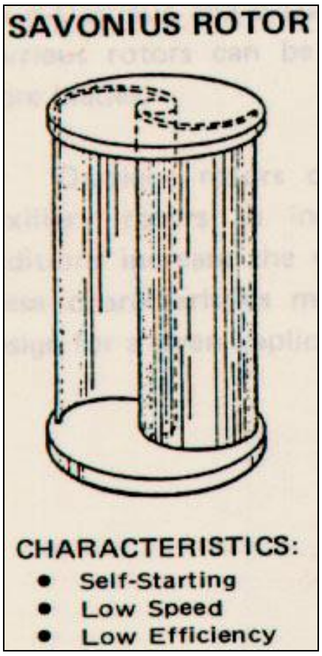
2) Ομάδα 10-100 ανεμογεννητριών

3) Απόσταση ανάμεσα σε γειτονικές ανεμογεννήτριες 5-10 διαμέτρους δρομέα (ή περίπου 18 ανεμογεννήτριες ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.

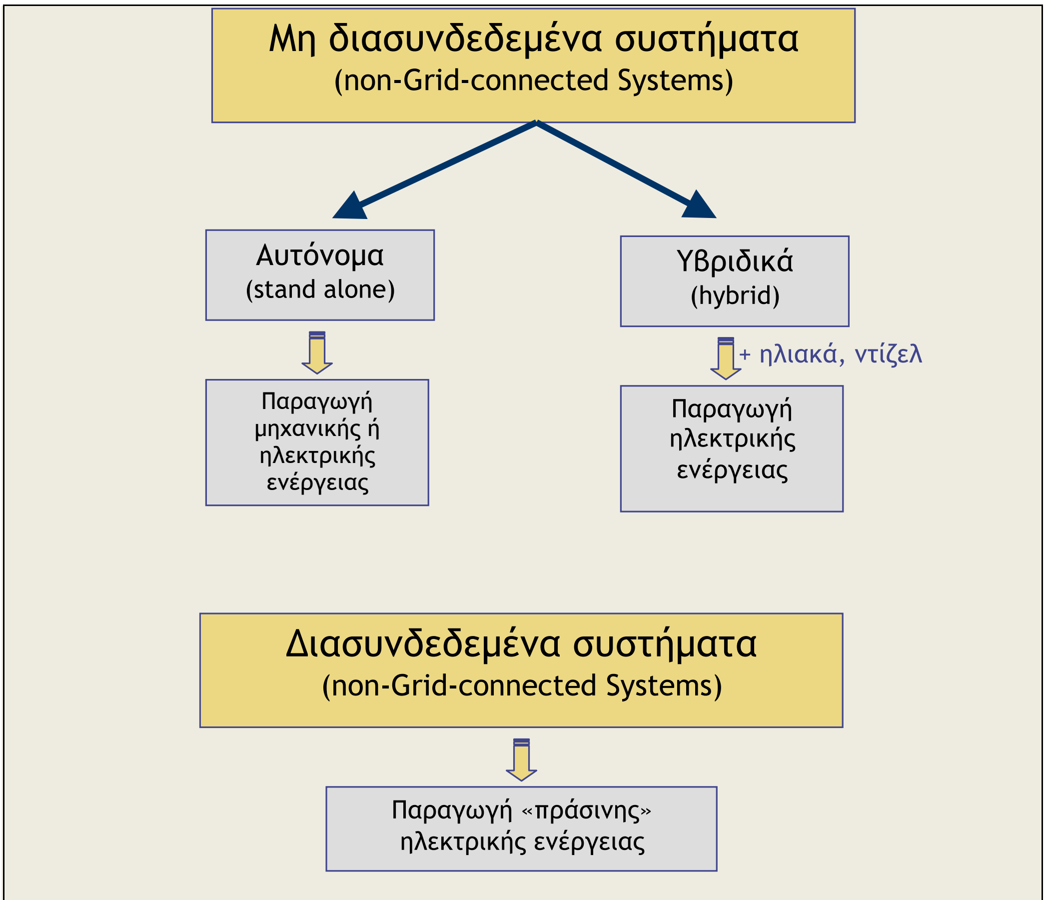
4) Κοινός μετασχηματιστής για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ισχύος.



Σχήμα 10.10. *Ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus.*



Σχήμα 10.9. *Ανεμογεννήτρια τύπου Savonius*



Ταξινόμηση αιολικών συστημάτων

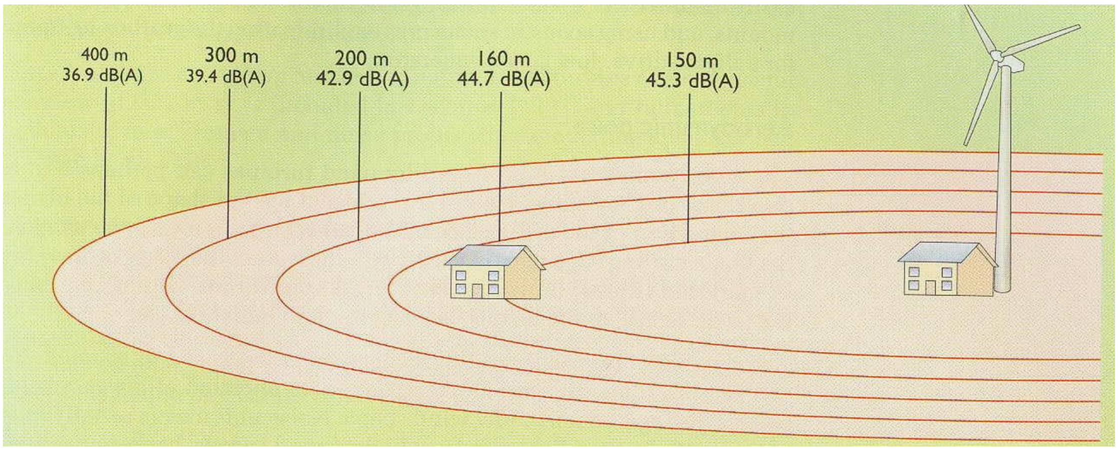
10.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Αιολικής Ενέργειας

Πλεονεκτήματα

- Οι ανεμογεννήτριες δεν εκπέμπουν αέριους ρύπους και δεν παράγουν στερεά, υγρά ή ραδιενεργά απόβλητα (εκτός αν συνεκτιμηθούν οι εκπομπές κύκλου ζωής κατά την κατασκευή τους). Επομένως, η αιολική ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.
- Μειώνεται η εξάρτηση μιας χώρας από την εισαγόμενη συμβατική ενέργεια.
- Δεν καταναλώνεται νερό κατά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Εξυπηρετούνται απομακρυσμένες και νησιώτικες περιοχές που δεν είναι διασυνδεδεμένες στο δίκτυο για παραγωγή ηλεκτρικής, ενέργειας, άντληση νερού, τηλεπικοινωνίες κτλ.

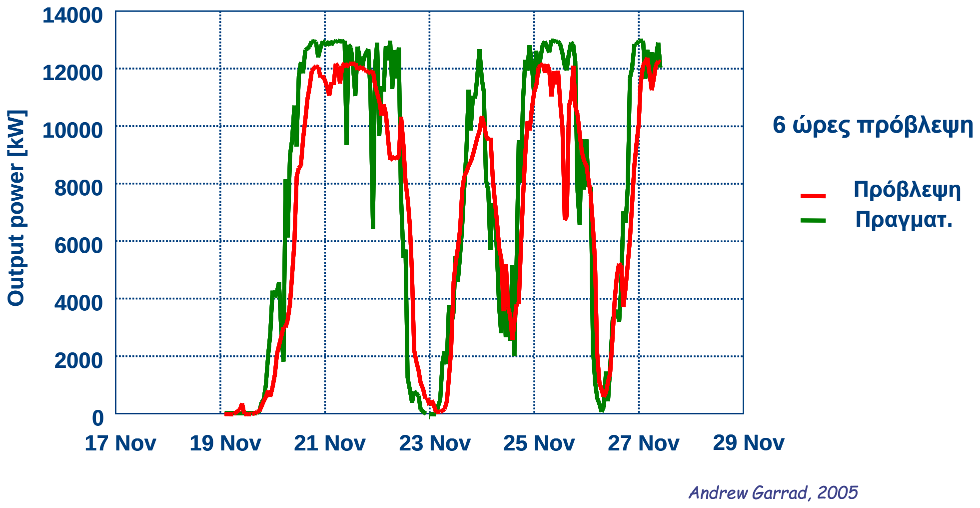
Μειονεκτήματα

- Αν και ο θόρυβος των ανεμογεννητριών δεν είναι μεγάλος έχουν καταγραφεί παράπονα από κατοίκους κοντά σε ανεμογεννήτριες. Ο θόρυβος διακρίνεται σε *αεροδυναμικό* (από τη ροή του αέρα πάνω από τα κινούμενα πτερύγια) και σε *μηχανικό θόρυβο* (από τα κινούμενα μέρη της συσκευής όπως το κιβώτιο ταχυτήτων). Ο αεροδυναμικός θόρυβος τείνει να αυξάνει με τη αύξηση της ταχύτητας περιστροφής του δρομέα και για το λόγο αυτό η λειτουργία σε χαμηλές ταχύτητες περιστροφής μετριάζει το πρόβλημα. Το πρόβλημα είναι μεγαλύτερο στους ασθενείς ανέμους, επειδή ο θόρυβος από τους ισχυρούς ανέμους «σκεπάζει» το θόρυβο της ανεμογεννήτριας.



- Χρήση γης. Η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιεί λιγότερη επιφάνεια γης για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα.
- Ηλεκτρομαγνητική επίδραση ιδιαίτερα στο τηλεοπτικό σήμα της περιοχής και σε άλλα ηλεκτρομαγνητικά σήματα (λόγω ανάκλασης των σημάτων). Η επίδραση αυτή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό των πτερυγίων.
- «Αισθητική» ρύπανση, κάτι που δεν μπορεί όμως να αποτιμηθεί ποσοτικά.

- Επίδραση στα πουλιά: διαταραχές στη συμπεριφορά τους από τη φυσική παρουσία των ανεμογεννητριών και θάνατοι πουλιών από τις συγκρούσεις στα πτερύγια. Το τελευταίο πρόβλημα, αν και υπαρκτό, είναι πολύ μικρότερο από τους θανάτους των πουλιών στους δρόμους και από τους κυνηγούς.
- Διαλείπουσα λειτουργία.



10.6 Κόστος Αιολικής Ενέργειας

Μία σύγχρονη α/γ μπορεί να παράγει υψηλής ποιότητας ηλεκτρικό ρεύμα στη συχνότητα του δικτύου και να δουλεύει χωρίς επιτήρηση και με μικρές απαιτήσεις συντήρησης για περισσότερες από 20 χρόνια (ή 120.000 ώρες λειτουργίας). Ένα αυτοκίνητο σχεδιάζεται να λειτουργεί για ~6.000 ώρες. Η οικονομική εκτίμηση της αιολικής ενέργειας μεταξύ άλλων περιλαμβάνει:

- την ετήσια παραγωγή ενέργειας
- το κόστος κεφαλαίου της εγκατάστασης
- το λειτουργικό κόστος και το κόστος συντήρησης
- ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης

Το κόστος εγκατάστασης κατανέμεται περίπου κατά 66% στο κόστος των ανεμογεννητριών και κατά 25% στο κόστος διαμόρφωσης του χώρου και συναρμολόγησης. Σήμερα, το κόστος εγκατάστασης ενός αιολικού συστήματος είναι 1000-1500 €/kW. Ο *συντελεστής λειτουργίας* (capacity factor) της ανεμογεννήτριας είναι ένας άλλος όρος που συχνά χρησιμοποιείται για να περιγράψει την παραγωγικότητα μιας μονάδας. Εάν η ανεμογεννήτρια δούλευε συνεχώς στην ονομαστική της ισχύ τότε θα είχε συντελεστή λειτουργίας 1 (100% λειτουργία). Στην πράξη και για τις περισσότερες ανεμογεννήτριες επιτυγχάνεται συντελεστή λειτουργίας 0,25, ενώ σε άριστες περιοχές αναφορικά με τους ανέμους η τιμή του συντελεστής λειτουργίας μπορεί να φτάσει το 0,4.

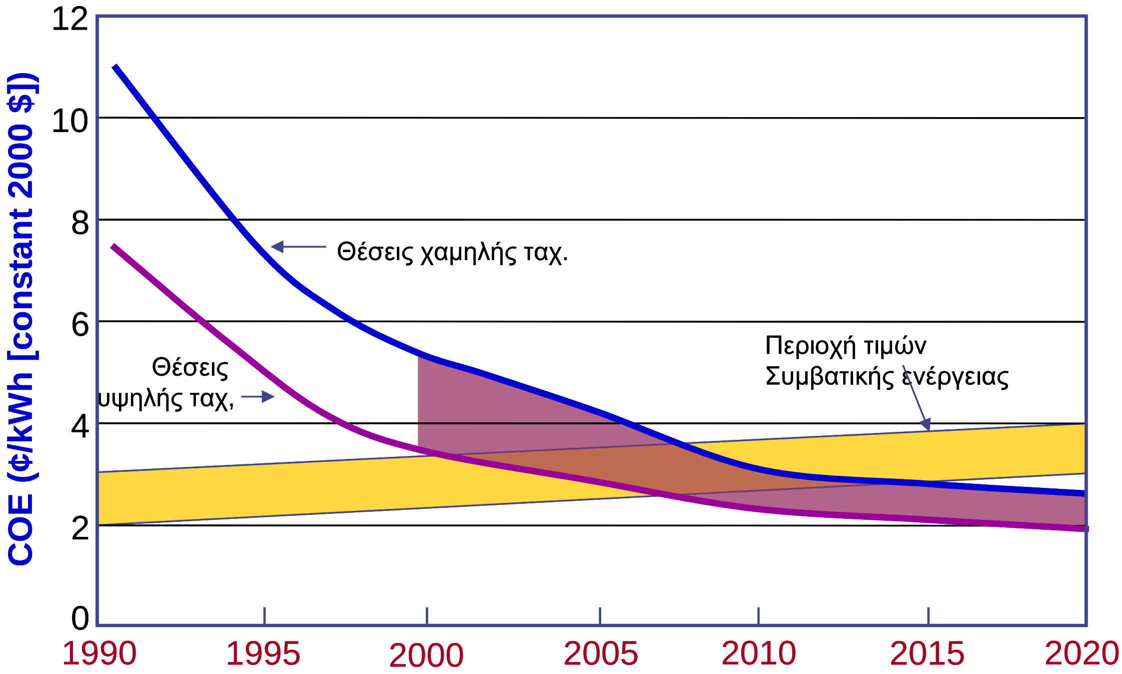
Όταν συμπεριλάβουμε όλα τα κόστη, το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας από την αιολική ενέργεια κυμαίνεται από 4 - 5 c€/kWh για «καλές» θέσεις, μέχρι 6 - 8 c€/kWh, για όχι τόσο καλές τοποθεσίες. Οι υπολογισμοί αυτοί βασίζονται σε δυναμικότητα α/γ 850 - 1,500 kW, ενώ το κόστος επένδυσης είναι στην περιοχή 900 -1 100 €/kW, έξοδα λειτουργίας και συντήρησης ~ 1,2 c€/kWh για 20 χρόνια, και για εσωτερικό επιτόκιο 7,5% το χρόνο.

Για σύγκριση με την παραγωγή ηλεκτρισμού από συμβατικά καύσιμα θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το λεγόμενο εξωτερικό κόστος (External Cost), δηλ. το κόστος που προέρχεται από ενέργειες που «έχουν επιπτώσεις σε πληθώρα αποδεκτών, όπως την ανθρώπινη υγεία, τα φυσικά οικοσυστήματα και τα κτήρια» (European Community, 1994), και δεν συμπεριλαμβάνεται στο κόστος που πληρώνουν οι καταναλωτές.

Εκτίμηση εξωτερικού κόστους στην Ελλάδα σε c€/kWh (Πηγή. Ε.Ε, 2003)

Μορφή Ενέργειας	c€/kWh
Λιγνίτης	5-8
Πετρέλαιο	3-5
Φυσικό αέριο	1
Άνεμος	0,5

Στο Σχήμα 10.10 παρουσιάζεται η πτωτική εξέλιξη της τιμής παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από ανεμογεννήτριες από το 1980 και γίνονται προβλέψεις για την τιμή του στο μέλλον. Η πτωτική τάση οφείλεται σε: αύξηση μεγέθους α/γ, τεχνικές βελτιώσεις και βελτίωση στην κατασκευή.

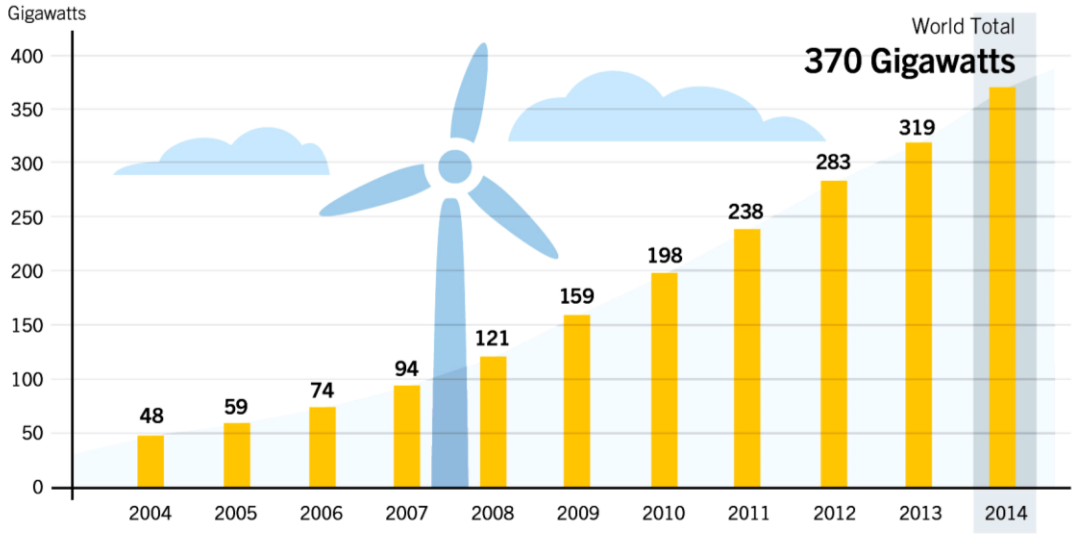


Σχήμα 10.10. *Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά συστήματα.*
(Μέσο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στις ΗΠΑ 7 cents/kWh.)

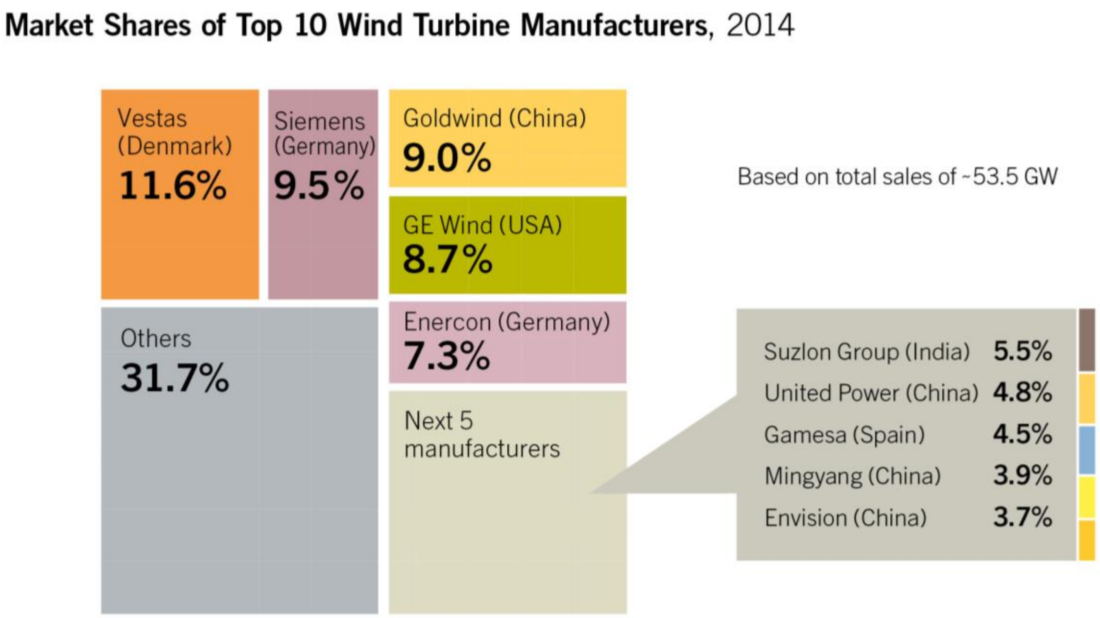
10.7 Ανάπτυξη της Αιολικής Ενέργειας

Στη δεκαετία του 1980 η αιολική ενέργεια αναπτύχθηκε συστηματικά στις Η.Π.Α., αλλά μετά την πτώση της τιμής του πετρελαίου (μέσα της δεκαετίας) η ανάπτυξη αυτή τελμάτωσε λόγω τεχνικών και οικονομικών προβλημάτων, για να ξαναρχίσει κάποια αξιοποίηση ξανά τα τελευταία χρόνια. Αντίθετα, η Ευρώπη, με πρωτοπόρους τη Δανία (που έχει γίνει ο μεγαλύτερος εξαγωγέας ανεμογεννητριών προς στις Η.Π.Α. και έχει εγκαταστήσει και αιολικά πάρκα μέσα στη θάλασσα), τη Γερμανία (τη χώρα με τις περισσότερα αιολικές εγκαταστάσεις) και την Ισπανία, η αιολική ενέργεια γνώρισε και συνεχίζει να γνωρίζει πραγματική άνθηση. Η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος των αιολικών πάρκων στον κόσμο παρουσιάζεται στο Σχήμα 10.11 και στο τέλος του 2014 ανερχόταν σε 370 GW, με την Κίνα να βρίσκεται στην πρώτη θέση (115 GW), τις Η.Π.Α. στην δεύτερη (65 GW) και τη Γερμανία στην Τρίτη (39 GW). Στο Σχήμα 10.12 παρουσιάζονται οι κύριοι κατασκευαστές ανεμογεννητριών κατά το 2014.

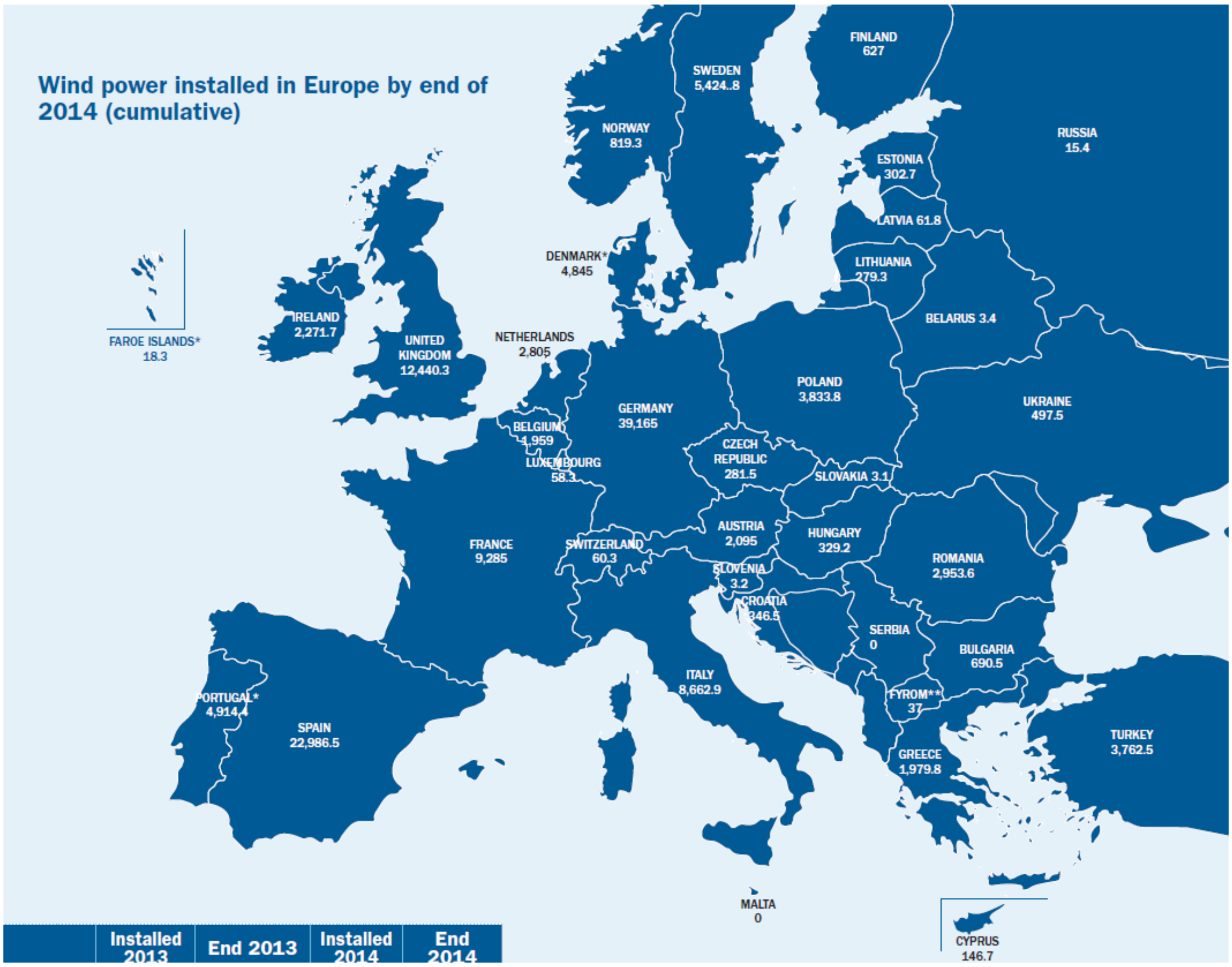
Τέλος, η εγκατεστημένη ισχύς των ανεμογεννητριών στις χώρες της Ε.Ε. κατά το τέλος του 2014 παρουσιάζεται στο Σχήμα 10.13 και ανέρχεται στα 117 GW.



Σχήμα 10.11. *Η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος αιολικών συστημάτων στον κόσμο μέχρι το 2014 (σε GW). Πηγή: REN21, 2015.*



Σχήμα 10.12. *Οι 10 κυριότεροι κατασκευαστές ανεμογεννητριών κατά το 2014. Πηγή: REN21, 2015.*



Σχήμα 10.12. *Η εγκατεστημένη ισχύς αιολικών συστημάτων, στην ΕΕ (σε MW) κατά το τέλος του 2014. (Πηγή EWEA, 2015).*


alpha ventus
alpha ventus

11. ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

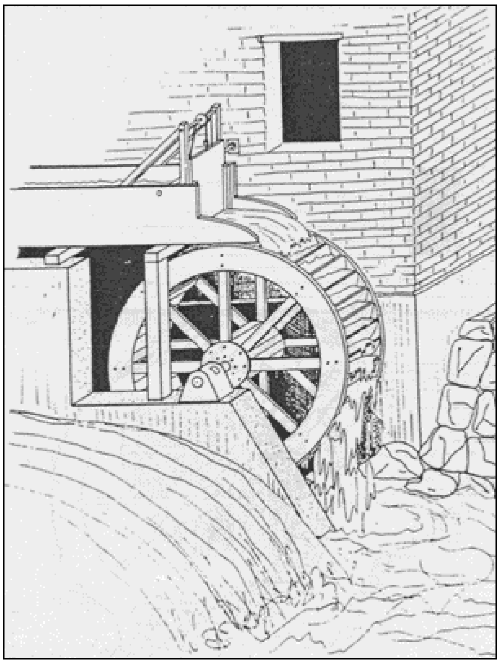
11.1 Εισαγωγή

Υδροηλεκτρική ενέργεια (ή υδροϊσχύς) είναι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την πτώση του νερού ποταμών ή λιμνών (φυσικών και τεχνητών) με τη βοήθεια υδροστροβίλων. Όπως και πολλές άλλες ΑΠΕ αποτελεί έμμεση ηλιακή ενέργεια. Περίπου το ένα τέταρτο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στη γη καταναλώνεται στην εξάτμιση νερού (βλ. Σχήμα 7.1). Οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα αντιπροσωπεύουν μία τεράστια ανανεώσιμη αποθήκη ενέργειας. Δυστυχώς, το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ενέργειας δεν είναι διαθέσιμο για αξιοποίηση. Συμπυκνώνεται με τη μορφή νεφών και εξατμίζεται πάλι. Αλλά, ένα πολύ μικρό τμήμα, μόλις το 0,1% της συνολικής ανακυκλούμενης ενέργειας των υδρατμών-νερού, αποτελεί το διαθέσιμο δυναμικό της υδροϊσχύος.

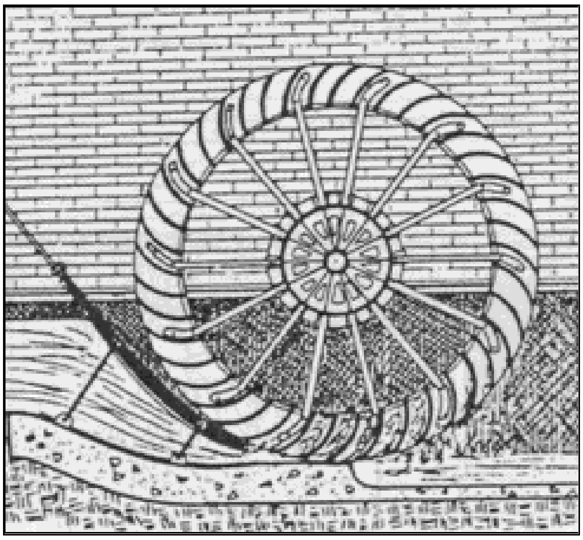
Η υδροϊσχύς δεν αποτελεί βεβαίως καινούρια ιδέα, αν και η εποχή στην οποία αναπτύχθηκαν οι «υδροτροχοί» δεν είναι απόλυτα εξακριβωμένη. Μάλλον όμως η αξιοποίησή τους θα πρέπει να έχει ξεκινήσει τουλάχιστον πριν από 5000 χρόνια, ενώ η πρώτη γραπτή αναφορά σε αυτούς γίνεται στην Αρχαία Ελλάδα κατά τον 2^{ο} αιώνα π.Χ. από τον Αντίπατρο τον Θεσσαλονικέα. Στους επόμενους αιώνες, δεκάδες νερόμυλοι κατασκευάστηκαν σε όλη την επικράτεια της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας και αλλού. Ο Βιτρούβιος έχει περιγράψει το σχεδιασμό νερόμυλου κατά τον 1ο αιώνα μ.Χ. και οι μεγαλύτεροι υδρόμυλοι έφταναν στα 15 kW. Μερικούς αιώνες αργότερα νερόμυλοι αναφέρονται ακόμη και στη Σκανδιναβία. Οι πρώτοι υδροτροχοί είχαν κατακόρυφο άξονα, ενώ ο οριζόντιος άξονας εμφανίστηκε αργότερα. Για αιώνες (μέχρι τον 19^{ο} αιώνα στην Δυτική Ευρώπη και μέχρι τα μέσα του 20^{ου} αιώνα στην Ελλάδα, σε Έδεσσα, Νάουσα, Λιβαδειά κ.ά.) η υδροϊσχύς χρησιμοποιούνταν σε άμεσες χρήσεις: άλεση δημητριακών, κόψιμο ξύλων, ανύψωση βαρών και σε πολλές άλλες βιομηχανικές εφαρμογές. Ακόμη και σήμερα σε πολλές χώρες, όπως στο Νεπάλ, οι άμεσες χρήσεις της υδροϊσχύος παίζουν σημαντικό ρόλο στην τοπική κοινωνία.

Κατά τον μεσαίωνα και μέχρι τα τέλη του 18^{ου} αιώνα η υδροϊσχύς αποτέλεσε την κύρια πηγή μηχανικής ενέργειας. Με την πάροδο των αιώνων υπήρξε έντονος προβληματισμός για το σχεδιασμό του βέλτιστου υδροτροχού, καθώς και για τον τρόπο με τον οποίο το ρεύμα του νερού πέφτει στα πτερύγια του, δηλ. με την υπερακόντιση του υδάτινου ρεύματος στο πάνω μέρος του υδροτροχού (overshoot) ή στο κάτω μέρος (undershoot), όπως παρουσιάζονται στα Σχήματα 11.1 και 11.2, αντίστοιχα. Στην περίοδο μεταξύ 1650 και 1800 έγιναν σημαντικές βελτιώσεις στους υδροτροχούς και αποδείχθηκε ότι οι τροχοί με ροή του νερού στο πάνω μέρος είχαν καλύτερη απόδοση. Στο τέλος εκείνης της περιόδου έκανε την εμφάνισή της η ατμοκίνηση και η υδροϊσχύς άρχισε να μπαίνει σε δεύτερη μοίρα.

Οι πρώτες υδροηλεκτρικές μονάδες στον κόσμο κατασκευάστηκαν το 1881 στο Surrey της Αγγλίας και το 1882 στο Wisconsin των Η.Π.Α. και εκμεταλλεύονταν τη ροή μικρών ποταμών. Αργότερα κατασκευάζονται τα πρώτα φράγματα, τα οποία στην αρχή ήταν μικρά, συνέχεια των υδροφρακτών για τους νερόμυλους. Το 1891 ηλεκτρική ενέργεια που παραγόταν από την υδροϊσχύ στις Η.Π.Α. μεταφερόταν σε σπίτια και βιομηχανίες σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 150 km.



Σχήμα 11.1. *Υδροτροχός με εισαγωγή του νερού στο πάνω μέρος του τροχού.*



Σχήμα 11.2. *Υδροτροχός με εισαγωγή του νερού στο κάτω μέρος του τροχού.*

Η τεχνολογία της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι αρκετά παγιωμένη σήμερα και παράγει ηλεκτρισμό για περισσότερο από 100 χρόνια με αξιόπιστο τρόπο και με ανταγωνιστικό κόστος. Η υδροϊσχύς είναι διαθέσιμη σε μεγάλη περιοχή δυναμικότητας των μονάδων, από μερικές εκατοντάδες Watt μέχρι πάνω από 10 GW. Σε πολλές χώρες, που έχουν ευνοϊκή μορφολογία εδάφους, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας συχνά υπερβαίνει το 80% της συνολικής ενεργειακής παραγωγής.

Το νερό (όπως και κάθε άλλο υλικό) που βρίσκεται σε κάποιο ύψος αντιπροσωπεύει αποθηκευμένη δυναμική ενέργεια, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$PE = g \cdot m \cdot h \qquad (11.1)$$

όπου g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας (=9,81 m/s^2), m η μάζα του νερού (kg) και h το καθαρό ύψος της υδατόπτωσης (m). Επομένως, η ισχύς σε W μιας υδατόπτωσης δίνεται από τη σχέση:

$$P = g \cdot M \cdot h \cdot n \qquad (11.2)$$

όπου M είναι μαζική παροχή (kg/s) και h η διαφορά ύψους από την επιφάνεια του νερού και το στρόβιλο. Λόγω κυρίως των ενεργειακών απωλειών από τη ροή του νερού στους αγωγούς και το στρόβιλο, η εξίσωση (11.2) πρέπει να πολλαπλασιαστεί με το συντελεστή απόδοσης n, ο οποίος κυμαίνεται από 0,8 μέχρι 0,95. Επειδή g~10 m/s^2, η ισχύς μιας υδατόπτωσης σε kW μπορεί να γραφεί:

$$P\,(kW) = 10 \cdot n \cdot Q(m^3/s) \cdot h(m) \qquad (11.3)$$

όπου Q είναι ογκομετρική παροχή σε m^3/s.

Με την εξίσωση (11.2) μπορούμε να εκτιμήσουμε την μέγιστη τιμή του παγκόσμιου υδροηλεκτρικού δυναμικού. Σε όλη τη γη, η ετήσια βροχόπτωση στη ξηρά εκτιμάται σε 10^{17} kg, ενώ το μέσο υψόμετρο της ξηράς από το επίπεδο της θάλασσας είναι λίγο μεγαλύτερο από 800 m. Επομένως, η ετήσια προσθήκη στην ενεργειακή «αποθήκη» του νερού είναι 8×10^{20} J (ή 200.000 TWh ή 56000 ΤΙΠ). Η τιμή αυτή είναι υπερδιπλάσια της παγκόσμιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας. Βεβαίως δεν μπορεί να υπάρξει τεχνολογία που να αξιοποιεί κάθε σταγόνα της βροχής και το παγκόσμιο αξιοποιήσιμο δυναμικό της υδροϊσχύος είναι αρκετά μικρότερο. Η τελική εκτίμηση για το τεχνικά αξιοποιήσιμο υδροηλεκτρικό δυναμικό εκτιμάται σε 2-3 TW ισχύος, με ετήσια παραγωγής 12.000-20.000 TWh. Προφανώς εδώ τίθενται δύο κρίσιμα ερωτήματα. Πόσο υδροηλεκτρικό δυναμικό μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και πόσο θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε, αν λάβουμε υπόψη μας τις όλο και αυξανόμενες περιβαλλοντικές ανησυχίες από την ύπαρξή των μεγάλων φραγμάτων. Μερικά από τα περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με την υδροηλεκτρική ενέργεια συνοψίζονται σε επόμενο υποκεφάλαιο.

11.2 Ταξινόμηση Υδροηλεκτρικών Συστημάτων

Η εγκατεστημένη ισχύς των σημερινών υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες Watt μέχρι και 12,5 MW. Τις υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις μπορούμε να ταξινομήσουμε με διάφορα κριτήρια:

(1) Με την ενεργό υψομετρική διαφορά του νερού (ύψος της υδατόπτωσης, Πίνακας 11.1.)

(2) Με την εγκατεστημένη ισχύ (Πίνακας 11.2)

(3) Με τον τύπο του υδροστροβίλου

(4) Με την τοποθεσία και τον τύπο του φράγματος και του ταμιευτήρα.

Οι παραπάνω κατηγορίες δεν είναι προφανώς ανεξάρτητες μεταξύ τους. Η διαθέσιμη υψομετρική διαφορά αποτελεί σημαντικό προσδιοριστικό παράγοντα για τις άλλες κατηγορίες.

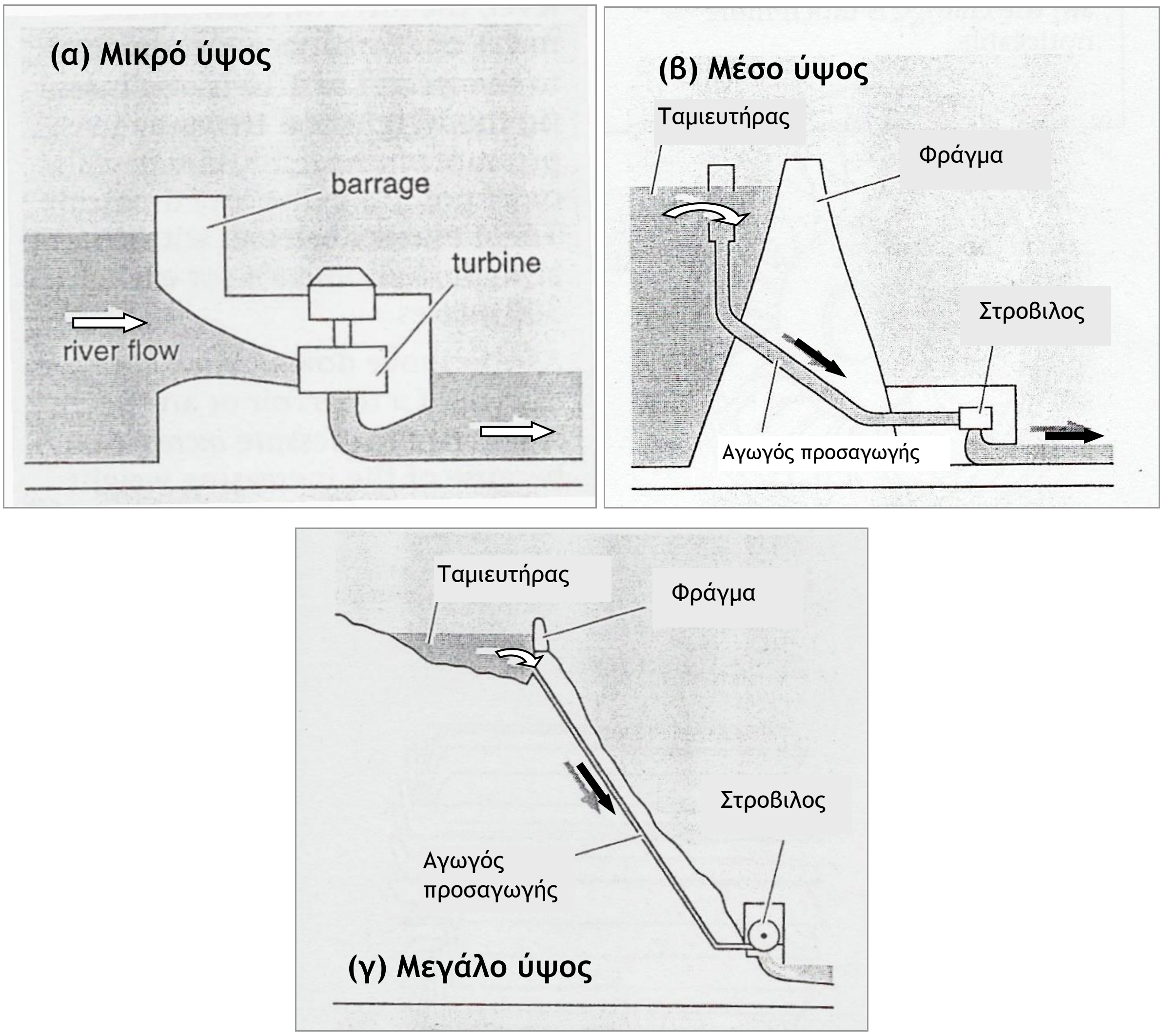
Πίνακας 11.1. *Ταξινόμηση των υδροηλεκτρικών μονάδων ανάλογα με το ύψος της υδατόπτωσης*

Μικρή	<15 m
Ενδιάμεση	15-50 m
Μεγάλη	>50 m

Πίνακας 11.2. *Ταξινόμηση των υδροηλεκτρικών μονάδων ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ (σύμφωνα με την UNIPEDE)*

Μικρά Υ/Η	**<10 MW**
Μικροσταθμοί (micro)- (συνήθως αυτόνομοι)	<500 kW
Μεσαίου δυναμικού (mini)	500 kW-2 MW
Μικρά Υ/Η (small)	2–10 MW
Μεγάλα Υ/Η	**>10 MW**

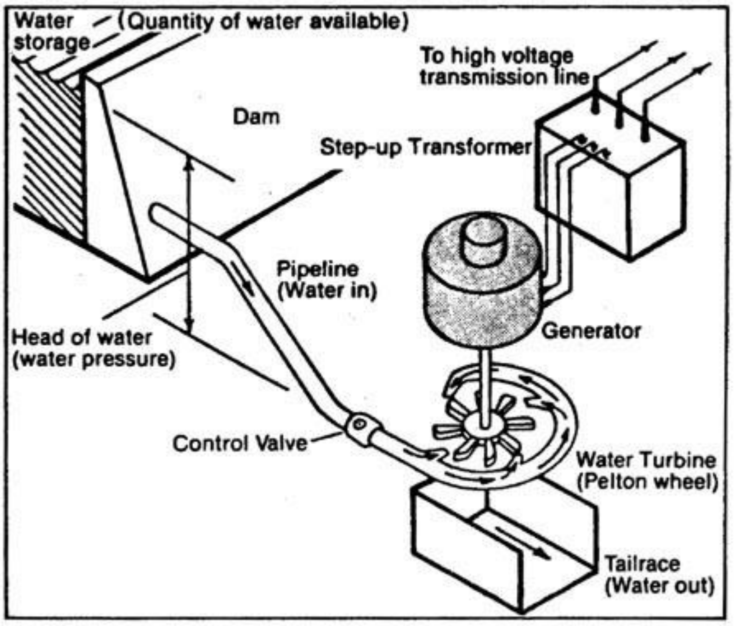
Δύο υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις με την ίδια αποδιδόμενη ισχύ μπορεί να είναι πολύ διαφορετικές: στη μία μπορεί να χρησιμοποιείται τεράστιος όγκος νερού με μικρή υψομετρική διαφορά και στην άλλη μικρός όγκος νερού, ο οποίος όμως πέφτει από μεγάλο ύψος. Οι υδροηλεκτρικές μονάδες μπορούν να χαρακτηρίζονται ως *χαμηλής*, *ενδιάμεσης* και *μεγάλης υψομετρικής διαφοράς* του νερού (Πίνακας 11.1). Τα όρια σε αυτήν την ταξινόμηση προφανώς δεν είναι πάντοτε σαφή και στη βιβλιογραφία ποικίλλουν σε κάποιον βαθμό. Το Σχήμα 11.3 παρουσιάζει τα κύρια χαρακτηριστικά των τριών τύπων.



Σχήμα 11.3. *Σχηματική παράσταση τύπων υδροηλεκτρικών συστημάτων.*

Το χαμηλό φράγμα ή υδατοφράκτης του Σχήματος 11.3α εξυπηρετεί διπλό σκοπό: δημιουργεί μια υψομετρική διαφορά του νερού και στεγάζει τη μονάδα. Η μονάδα που παρουσιάζεται στο Σχήμα 11.3β αποτελεί τυπικό παράδειγμα μεγάλων εγκαταστάσεων με την κατασκευή φράγματος σε κάποιο στενό σημείο περάσματος ενός ποταμού. Οι τεχνητές λίμνες έχουν χωρητικότητα που συχνά υπερβαίνει τα 10^9 m^3. Η έκταση που καταλαμβάνουν, αν το έδαφος είναι ημιπεδινό, μπορεί να φτάσει σε πολλές χιλιάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί κατασκευάζονται σε σημεία με τη μεγαλύτερη δυνατή υψομετρική διαφορά από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού μέχρι τον υδροστρόβιλο. Το νερό συλλέγεται και αποθηκεύεται στο φράγμα για να χρησιμοποιηθεί όταν απαιτείται. Στη πράξη, όλα τα φράγματα εμπίπτουν σε αυτήν την κατηγορία. Τέλος, στις μονάδες με μεγάλη υψομετρική διαφορά (Σχήμα 11.3γ), ο ταμιευτήρας βρίσκεται αρκετά υψηλότερα από το επίπεδο των υδροστροβίλων και το νερό οδηγείται σε αυτούς μέσω επιμηκών αγωγών προσαγωγής (penstock), οι οποίοι μερικές φορές «τρυπάνε» ολόκληρα βουνά.

Σχηματική παράσταση μιας «μέσης» εγκατάστασης σε ένα φράγμα παρουσιάζεται το Σχήμα 11.4. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις ηλεκτρικές γεννήτριες οδηγείται στο μετασχηματιστή για να μεταφερθεί σε υψηλή τάση (μέχρι και 450.000 βολτ) και μπαίνει στο δίκτυο μεταφοράς.



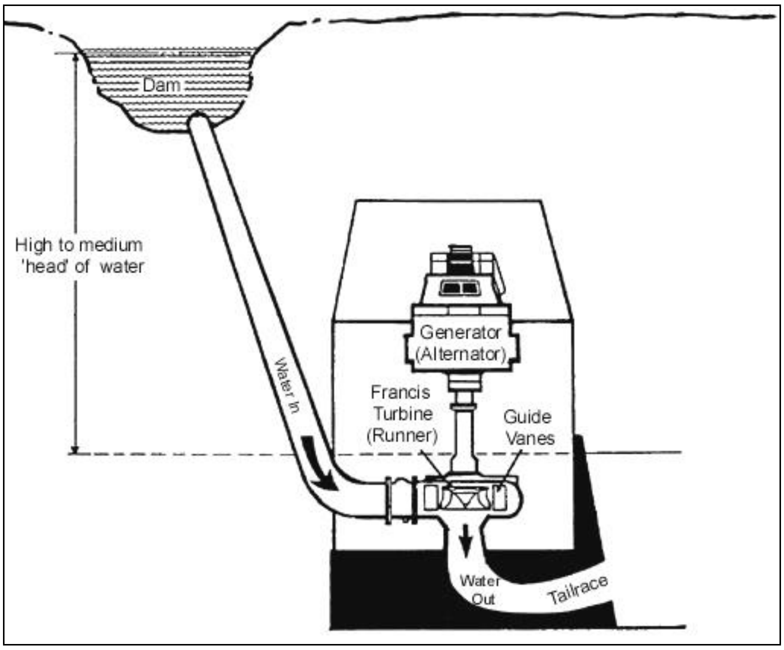
Σχήμα 11.4. *Σχηματική παράσταση συστήματος υδροηλεκτρικής μονάδας τύπου φράγματος.*

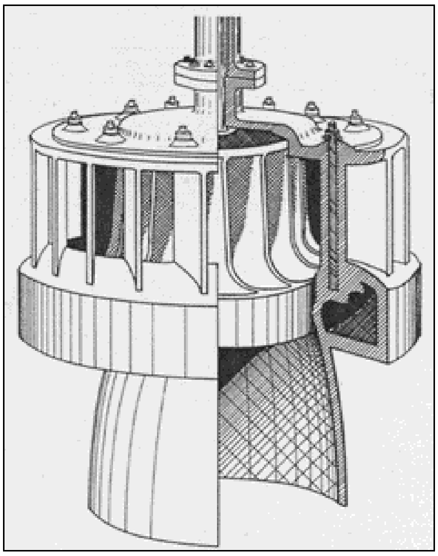
11.3 Τύποι Υδροστροβίλων

Οι υδροστρόβιλοι (με κατακόρυφο άξονα) εφευρέθηκαν το 1832 από τον Γάλλο μηχανικό Benoit Fourneyron και η απόδοσή τους έφτανε το 80%, απόδοση πολύ μεγαλύτερη από τον καλύτερα σχεδιασμένο υδροτροχό. Η λέξη «turbine», η οποία πλάστηκε από τον δάσκαλο του Fourneyron, τον Claude Burdin, προέρχεται από τη λατινική λέξη *turbo*, που σημαίνει κάτι που περιστρέφεται. Οι σημερινοί υδροστρόβιλοι παρουσιάζουν ποικιλία σχημάτων και μεγέθους, καθώς η διάμετρός τους μπορεί να ποικίλλει από 0,3 m μέχρι και 20 m. Σήμερα οι συνηθέστεροι τύποι στροβίλων που χρησιμοποιούνται στα Υ/Η συστήματα είναι οι:

- **Στρόβιλοι Francis**. Οι στρόβιλοι Francis είναι οι πλέον διαδεδομένοι στρόβιλοι (Σχήμα 11.5). Χρησιμοποιούνται όταν η ροή του νερού είναι μεγάλη και το ύψος από το οποίο ξεκινά το νερό είναι σχετικά μεγάλο (5-200 m), όχι όμως πολύ μεγάλο. Βρίσκονται και με το όνομα στρόβιλοι αντίδρασης (reaction turbines). Η ταχύτητα του στροβίλου είναι σχεδόν ίση με την ταχύτητα του νερού και ο στρόβιλος βρίσκεται πάντοτε βυθισμένος στο νερό.

Η αποδιδόμενη ισχύς ενός υδροστροβίλου είναι πάντοτε μικρότερη από την προσδιδόμενη σε αυτόν ισχύ για διάφορους λόγους. Πρώτον, υπάρχουν ενεργειακές απώλειες λόγω τριβών, που είναι αναπόφευκτες σε κάθε σύστημα εν κινήσει. Δεύτερον, ενέργεια χάνεται και για την μεταφορά του νερού μέσα στους αγωγούς και τα κανάλια. Οι συνολικές απώλειες δεν μπορούν να μηδενιστούν, αλλά μπορούν να ελαχιστοποιηθούν. Η «λύση» για τους στροβίλους Francis έγκειται στην αύξηση της διαμέτρου του αγωγού καθώς εισέρχεται στο στρόβιλο. Οι σύγχρονοι στρόβιλοι λειτουργούν με αποδόσεις μέχρι και 95%.





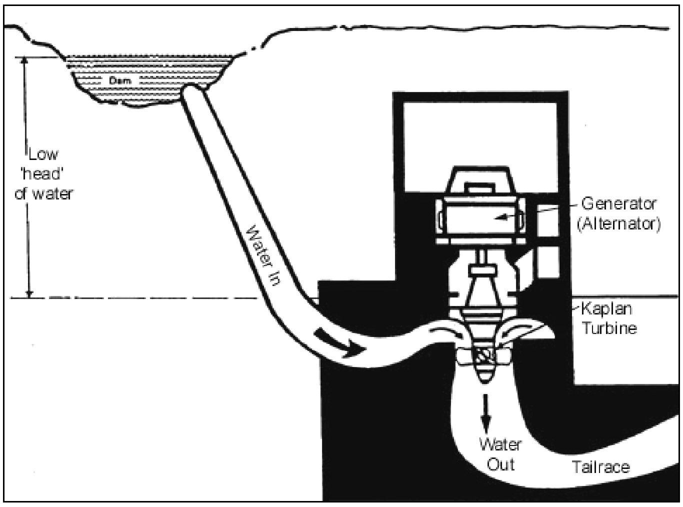
Σχήμα 11.5. *Ο στρόβιλος Francis.*

- **Στρόβιλοι Kaplan ή τύπου προπέλας.** Οι στρόβιλοι Kaplan χρησιμοποιούνται για μικρή υψομετρική διαφορά (2-20 m) και είναι ιδιαίτερα κατάλληλοι για μεγάλες παροχές νερού. Παράγεται μηχανική ορμή από τα ελικοειδή πτερύγια και αναπτύσσεται διαφορά πίεσης μεταξύ των εμπρόσθιων και των πίσω πλευρών των πτερυγίων (Σχήμα 11.6). Έτσι η ταχύτητα του στροβίλου είναι πάντα μεγαλύτερη από την ταχύτητα του νερού.

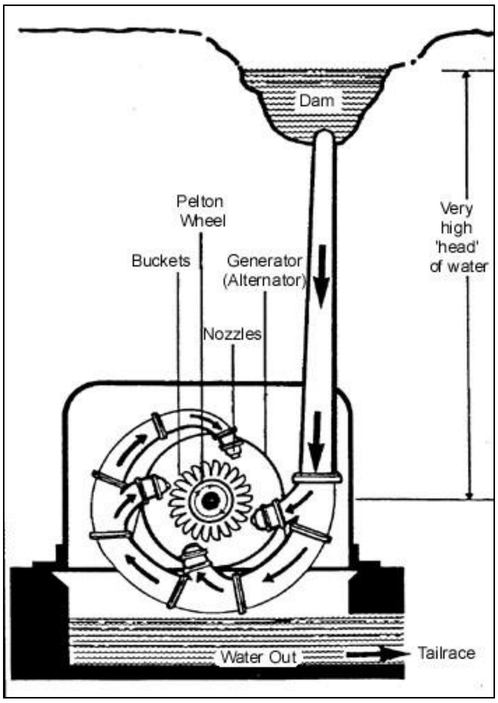
- **«Τροχοί» Pelton**. Οι τροχοί Pelton χρησιμοποιούνται όταν η ροή του νερού είναι μικρή, αλλά αυτό πέφτει από μεγάλο ύψος, μεγαλύτερο συνήθως από 250 m. Μοιάζουν με τους υδροτροχούς των νερόμυλων, όπως φαίνεται και στο σκαρίφημα στο Σχήμα 11.7. Αναπτύχθηκε κατά το τέλος του 19^ου^ αιώνα στην Καλιφόρνια, την εποχή των χρυσοθήρων, από τον Lester Pelton. Αποτελεί εντελώς διαφορετικό τύπο στροβίλου από του περιγραφέντες παραπάνω. Ουσιαστικά, ο τροχός αποτελείται από σύστημα «κυπέλλων» ή «καλαθιών» που προσαρμόζονται στην περιφέρεια του τροχού. Ο τροχός κινείται από τον πίδακα του νερού (jet) με μεγάλη ταχύτητα. Επειδή η ενέργεια προσδίδεται στο στρόβιλο με μια σειρά μικρών ωθήσεων ή παλμών, ο στρόβιλος αυτός καλείται και στρόβιλος ώθησης (impulse turbine). Η σχεδίαση έχει γίνει με σκοπό την εκμετάλλευση της ορμής της ροής. Η απόδοση των τροχών είναι μεγαλύτερη όταν η ταχύτητα των «κυπέλλων» είναι η μισή από την ταχύτητα του πίδακα νερού. Επίσης, υπάρχει ένας βέλτιστος ρυθμός περιστροφής του τροχού για κάθε υψομετρική διαφορά και διάμετρο του τροχού.

Παρόμοιοι τύποι με το στρόβιλο Pelton είναι ο στρόβιλος Turgo (που αναπτύχθηκε στην δεκαετία του 1920) και ο στρόβιλος Ossberger.

Όλοι οι υδροστρόβιλοι πήραν τα ονόματά τους από τους εφευρέτες τους και μπορούν να τοποθετηθούν κάθετα ή οριζόντια, αν και οι στρόβιλοι Kaplan έχουν τη δυνατότητα να τοποθετούνται σε οποιαδήποτε γωνία.



Σχήμα 11.11. *Οι στρόβιλοι Kaplan.*



Σχήμα 11.7. *Οι τροχοί Pelton.*

Έχουμε συζητήσει προηγουμένως ότι γενικά οι τροχοί Pelton ενδείκνυνται για μεγάλες τιμές της υψομετρικής διαφοράς του νερού, οι στρόβιλοι τύπου προπέλας για μικρές διαφορές και οι στρόβιλοι Kaplan για ενδιάμεσες τιμές. Αλλά, το ενεργό ύψος από το οποίο πέφτει το νερό δεν αποτελεί τη μοναδική παράμετρο για την επιλογή του τύπου του στροβίλου σε μία συγκεκριμένη περίπτωση. Η κύρια παράμετρος που χρησιμοποιείται για την επιλογή του στροβίλου είναι ο «ειδικός αριθμός στροφών» ή η «ειδική ταχύτητα» (specific speed, N_s), η οποία είναι συνάρτηση της αποδιδόμενης ισχύος (P σε kW), του ύψους της υδατόπτωσης (h σε m) και της ταχύτητας περιστροφής (N σε περιστροφές ανά λεπτό, rpm):

$$N_s = N\sqrt{\frac{P}{h^2\sqrt{h}}} \tag{11.4}$$

Η παράμετρος N_s εξαρτάται ουσιαστικά από δύο παράγοντες:

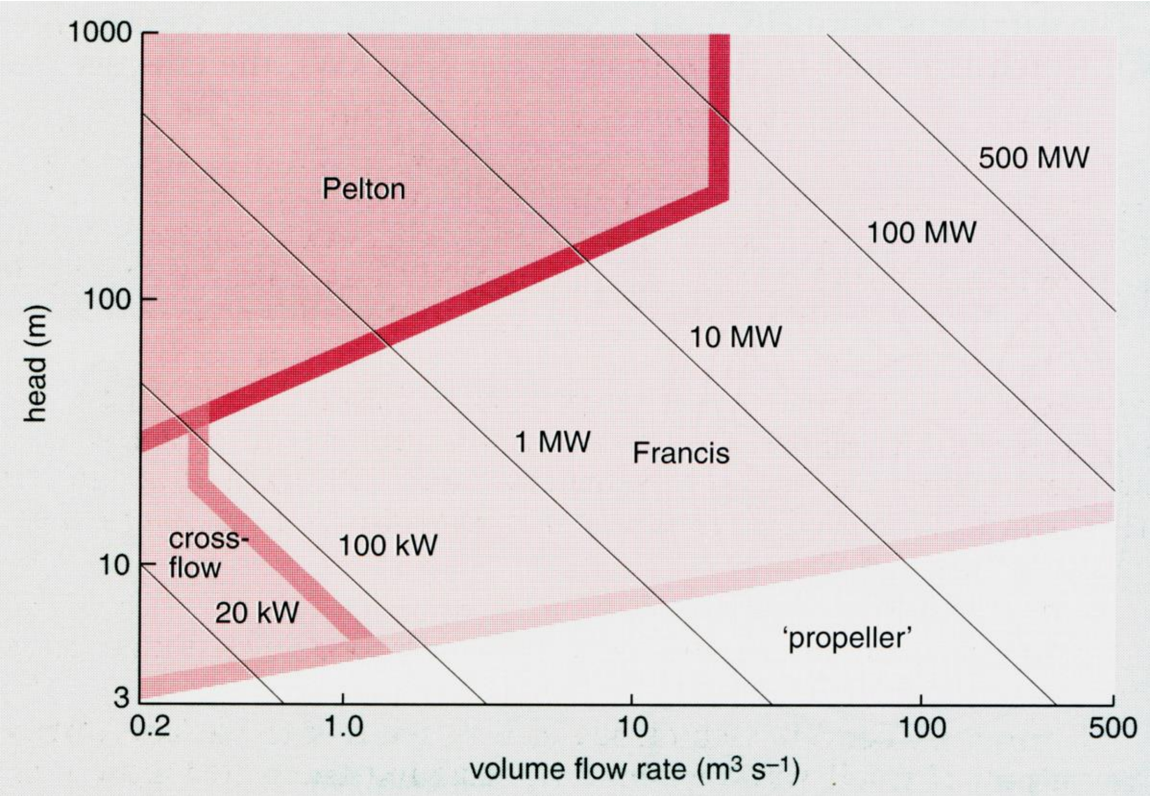
1) Τον λόγο της διαμέτρου του εισερχόμενου πίδακα νερού ως προς τη διάμετρο του στροβίλου (d/D)

2) Το λόγο της ταχύτητας των πτερυγίων ως προς την ταχύτητα του νερού (v_B/v_W).

Τυπικές ειδικές ταχύτητες παρουσιάζονται στον Πίνακα 11.3. Το διάγραμμα του Σχήματος 11.8 δείχνει τις περιοχές συνθηκών (παροχή νερού και υψομετρική διαφορά) που ενδείκνυνται για τους συνήθεις τύπους των υδροστροβίλων. Τονίζεται βέβαια, ότι στην επιλογή του τύπου του στροβίλου θα πρέπει να συνεκτιμούνται το κόστος αγοράς του, καθώς και η απλότητα και η ευκολία στην κατασκευή, τη συντήρηση και τη λειτουργία όλου του συστήματος

Πίνακας 11.3. *Τυπικές ειδικές ταχύτητες στροβίλων.*

Τύπος στροβίλου	Περιοχή τιμών ειδικής ταχύτητας
Franscis	70-500
Kaplan	350-1000
Pelton	10-35
Turgo	20-80



__Σχήμα 11.8.__ Περιοχές εφαρμογής των διαφόρων υδροστροβίλων.

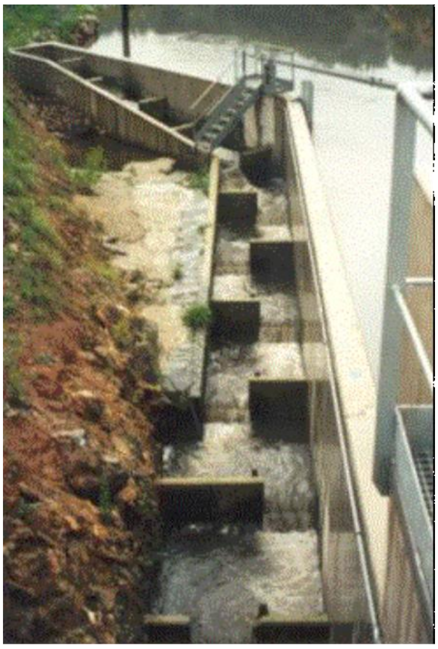
11.4 Πλεονεκτήματα και Περιορισμοί

Πλεονεκτήματα

- Αποτελεί «ιδανική» μορφή ενέργειας, είναι απόλυτα ανανεώσιμη
- Πολύ αποδοτική (απόδοση >85%)
- Αξιόπιστη μέθοδος (δεν υπεισέρχονται πολλά μηχανήματα), είναι διαθέσιμη όλο το χρόνο, δεν εκπέμπονται ρύποι και θερμικά απόβλητα και γενικά δεν έχει μεγάλη επίδραση στο περιβάλλον (εκτός από τη μεταβολή του τοπικού μικροκλίματος)
- Ευκολία και απλότητα χειρισμών. Οι Υ/Η σταθμοί αρχίζουν ή σταματούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια πολύ γρήγορα. Απαιτούν ελάχιστο προσωπικό.
- Ενέργεια με το μικρότερο κόστος. Το κόστος εγκατάστασης αποτελείται βασικά από το κόστος διαμόρφωσης του χώρου και από το κόστος κατασκευής του φράγματος. Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποθήκευση ενέργειας κατά τη διάρκεια της νύχτας που οι απαιτήσεις για ηλεκτρική ισχύ είναι μικρότερες (αντλησιοταμίευση).
- Σχετικά μεγάλη διάρκεια ζωής (2-10 φορές μεγαλύτερη συγκριτικά με τις μονάδες καύσης άνθρακα και τις πυρηνικές μονάδες).
- Βοηθούν στον έλεγχο και τη πρόληψη πλημμύρων.
- Σε ορισμένες περιπτώσεις δημιουργούν νέους υγροτόπους.
- Επιπλέον τα φράγματα λειτουργούν ως αποθήκες νερού για ύδρευση, άρδευση, πυροπροστασία, χώρους αναψυχής κτλ. Συχνά, οι άλλες χρήσεις περιορίζουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Μειονεκτήματα – περιορισμοί

- Χρονική διακύμανση της υδραυλικότητας (εποχιακή διαφοροποίηση και πολύχρονοι κύκλοι ξηρασίας).
- Αστοχία στην κατασκευή, καταστροφή φράγματος, ιδιαίτερα σε σεισμογενείς περιοχές. Οι καταστροφές από αστοχίες φραγμάτων είναι πολύ μικρές τα τελευταία 20 χρόνια (1 επεισόδιο σε 120.000 φράγματα ανά έτος).
- Οπτική ρύπανση. Σε σχετικά μικρές κατασκευές το φράγμα μπορεί να γίνει με υλικό της περιοχής ή να τοποθετηθεί κάλυψη με πέτρα κτλ.
- Η αποθήκευση του νερού στο φράγμα μπορεί να μειώσει σημαντικά τη ροή ενός ποταμού προς τις εκβολές του λόγω της αυξημένης εξάτμισης στην μεγάλη υδάτινη επιφάνεια.
- Συσσώρευση λάσπης που συνεπάγεται περιορισμένο χρόνο ζωής. Για παράδειγμα, το Hoover Dam στον ποταμό Colorado η χωρητικότητά του έχει μειωθεί σημαντικά από τη συσσώρευση λάσπης στα 65 χρόνια λειτουργίας του φράγματος. Επιπλέον, κατάντη του φράγματος έχουν δημιουργηθεί υδρολογικά προβλήματα με τη υφαλμύρωση τεράστιων εκτάσεων.
- Πρόκληση μικροσεισμικότητας και περιορισμένη αλλαγή του τοπικού κλίματος.
- Επίδραση στην ικανότητα αερισμού (διαλυμένο οξυγόνο) των νερών με αποτέλεσμα τη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών (με πιθανή συνέπεια την παραγωγή μεθανίου από την αποσύνθεση της φυτικής ύλης, τη μετατροπή των νιτρικών ιόντων σε αμμωνία, των θειικών ιόντων σε υδρόθειο κτλ.). Απαιτείται επίσης σχολαστική απομάκρυνση των φυτικών υλών πριν από την πλημμύριση του φράγματος με νερά.
- Αλλαγή χρήσης γης, πλημμύριση μεγάλων καλλιεργήσιμων ή μη εκτάσεων, χωριών, πολιτισμικών μνημείων κτλ. για την κατασκευή της τεχνητής λίμνης, μετατόπιση κατοίκων, καταστροφή ενδιαιτημάτων αγρίων ζώων. Για παράδειγμα, περισσότεροι από ένα εκατομμύριο κάτοικοι αναμένεται να μετακινηθούν, όταν περατωθεί το υπό κατασκευή σύστημα φραγμάτων των Τριών Φαραγγιών στον ποταμό Γιαγνκ-Τσε της Κίνας και κατακλυστούν από νερά περισσότερες από 100 πόλεις. Για το έργο αυτό έχει εκδηλωθεί έντονη αντίδραση οικολογικών οργανώσεων από όλο τον κόσμο.
- Τα φράγματα εμποδίζουν αλιεύματα (όπως ο σολομός) να μεταναστεύσουν στα ανάντη των ποταμών για την αναπαραγωγή τους και θανατώνουν τα νεογνά του σολομού καθώς περνούν μέσα από τα φράγματα και τις υδροστροβίλους. Απαιτούνται ειδικές «σκάλες» σε κάθε φράγμα, τις οποίες μπορούν να υπερπηδήσουν τα ψάρια (Σχήμα 11.9). Η αιτία αύτη έχει οδηγήσει στην κατεδάφιση ορισμένων φραγμάτων τόσο στις Ανατολικές όσο και στις Δυτικές πολιτείες των Η.Π.Α.
- Υπάρχει έντονη αντίδραση διεθνών περιβαλλοντικών οργανώσεων για μεγάλα εγχειρήματα που εγκυμονούν περιβαλλοντικά και κοινωνικά προβλήματα.
- Υπάρχει γενικά συναίνεση ότι τα μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα έχουν πολύ μικρές επιπτώσεις στο περιβάλλον.



***Σχήμα 6.9**. Φωτογραφία ειδικής «σκάλας» για την μετακίνηση των ψαριών.*

11.5 Γενικά στοιχεία

- Η εγκατεστημένη ισχύς των Υ/Η συστημάτων στον κόσμο κατά το 2014 ανήλθε σε 1055 GW (αντιπροσωπεύοντας περίπου το 22% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος μονάδων ηλεκτροπαραγωγής), από τα οποία στα μικρά Υ/Η (<10 MW) αντιστοιχούν σε 26.000 MW
- Ο μέσος συντελεστής λειτουργίας όλων των Υ/Η μονάδων ανέρχεται σε 40%. Στην Ελλάδα ο συντελεστής αυτός είναι μικρότερος.
- Υπάρχουν περίπου 36.000 μεγάλα φράγματα (με ύψος μεγαλύτερο των 15 m), αν και δεν προορίζονται όλα για ηλεκτροπαραγωγή. Το 95% των φραγμάτων έχει ύψος μικρότερο από 60 m και το 79% μικρότερο από 30 m. Μόνο στο 1% των φραγμάτων το ύψος τους υπερβαίνει τα 100 m.
- Τα 150 μεγαλύτερα φράγματα στον κόσμο παράγουν το 40% της παγκόσμιας παραγωγής υδροηλεκτρισμού.
- Το υψηλότερο φράγμα στον κόσμο, με ύψος 335 m, βρίσκεται στον ποταμό Rogan του Τατζικιστάν.
- Η μεγαλύτερη υδροηλεκτρική μονάδα στον κόσμο είναι το Φράγμα των Τριών Φαραγγιών στον ποταμό Γιανγκτσέ, κοντά στην πόλη Σαντουπίνγκ, στην επαρχία Χουπέι της Κίνας, με εγκατεστημένη ισχύ 22.500 MW. Το φράγμα έχει ύψος 180 m και μήκος 2.335 m. Αναφορικά με την παραγωγή ενέργειας είναι δεύτερο μετά το φράγμα Ιταϊπού. Το φραγμα αυτό βρίσκεται μεταξύ Παραγουάης και Βραζιλία, στον ποταμό Parana, με εγκατεστημένη ισχύς 12.600 MW. Η μονάδα παράγει το 85% των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια της Παραγουάης και μεγάλο ποσοστό των αναγκών της Βραζιλίας. Το ενεργό ύψος του φράγματος είναι 120 m και η μέση παροχή του νερού 9000 m^3/s.
- Η υδροϊσχύς καλύπτει σήμερα το περίπου το 3% των αναγκών της γης σε ενέργεια (ή το 17% της ηλεκτρικής ενέργειας).
- Η αξιοποιήσιμη υδροϊσχύς είναι περίπου 3-4 φορές περισσότερη από την ισχύ που εκμεταλλευόμαστε σήμερα.
- Στην Νορβηγία και την Ισλανδία η Υ.Ε. καλύπτει περισσότερο από το 95% της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ στην Ελβετία το ποσοστό αυτό φτάνει το 60% (το υπόλοιπο καλύπτεται βασικά από πυρηνική ενέργεια).

Ελλάδα:

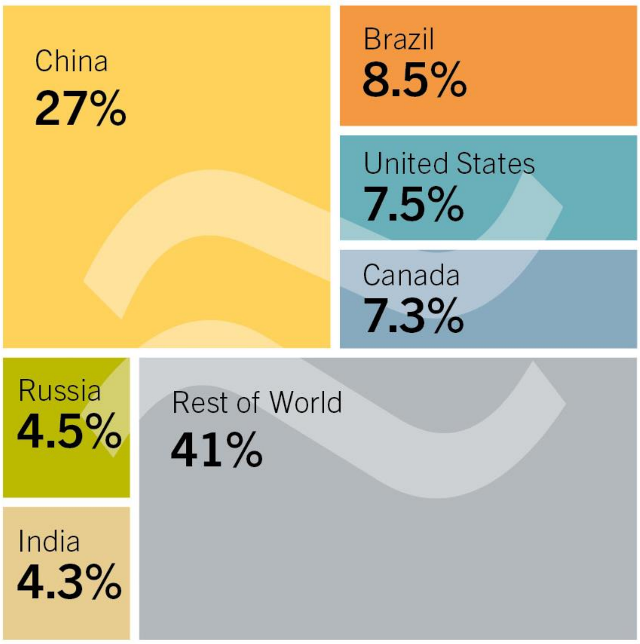
- Η χώρας μας διαθέτη καλή γεωμορφολογία για την αποθήκευση νερού, αν και η μέχρι τώρα αξιοποίηση του δυναμικού της κυμαίνεται σε μέτρια επίπεδα, με αξιοποίηση μόλις του 20% του εγχώριου υδάτινου δυναμικού. Το τεχνητά και οικονομικά αξιοποιήσιμο ετήσιο εγχώριο δυναμικό της υδροϊσχύος ανέρχεται σε 21 TWh. (Το θεωρητικό δυναμικό σύμφωνα με στοιχεία της ΔΕΗ ανέρχεται σε 85 TWh/έτος). Η αξιοποίηση των μικρών υδροηλεκτρικών μονάδων είναι μικρή και υπάρχουν αρκετές δυνατότητες, σε αντίθεση με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά, το δυναμικό των οποίων φαίνεται περιορισμένο.
  - Οι υδροηλεκτρικές μονάδες κατέχουν ποσοστό 25% της συνολικής εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος (3200 MW, Πίνακας 1.9). Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής της χώρας μας παρουσιάζονται στον Πίνακα 11.5.

- Το υψηλότερο φράγμα στην Ελλάδα είναι το φράγμα Κρεμαστών στην Αιτωλοακαρνανία με ύψος 165 m.

Πίνακας 11.4. *Οι δέκα χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο, την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ υδροηλεκτρικών μονάδων και το ποσοστό κάλυψης της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την υδροϊσχύ κατά το 2012. [Πηγή: IEA, 2015]*

Παραγωγή	**TWh**	**% παγκ.**	**Εγκατ. ισχύς**	**GW**	**Χώρα***	**% κάλυψη αναγκών Η.Ε.**
Κίνα	872	23,2	Κίνα	194	Νορβηγία	96,7
Βραζιλία	415	11,1	Η.Π.Α.	101	Βραζιλία	75,2
Καναδάς	381	10,1	Βραζιλία	84	Βενεζουέλα	64,8
Η.Π.Α.	298	7,9	Καναδάς	76	Καναδάς	60,0
Ρωσία	167	4,5	Ρωσία	49	Σουηδία	46,5
Νορβηγία	143	3,8	Ιαπωνία	49	Κίνα	17,5
Ινδία	126	3,4	Ινδία	40	Ρωσία	15,6
Ιαπωνία	84	2,2	Νορβηγία	30	Ινδία	11,2
Βενεζουέλα	82	2,2	Γαλλία	25	Ιαπωνία	8,1
Σουηδία	79	2,1	Ιταλία	22	Η.Π.Α.	7,0
Παγκόσμια	**3756**	**100**	**Παγκόσμια**	**1025**	**Παγκόσμια**	**16,5**

*αναφέρεται μόνον στις 10 χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή



Σχήμα 11.8. *Η συμμετοχή των 6 κυριότερων χωρών στην εγκατεστημένη ισχύ υδροενέργειας κατά το 2014. Πηγή: REN 21, Renewables 2015 Global Report.)*

Πίνακας 11.5. *Υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής στη Ελλάδα που εκμεταλλεύεται η ΔΕΗ.*

Περιφέρεια	**Όνομα σταθμού**	**Ισχύς (MW)**	**Παραγωγή το 2002 σε TWh**
Ανατολ. Μακεδονία & Θράκη	Θησαυρός	384	0,568
	Πλατανόβρυση	116	0,140
Δυτική Ελλάς	Κρεμαστά	437	0,512
	Καστράκι	320	0,374
	Στράτος	150	0,174
	Στράτος ΙΙ	6,2	0.008
	Γλαύκος	3,7	0,011
Δυτική Μακεδονία	Πολύφυτο	375	0,266
Ήπειρος	Λούρος	10,3	0,032
	Πουρνάρι	300	0,223
	Πουρνάρι ΙΙ	33,6	0,033
	Πηγές Αώου	210	0,131
Θεσσαλία	Ταυρωπός	130	0,115
Κεντρική Μακεδονία	'Αγιος Ιωάννης	0,7	0,001
	Βέρμιο	1,8	0,005
	'Αγρας	50	0,022
	Εδεσσαίος	19	0,018
	Μακροχώρι	10,8	0,018
	Ασώματα	108	0,090
	Σφηκιά	315	0,441
Κρήτη	Αγιά	0,3	0,001
	Αλμυρός	0,3	0,001
Πελοπόννησος	Λάδωνας	70	0,188
Στερεά Ελλάς	Γκιώνα	8,5	0,009
ΣΥΝΟΛΟ		**3060,2**	**3,381**

11.6. Μικρά Υδροηλεκτρικά Συστήματα

Ο ορισμός των Μικρών Υδροηλεκτρικών συστημάτων ποικίλλει από χώρα σε χώρα, ενώ και αυτά υποδιαιρούνται σε τρεις άλλες κατηγορίες (Πίνακας 11.2). Η ελληνική νομοθεσία ορίζει ως μικρά τα συστήματα με ισχύ μικρότερη των 10 MW, με τον όρο ότι μόνο τα έργα εγκατεστημένης ισχύος έως και 2 MW μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο ελεύθερης δράσης. Το 50% σχεδόν των μικρών Υ/Η συστημάτων στο κόσμο βρίσκεται στην Κίνα, με περίπου 43.000 μονάδες καλύπτοντας το 19% των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρισμό.

Τα μικρά υδροηλεκτρικά δεν αποτελούν καινούρια ιδέα. Βασικά, τα πρώτα υδροηλεκτρικά συστήματα ήταν «μικρά» και χρησιμοποιούσαν τα φράγματα ή τους υδατοφράκτες των παλιών νερόμυλων. Το χαρακτηριστικό αυτό συνεχίστηκε μέχρι το 1920, όταν άρχισαν να κατασκευάζονται τα μεγάλα ατμοηλεκτρικά συστήματα. Το πρόσφατο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των συστημάτων αυτών προήλθε από διάφορους παράγοντες, μερικοί από τους οποίους είναι:

- στρατηγικές ανησυχίες για τον ενεργειακό ανεφοδιασμό μιας χώρας
- το περιορισμένο δυναμικό των μεγάλων υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων
- τεχνολογικές εξελίξεις στην ηλεκτρονική με συνέπεια τη σημαντική μείωση του κόστους ελέγχου της παραγόμενης ενέργειας με τη ικανοποίηση συγχρόνως των προδιαγραφών τάσης και συχνότητας των κεντρικών συστημάτων.

Τα πλεονεκτήματα των Μικρών Υδροηλεκτρικών, μεταξύ άλλων, είναι η δυνατότητα άμεσης ένταξης-απόζευξης στο δίκτυο, η αξιοπιστία τους, η παραγωγή ενέργειας χωρίς διακυμάνσεις, η άριστη διαχρονική συμπεριφορά τους, η μεγάλη διάρκεια ζωής τους, ο μικρός χρόνος απόσβεσης των επενδύσεων και η ταυτόχρονη ικανοποίηση και άλλων αναγκών χρήσης νερού. Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα μπορούν να αποτελέσουν σημαντική πηγή εσόδων για έναν δήμο. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των μικρών υδροηλεκτρικών μονάδων στη χώρα μας σήμερα ξεπερνά τα 70 MW, εξυπηρετώντας πολλές φορές απομακρυσμένες περιοχές (π.χ. Μονές στο Άγιο Όρος) ή ορεινές κοινότητες.

Πρόβλημα. Το φράγμα Κρεμαστών στην Αιτωλοακαρνανία έχει ύψος 165 m. Πόση παροχή νερού απαιτείται για να παράγονται 200 MWe ηλεκτρικής ισχύος; (Υπόθεση: απόδοση 85%.)

Λύση:

Η ισχύς μιας υδατόπτωσης δίνεται από τη σχέση: P = g x M x h x n

Για P=200 MW, g=9,81 m/s^2, h=165 m και n=0,85 προκύπτει M=145000 kg/s ή Q=523.000 m^3/hour.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1) Μπορεί η υδροηλεκτρική ενέργεια να παίξει στο μέλλον πρωτεύοντα ρόλο στα ενεργειακά θέματα του κόσμου, της Ε.Ε. ή της χώρας μας;
2) Ποιο είναι το μέλλον της υδροηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας;
3) Ποιοι είναι οι λόγοι που μπορούν να βοηθήσουν στην ανάπτυξη των μικρών υδροηλεκτρικών συστημάτων στη χώρα μας;

Το φράγμα των Τριών φαραγγιών, Κίνα.

12. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

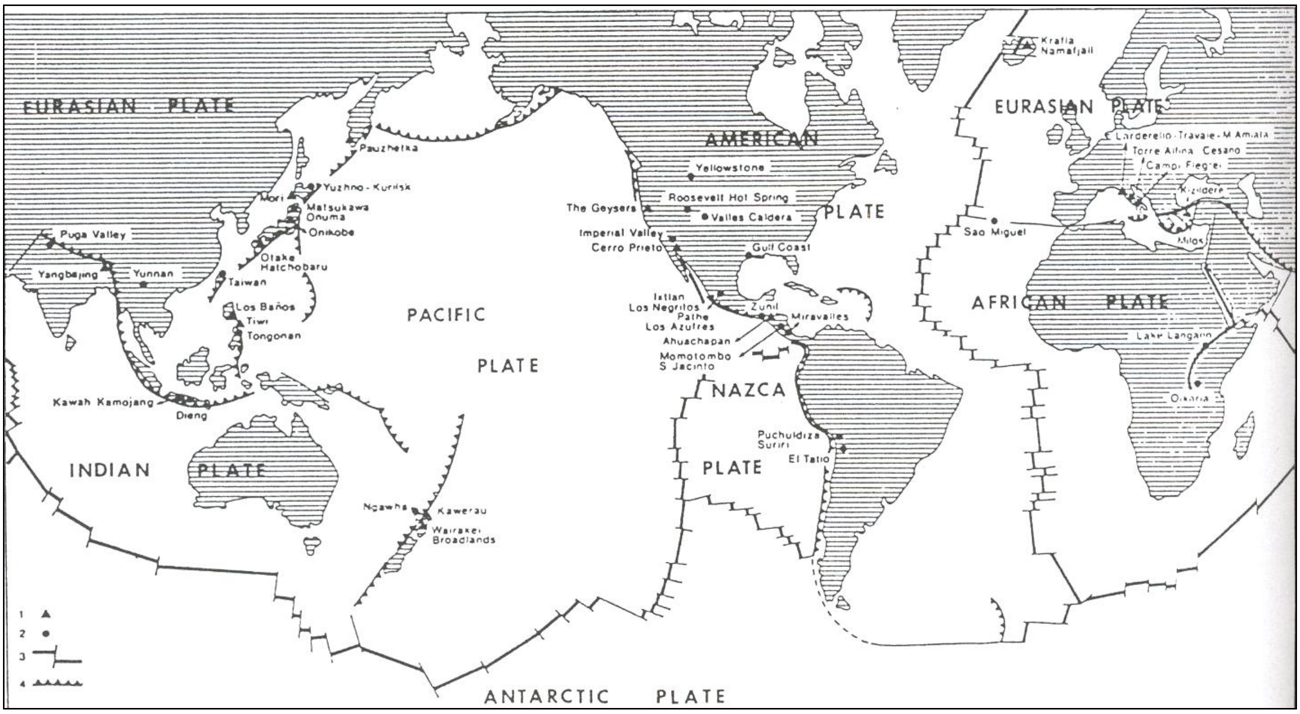
12.1. Εισαγωγή

Γεωθερμική ενέργεια είναι στην κυριολεξία η θερμότητα που εμπεριέχεται στη γη και η οποία δημιουργεί διάφορα γεωλογικά φαινόμενα. Όμως με τον όρο «γεωθερμική ενέργεια», που θα χρησιμοποιήσουμε σε αυτές τις σημειώσεις, εννοούμε το τμήμα της γήινης θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένο με τη μορφή *θερμού νερού* ή *ατμού* σε ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, περιορίζεται στα πρώτα τρία περίπου χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης και μπορούμε να το εκμεταλλευθούμε. Η ενέργεια αυτή βρίσκεται συνήθως περιορισμένη σε μία *γεωθερμική περιοχή ή πεδίο (geothermal area ή field)* με συγκεκριμένα επιφανειακά όρια. Ως *γεωθερμική χρήση* αναφέρεται η οικονομική εκμετάλλευση του ατμού ή των θερμών νερών, είτε αυτά ρέουν φυσικά, είτε βγαίνουν στην επιφάνεια μέσω γεώτρησης.

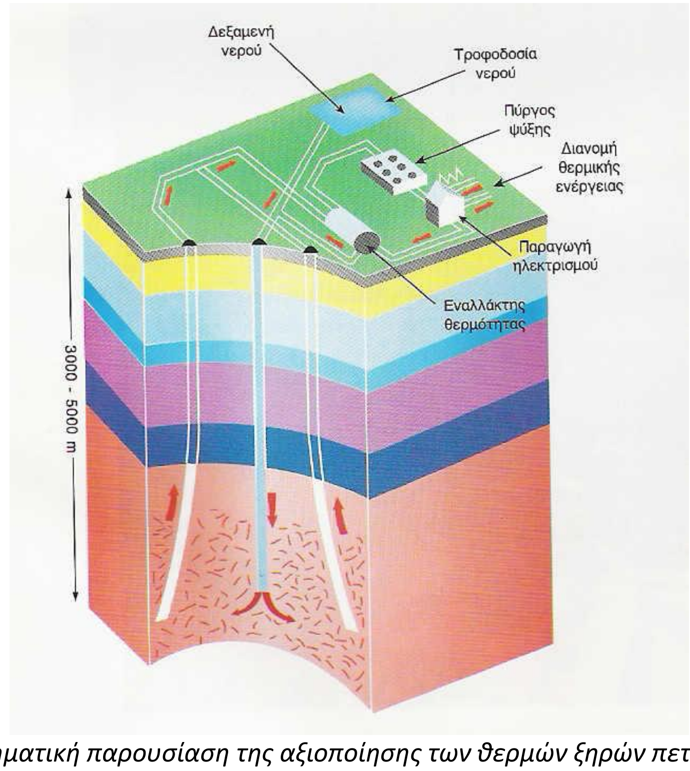
Η πλέον εντυπωσιακή απόδειξη της θερμότητας που υπάρχει στο εσωτερικό της γης αποτελεί η ηφαιστειακή δραστηριότητα. Άλλες γεωθερμικές ενδείξεις είναι οι ατμοί, τα θερμά νερά και τα αέρια που σχηματίζουν θερμοπίδακες (γκέιζερ), θερμές πηγές και ατμίδες. Ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας με το βάθος από την επιφάνεια της γης είναι γνωστός με το όνομα ***γεωθερμική βαθμίδα***. Η γεωθερμική βαθμίδα κυμαίνεται από 5 μέχρι 70°C/km, με μέση τιμή τους **30°C/km**. Περιοχές με θεωρητικά γεωθερμικό ενδιαφέρον είναι οι περιοχές που διαθέτουν γεωθερμική βαθμίδα μεγαλύτερη από τη μέση τιμή. Τέτοιες περιοχές είναι πολλές στον πλανήτη μας και οι περισσότερες βρίσκονται στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 12.1.

Ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία κύρια συστατικά: *μία πηγή θερμότητας, έναν ταμιευτήρα και το ρευστό*, το οποίο είναι ο φορέας της θερμότητας. Η πηγή θερμότητας μπορεί να είναι είτε μια μαγματική διείσδυση (με θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 600°C), η οποία έφθασε σε σχετικά μικρά βάθη (5-10 km), είτε η κανονική αύξηση της θερμοκρασίας με το βάθος. Ο ταμιευτήρας είναι ουσιαστικά ένα σύστημα θερμών διαπερατών πετρωμάτων από τα οποία τα κυκλοφορούντα ρευστά απάγουν θερμότητα. Το γεωθερμικό ρευστό είναι νερό, μετεωρικής προέλευσης τις περισσότερες φορές, σε υγρή ή σε αέρια φάση, κάτι που εξαρτάται από την πίεση και τη θερμοκρασία. Περιέχει σημαντικές ποσότητες συνήθως διαλυμένων στερεών ουσιών και αερίων, όπως διοξείδιο του άνθρακα και υδρόθειο.

Σήμερα, μόνο ένα μικρό μέρος της γεωθερμικής ενέργειας αξιοποιείται. Μια κατηγορία γεωθερμικής ενέργειας, η οποία όμως βρίσκεται ακόμη σε ερευνητικό στάδιο, είναι η λεγόμενη *ενέργεια των θερμών ξηρών πετρωμάτων* (hot dry rock energy, Σχήμα 12.2). Νερό οδηγείται με αντλίες από την επιφάνεια της γης μέσω μιας γεώτρησης εισαγωγής μέχρι τα θερμά ξηρά πετρώματα. Μετά τη θέρμανσή του εκεί το νερό επιστρέφει στην επιφάνεια μέσω της παραγωγικής γεώτρησης. Η τεχνική βιωσιμότητα τέτοιων συστημάτων έχει αποδειχθεί σε πειραματικό επίπεδο, το κόστος τους όμως είναι αρκετά υψηλό με τα σημερινά δεδομένα.



Σχήμα 12.1*. Τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, στα οποία απαντούν τα περισσότερα γεωθερμικά συστήματα.*



Σχήμα 12.2*. Σχηματική παρουσίαση της αξιοποίησης των θερμών ξηρών πετρωμάτων με μία γεώτρηση τροφοδοσίας και δύο παραγωγικές γεωτρήσεις.*

Η **γεωθερμική ενέργεια** είναι μια σχετικά ήπια, εναλλακτική μορφή ενέργειας, η οποία με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικό μέρος των αναγκών μας σε ενέργεια. Οι χρήσεις και οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας, η οποία απαντά σε αρκετές περιοχές της γης, ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό και περιλαμβάνουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τις αγροτικές διεργασίες (π.χ. ξήρανση σιτηρών), τη θέρμανση οικιών, τη δημιουργία ψύξης κλπ. Η περιοχή των θερμοκρασιών των θερμών νερών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτείνεται από τους 20°C (για θέρμανση χώρων με τη χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας) μέχρι τους 280°C (για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος). Επιπλέον, αρκετά γεωθερμικά ρευστά εκτός από τη θερμότητά τους περιέχουν και αξιοποιήσιμες διαλυμένες ποσότητες στερεών ή αέριων ουσιών (κοινό αλάτι, διοξείδιο του άνθρακα, πολύτιμα μέταλλα), τα οποία μπορούν να ανακτηθούν με οικονομικό τρόπο.

Οι θερμές πηγές θεωρούνταν από την αρχαιότητα ακόμη ότι είχαν θεραπευτικές και υπερφυσικές ιδιότητες, γι' αυτό τα Ασκληπιεία αλλά και άλλοι ιεροί χώροι ήταν κοντά σε θερμές πηγές. Ο ναός της Αρτέμιδος στη Λέσβο είναι κτισμένος πάνω στο χώρο όπου αναβλύζουν και σήμερα θερμές πηγές. Υπάρχουν πολλές παραστάσεις, κυρίως σε αγγεία, που συνδέουν τις θερμές πηγές με τη χρήση του νερού για ιαματικούς σκοπούς, ακόμα και για θρησκευτικούς. Η χρήση των φυσικών θερμών ρευστών ήταν γνωστή και στους αρχαίους ανατολικούς λαούς (Κίνα, Ιαπωνία) με πληθώρα μαρτυριών στη μυθολογία και την ιστορία τους. Οι Ετρούσκοι και οι Ρωμαίοι επίσης χρησιμοποιούσαν τα θερμά νερά όχι μόνο για ιαματικούς σκοπούς αλλά και για τη θέρμανση οικοδομών. Ο Γαληνός λέγεται ότι προσέφερε φρούτα εκτός εποχής στους καλεσμένους του, που παρήγε προφανώς σε κάποιο γεωθερμικό θερμοκήπιο της εποχής.

Τα φυσικά λοιπόν θερμά ρευστά χρησιμοποιήθηκαν από πολύ παλιά, κυρίως για τις θεραπευτικές ιδιότητες, σπάνια για τις ενεργειακές δυνατότητές τους. Προφανώς έλειπαν οι μεγάλες ποσότητες ρευστών που παράγονται με τις γεωτρήσεις, αφού αυτές πρωτοέγιναν με τη νέα τεχνολογία μόλις τον προηγούμενο αιώνα. Οι σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές επέτρεψαν τον τελευταίο κυρίως αιώνα την απόληψη της θερμικής ενέργειας. Πράγματι, οι ποσότητες των ρευστών που καταφέρνουν να φθάνουν από μόνα τους στην επιφάνεια είναι πάρα πολύ μικρές σε σύγκριση με εκείνα που είναι εγκλωβισμένα στο υπέδαφος και «περιμένουν» τις γεωτρήσεις για να ανέβουν, μέσα από τις οπές τους, είτε με τη δική τους πίεση είτε ύστερα από άντληση.

Στη σύγχρονη εποχή η πρώτη βιομηχανική αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας πραγματοποιήθηκε στο Larderello της Ιταλίας, όπου από τις αρχές του 19ου αιώνα χρησιμοποιήθηκε υπέρθερμος ατμός για την παραγωγή βορικού οξέος (με εξάτμιση των νερών που περιείχαν σημαντικές ποσότητες του οξέος) και για τη θέρμανση κτιρίων. Η πρώτη συστηματική αξιοποίηση της γεωθερμίας για θέρμανση χώρων ξεκίνησε στην Ισλανδία. Σήμερα το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της Ισλανδίας (και ολόκληρη η πόλη του Reykjavik) θερμαίνονται με γεωθερμικά νερά.

Ενώ το δυναμικό της γεωθερμικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο (αλλά και στην Ελλάδα) είναι σημαντικό, υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί στο να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά αυτό το δυναμικό. Αυτοί οι περιορισμοί μπορεί να είναι **τεχνικής φύσεως** (διάβρωση, δημιουργία επικαθίσεων), **περιβαλλοντικής φύσεως** (εκπομπές τοξικών αερίων, θερμική ρύπανση) και **οικονομικής φύσεως**. Οι οικονομικοί περιορισμοί παίζουν σπουδαίο ρόλο σε κάθε προσπάθεια αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας. Γενικά είναι πιθανότερη η αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών όταν αυτά βρίσκονται κοντά σε βιομηχανικές, αστικές ή αγροτικές περιοχές, ή όταν υπάρχουν ανάγκες θέρμανσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Μπορεί να λεχθεί ότι η χώρα μας είναι ιδιαίτερα ευνοημένη γεωθερμικά και τα τελευταία 30 χρόνια έχει γίνει (κυρίως από το ΙΓΜΕ) συστηματική βασική έρευνα για τον εντοπισμό και χαρακτηρισμό των γεωθερμικών πεδίων. Ξ Ελλάδα μαζί με την Ιταλία (και την Πορτογαλία στις Αζόρες Νήσους) είναι οι μόνες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης στις οποίες υπάρχουν πεδία υψηλής ενθαλπίας, δηλαδή περιοχές στις οποίες μπορούν να παραχθούν ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 150°C, τα οποία χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Επίσης η χώρα μας διαθέτει πληθώρα περιοχών, κυρίως στην Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα, με θερμοκρασίες ταμιευτήρων που ξεπερνούν τους 90°C.

12.2. Το Γεωθερμικό Δυναμικό της Ελλάδας

Ο Ελλαδικός χώρος, εξαιτίας κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, είναι από τους γεωθερμικά ευνοημένους και διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500 m). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτήρων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση.

Στη *Μήλο* και *Νίσυρο* έχουν ανακαλυφθεί σπουδαία γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας (δηλ. με θερμοκρασίες ρευστών μεγαλύτερες από 150°C) και έχουν γίνει γεωτρήσεις παραγωγής (5 και 2 αντίστοιχα). Οι γεωτρήσεις αυτές θα μπορούσαν να στηρίξουν μονάδες ηλεκτροπαραγωγής 20 και 5 MWe, ενώ το πιθανό συνολικό δυναμικό υπολογίζεται να είναι της τάξης των 200 και 50 MWe, αντίστοιχα. Στη Μήλο μετρήθηκαν θερμοκρασίες μέχρι 325°C σε βάθος 1000 m και στη Νίσυρο 350°C σε βάθος 1500 m. Εκτός από τα πεδία της Μήλου και της Νισύρου, ικανοποιητικά στοιχεία για πιθανά πεδία υψηλής ή μέσης ενθαλπίας προέκυψαν στην Κίμωλο, Σαντορίνη, Κω, Λέσβο και Σουσάκι Κορινθίας.

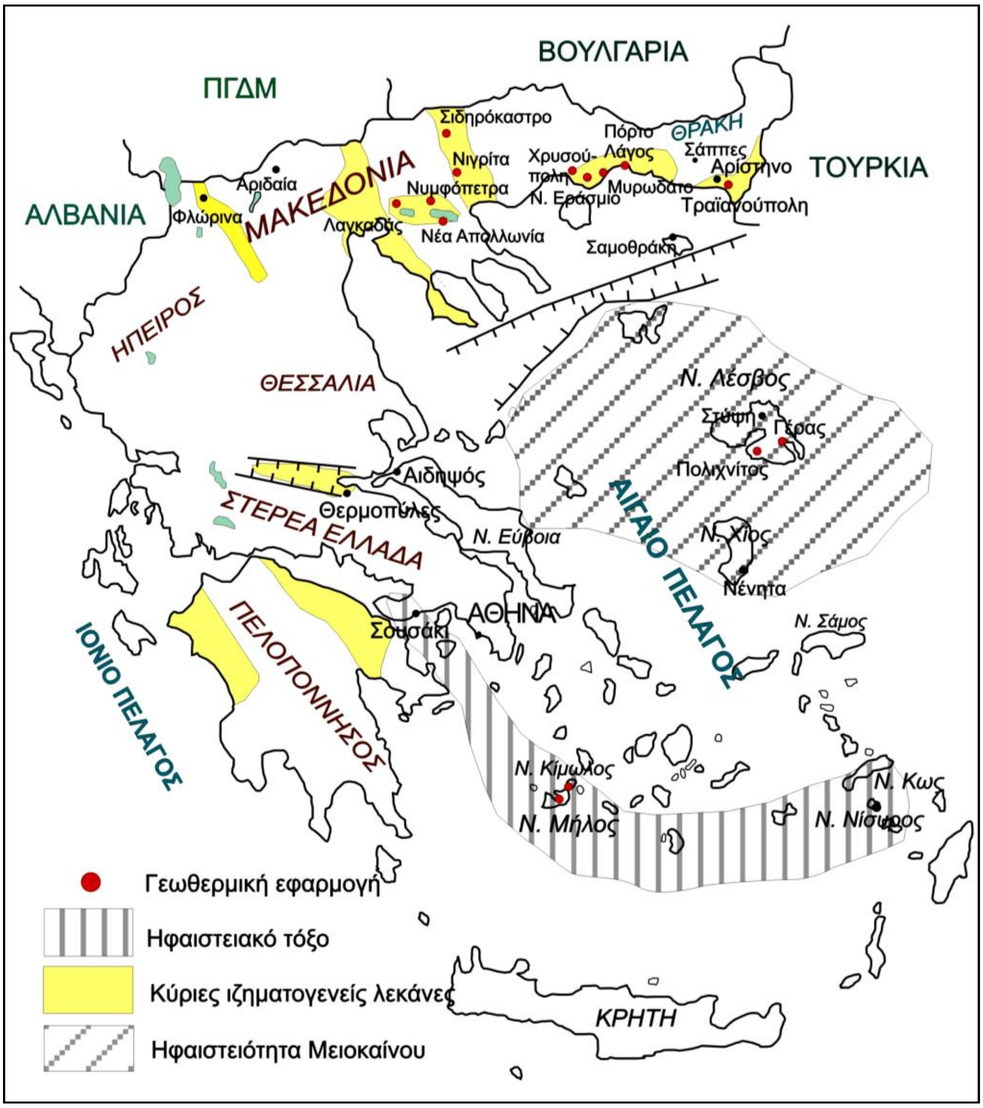
Η αυξημένη ροή θερμότητας, λόγω της έντονης τεκτονικής και μαγματικής δραστηριότητας, δημιούργησε εκτεταμένες θερμικές ανωμαλίες, με μέγιστες τιμές γεωθερμικής βαθμίδας που πολλές φορές ξεπερνούν τους 100ºC/km. Σε κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες η ενέργεια αυτή θερμαίνει υπόγειους ταμιευτήρες ρευστών σε θερμοκρασίες μέχρι 100°C. Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα (Σχήμα 12.3). Η συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να γίνει σημαντική, καθόσον αποτελούν ενεργειακό πόρο φιλικό προς το περιβάλλον, κοινωνικά αποδεκτό και παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό και αναπτυξιακό ενδιαφέρον.

Μόνο από υπάρχουσες γεωτρήσεις σε γεωθερμικά πεδία των πεδινών εκτάσεων της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης είναι δυνατόν να αντληθούν 2500 m^3/h θερμών ρευστών, με θερμοκρασίες μεταξύ 35 και 92˚C.

Στην πεδινή περιοχή του *Δέλτα Νέστου* έχουν εντοπισθεί δύο πολύ σημαντικά γεωθερμικά πεδία: στην περιοχή *Ερατεινό-Χρυσούπολη* Καβάλας και στην περιοχή Ν. *Εράσμιο-Μάγγανα* Ξάνθης. Στη *Ν. Κεσσάνη* και στο Πόρτο Λάγος Ξάνθης, σε μεγάλης έκτασης γεωθερμικά πεδία παράγονται νερά μέχρι 82°C. Σε διάφορες περιοχές του Ν. Ροδόπης (Σάππες, Μέση, Σιδηροχώρι, Νότια Κομοτηνής, κ.ά.) υπάρχουν πολύ ενθαρρυντικά στοιχεία για τον εντοπισμό γεωθερμικών πεδίων. Στη λεκάνη των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά (Ν. Θεσσαλονίκης) έχουν εντοπιστεί τρία πολύ «ρηχά» πεδία με θερμοκρασίες μέχρι 56°C. Στην περιοχή Ελαιοχωρίων-Ν. Τρίγλιας Χαλκιδικής υπάρχουν ήδη πολλές «ρηχές» γεωτρήσεις παραγωγής με ρευστά μέχρι 42°C. Το δυναμικό τους ξεπερνά τα 1000 m^3/h. Στη Νότια Θεσσαλία εντοπίσθηκαν ενδιαφέρουσες συνθήκες ταμιευτήρων (65^{o}C στα 700 m). Η κοιλάδα του Σπερχειού και η απέναντι Εύβοια διαθέτουν ένα πολύ μεγάλο γεωθερμικό δυναμικό, με θερμοκρασίες μέχρι 80°C. Η Δυτική Ελλάδα έχει λιγότερο ευνοϊκές συνθήκες (μικρότερες θερμοκρασίες) αλλά δεν λείπει το ενδιαφέρον σε συγκεκριμένες περιοχές. Ήδη στην πεδινή περιοχή Άρτας π.χ. βρέθηκαν ρευστά μέχρι 60°C στα 250 m. βάθους.

Τέλος στην ευρύτερη *λεκάνη του Στρυμόνα*, την περισσότερο αξιοποιημένη γεωθερμικά περιοχή στην Ελλάδα, έχουν εντοπισθεί τα πολύ σημαντικά πεδία *Θερμών-Νιγρίτας, Λιθότοπου-*

Ηράκλειας, Θερμοπηγής-Σιδηροκάστρου και *Αγγίστρου*. Πολλές γεωτρήσεις παράγουν νερά μέχρι 75°C, συνήθως αρτεσιανά και πολύ καλής ποιότητας και παροχής. Το CO_2 συνυπάρχει συνήθως με τα γεωθερμικά νερά. Μεγάλα και μικρότερα γεωθερμικά θερμοκήπια λειτουργούν στη Νιγρίτα και το Σιδηρόκαστρο. Αρκετές πιθανότητες ανεύρεσης νέων πεδίων στην ίδια λεκάνη υπάρχουν και στα Ίβηρα-Χουμνικό, στη Σκούταρη, στην Κερκίνη και σε άλλες περιοχές της λεκάνης.



Σχήμα 12.3. *Τα γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα.*

12.3. Άμεσες Χρήσεις της Γεωθερμικής Ενέργειας

12.3.1. Γενικά

Οι χρήσεις της γεωθερμίας χωρίζονται συνήθως σε **ηλεκτρικές** και σε **άμεσες χρήσεις** (*electrical and direct uses*), δηλαδή χρήσεις στις οποίες γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας των ρευστών χωρίς να παραχθεί ενδιάμεσα ηλεκτρική ενέργεια. Οι κυριότερες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας παρουσιάζονται επιγραμματικά στον Πίνακα 12.1, στο λεγόμενο *διάγραμμα Lindal* (1973). Στο διάγραμμα αυτό καταγράφονται παραδείγματα χρήσεων, δοκιμασμένων και πιθανών, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας των ρευστών. Οι περισσότερο καθιερωμένες εφαρμογές είναι η θέρμανση χώρων, οι ιχθυοκαλλιέργειες, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων και η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Στο επάνω μέρος του διαγράμματος Lindal ο κορεσμένος ατμός χρησιμοποιείται αποκλειστικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, ενώ οι άμεσες χρήσεις καλύπτουν όλη την κλίμακα θερμοκρασιών. Θα πρέπει να τονιστεί ότι διάγραμμα Lindal δεν περιορίζει το είδος των δυνατών χρήσεων, ούτε πρέπει να ληφθούν αυστηρά υπόψη τα όρια των θερμοκρασιών που θέτει.

***Πίνακας 12.1**. Το διάγραμμα Lindal.*

	Θερμ. (°C)	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	
	250-		
	200-		
	180-	Εξάτμιση πυκνών διαλυμάτων. Ψύξη με απορρόφηση αμμωνίας. Χρήση στη βιομηχανία χάρτου.	*Παραγωγή ηλεκτρισμού* ***με συμβατικό τρόπο***
	170-	Παραγωγή βαρέος ύδατος με τη μέθοδο του H_2S	
	160-	Ξήρανση ξυλείας	
	150-	Παραγωγή αλουμίνας με τη μέθοδο Bayer.	
Κορεσμένος ατμός	140-	Ξήρανση γεωργικών προϊόντων - κονσερβοποιία.	
	130-	Εξάτμιση στη βιομηχανία ζάχαρης. Απόληψη αλάτων με εξάτμιση. Νερό απεσταγμένο.	
	120-	Εξάτμιση-συμπύκνωση διαλυμάτων.	
	110-	Ξήρανση τσιμεντένιων στοιχείων.	
	100-	Ξήρανση οργανικών υλικών, φυκιών, λαχανικών κ.α. Πλύσιμο και ξήρανση μαλλιού.	
	90-	Ξήρανση ψαριών. Διεργασίες απόψυξης.	
	80-	Θέρμανση χώρων.	
Θερμό νερό	70-	Ψύξη (χαμηλότερη όριο).	
	60-	Καθαρισμός κτηνοτροφικών μονάδων. Θέρμανση θερμοκηπίων.	
	50-	Λουτροθεραπεία. Καλλιέργεια μανιταριών.	
	40-	Θέρμανση χώματος (για καλλιέργειες).	
	30-	Βιοαποικοδόμηση. Ζυμώσεις. Κολυμβητήρια. Χρήση σε μεταλλεία.	
	20-	Ιχθυοκαλλιέργειες	

Κατά το 2015, 82 χώρες έχουν αναπτύξει γεωθερμικές εφαρμογές χαμηλής-μέσης θερμοκρασίας, κάτι που δηλώνει σημαντική πρόοδο σε σχέση με το 1995, όταν είχαν αναφερθεί εφαρμογές μόνο σε 28 χώρες. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς γεωθερμικών μονάδων μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας ανήλθε το 2015 στα 70 GWt (Πίνακας 12.2), παρουσιάζοντας αύξηση 75% σε σχέση με το 2000, με μέση ετήσια αύξηση 12%. Αντίστοιχα, η χρήση ενέργειας αυξήθηκε κατά 43% σε σχέση με το 2000 και ανήλθε στα 273.372 TJ (75.940 GWh/έτος). Η διαφορά μεταξύ της αύξησης της εγκατεστημένης ισχύος και της χρήσης ενέργειας αντανακλά τη σημαντική αύξηση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, επειδή εμφανίζουν σχετικά μικρό συντελεστή λειτουργίας (capacity factor) για τον κύκλο θέρμανσης 0,18. Φυσικά, εξοικονόμηση ενέργειας με τις αντλίες θερμότητας γίνεται και στον κύκλο δροσισμού, αλλά αυτό δεν λαμβάνεται υπόψη.

Η εγκατεστημένη ισχύς και η χρήση ενέργειας από τις άμεσες χρήσεις για τις περισσότερες χώρες παρουσιάζεται στον Πίνακα 12.2, ενώ ο Πίνακας 12.3 ταξινομεί τις σημαντικότερες χώρες αναφορικά με την αξιοποίηση των άμεσων γεωθερμικών εφαρμογών (σε σχέση με την εγκατεστημένη ισχύ, την ισχύ ανά 1 εκατομμύριο κατοίκους και την παραγόμενη ενέργεια ανά 1 εκατομμύριο κατοίκους). Στον Πίνακα 12.3 παρουσιάζονται και τιμές των παραμέτρων που αφορούν στη χώρα μας.

Πίνακας 12.3. *Οι πέντε χώρες με την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ άμεσων χρήσεων στον κόσμο (κατά το 2010) , την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ ανά πληθυσμό και τη μεγαλύτερη χρήση ενέργειας ανά πληθυσμό. Για σύγκριση και η χώρα μας.*

Χώρα	**Εγκατ. Ισχύς, MW**	**% παγκ.**
Η.Π.Α.	12611	24,9
Κίνα	3840	7,6
Σουηδία	3787	7,5
Νορβηγία	3300	6,5
Γερμανία	2485	4,9
Ελλάδα	135	0,3
Παγκόσμια	**50583**	**100**

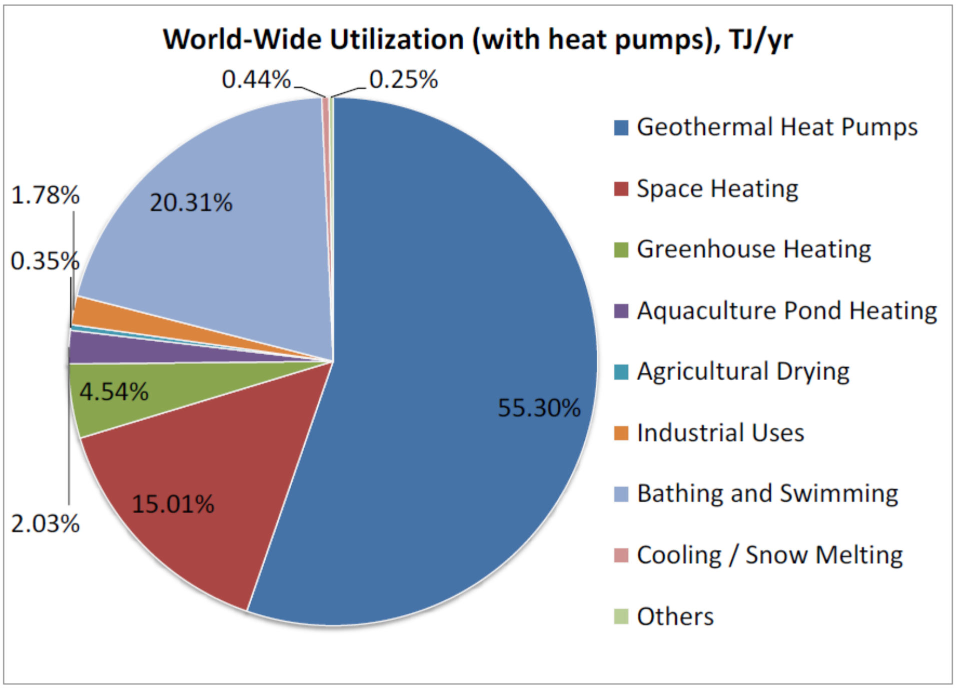
Χώρα	**MW/πληθυσμό ($x10^6$)**
Ισλανδία	5706
Νορβηγία	692
Σουηδία	482
Ελβετία	138
Ν. Ζηλανδία	91
Ελλάδα	12
Παγκόσμια	**7,4**

Χώρα	**GWh/πληθυσμό ($x10^6$)**
Ισλανδία	21147
Νορβηγία	1468
Σουηδία	1359
Ν. Ζηλανδία	616
Ελβετία	278
Ελλάδα	23
Παγκόσμια	**17,8**

Αν και η συνολική εγκατεστημένη γεωθερμική ισχύς για άμεσες χρήσεις είναι πολύ μικρή σε σχέση με τις παγκόσμιες ανάγκες (μόλις το 0,1%), για μερικές χώρες ο ρόλος της γεωθερμίας είναι σημαντικός. Έτσι για την Ουγγαρία το μεγαλύτερο τμήμα των θερμοκηπίων λαχανικών και λουλουδιών θερμαίνονται με γεωθερμικά ρευστά.

Οι άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας στο χώρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν αναπτυχθεί σχεδόν αποκλειστικά στην Ιταλία και στη Γαλλία το είδος των χρήσεων ποικίλλει από χώρα σε χώρα. Στη Γαλλία τα γεωθερμικά ρευστά χρησιμοποιούνται για θέρμανση χώρων, ενώ στην Ιταλία επικρατούν οι αγροτικές χρήσεις και η λουτροθεραπεία, με τάση αύξησης των χρήσεων θέρμανσης χώρων. Στην υπόλοιπη Ευρώπη η Ισλανδία και η Ουγγαρία κατέχουν τα πρωτεία στην αξιοποίηση της γεωθερμίας. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στην Ουγγαρία η γεωθερμία χρησιμοποιείται για τη θέρμανση θερμοκηπίων, ενώ στην Ισλανδία για θέρμανση οικιών. Είναι χαρακτηριστικό ότι ολόκληρη η πόλη του Reykjavik θερμαίνεται με δευτερογενές ζεστό νερό που μεταφέρεται από απόσταση 30 km. Το 65% της αξιοποιημένης γεωθερμικής ενέργειας στην Ιαπωνία χρησιμοποιείται για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς, ενώ στην Κίνα και στη Ν. Ζηλανδία η βασική χρήση είναι η θέρμανση χώρων. Σε παγκόσμιο επίπεδο η κατανομή των διαφόρων χρήσεων δίνεται στο Σχήμα 12.4.

Όσον αφορά στο κόστος εκμετάλλευσης, ή γεωθερμική ενέργεια ανταγωνίζεται ικανοποιητικά το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας χαρακτηρίζεται συνήθως από υψηλό κόστος κεφαλαίου (έρευνα και ανάπτυξη πεδίων), ενώ μπορεί να λεχθεί ότι το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι περιορισμένο. Επίσης ο τεχνολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας είναι τις περισσότερες φορές δοκιμασμένος σε άλλες τεχνολογικές εφαρμογές. Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι για την ανόρυξη των γεωτρήσεων χρησιμοποιείται η τεχνολογία γεωτρήσεων πετρελαίου.



Σχήμα 12.4. *Κατανομή των γεωθερμικών χρήσεων χαμηλής ενθαλπίας σε παγκόσμιο επίπεδο κατά το έτος 2014.*

12.3.2. Άμεσες Χρήσεις

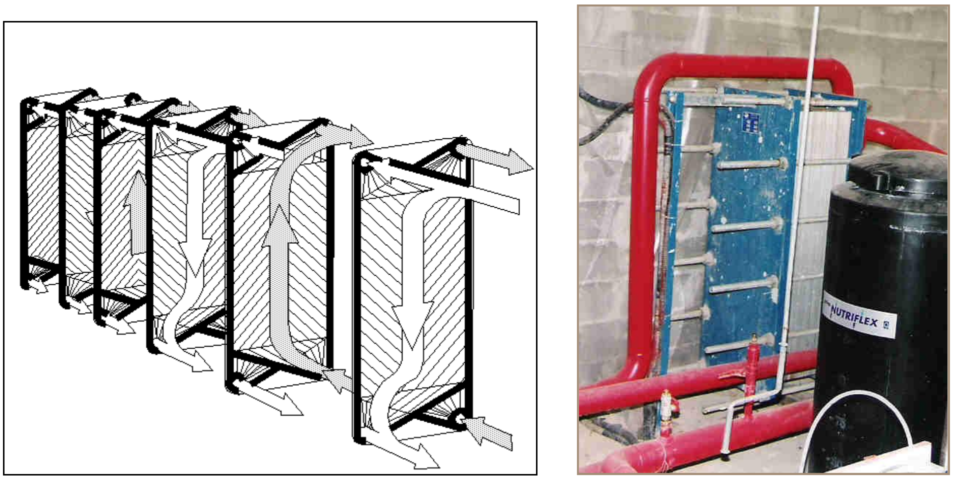
Μεγάλη ποικιλία γεωθερμικών εγκαταστάσεων βρίσκονται σε λειτουργία, είτε λειτούργησαν για κάποιο χρονικό διάστημα στο παρελθόν. Ακολουθεί μια σχετικά αναλυτική παρουσίαση των διάφορων κυριότερων άμεσων χρήσεων της γεωθερμικής ενέργειας.

12.3.3. Θέρμανση χώρων

Ένα τυπικό **σύστημα θέρμανσης χώρων** (κατοικιών, βιομηχανιών ή θερμοκηπίων) αποτελείται από τα εξής τμήματα:

1) Τμήμα στο πεδίο. Συνίσταται από σειρά γεωτρήσεων, σωληνώσεων συλλογής ρευστών και αν είναι απαραίτητο από αντλίες και εναλλάκτες θερμότητας υγρού-υγρού. Οι αντλίες είναι απαραίτητες στα περισσότερα πεδία που αξιοποιούνται με εντατικό ρυθμό. Οι αντλίες χρησιμοποιούνται όχι μόνο για να μεταφέρουν τα ρευστά στις επιφανειακές εγκαταστάσεις ή για να αυξηθεί η παροχή κάθε γεώτρησης, αλλά και για να αποτραπεί η απελευθέρωση των αερίων (κυρίως CO^2), κάτι που θα οδηγούσε στη δημιουργία επικαθίσεων. Δύο είδη αντλιών είναι περισσότερο διαδεδομένα: (α) Η **αξονική φυγόκεντρη** αντλία (lineshaft pump), η οποία έχει τον κινητήρα στην επιφάνεια. (β) Η **ηλεκτρική υποβρύχια** αντλία (submersible pump),της οποίας ο κινητήρας βρίσκεται και αυτός σε κάποιο βάθος. Για τη διακίνηση των γ/θ νερών στις επιφανειακές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται κυρίως οι φυγόκεντρες αντλίες και σε δεύτερο λόγο οι υποβρύχιες αντλίες.

Οι κυριότεροι τύποι εναλλακτών που χρησιμοποιούνται στα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης: (α) Ο **εναλλάκτης πλακών** (plate heat exchanger, Σχήμα 12.5), ο οποίος αποτελείται από μια σειρά πλακών και φλαντζών που συγκρατούνται μεταξύ τους με μπουλόνια. (β) Ο εναλλάκτης **αυλών και κελύφους** (shell-and-tube heat exchanger), ο πιο συνηθισμένος τύπος εναλλάκτη στη χημική βιομηχανία. (γ) Ο **υπόγειος εναλλάκτης** (downhole exchanger), ο οποίος τοποθετείται κατευθείαν στον ταμιευτήρα και θερμαίνει νερό που στέλνεται από την επιφάνεια. Η χρήση του είναι περιορισμένη (θέρμανση κατοικιών σε Η.Π.Α., Ν. Ζηλανδία και Ισλανδία).



Σχήμα 12.5. *Εναλλάκτης πλακών.*

2) Σωληνώσεις μεταφοράς των ρευστών. Αφορά στις σωληνώσεις μεταφοράς των ρευστών ή των νερών που θερμαίνονται από αυτά, από το πεδίο μέχρι την περιοχή όπου βρίσκονται οι χώροι που πρόκειται να θερμανθούν. Το *κόστος του συστήματος μεταφοράς των ρευστών* είναι σημαντικό και αυτός είναι ένας από τους λόγους που επιβάλλουν τοπικούς περιορισμούς στην αξιοποίηση της γεωθερμίας. Το συνηθέστερο υλικό κατασκευής των σωληνώσεων είναι ο κοινός χάλυβας επενδυμένος τις περισσότερες φορές με επιστρώσεις διαφόρων ουσιών ανθεκτικών στη διάβρωση. Τα τελευταία χρόνια επικρατούν οι πλαστικοί αγωγοί (πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο, PVC). Το σύστημα μεταφοράς των ρευστών (ή των νερών που θερμαίνονται από αυτά), υπόγειο ή υπέργειο, θα πρέπει να είναι καλά μονωμένο και να προστατεύεται από τη διάβρωση.

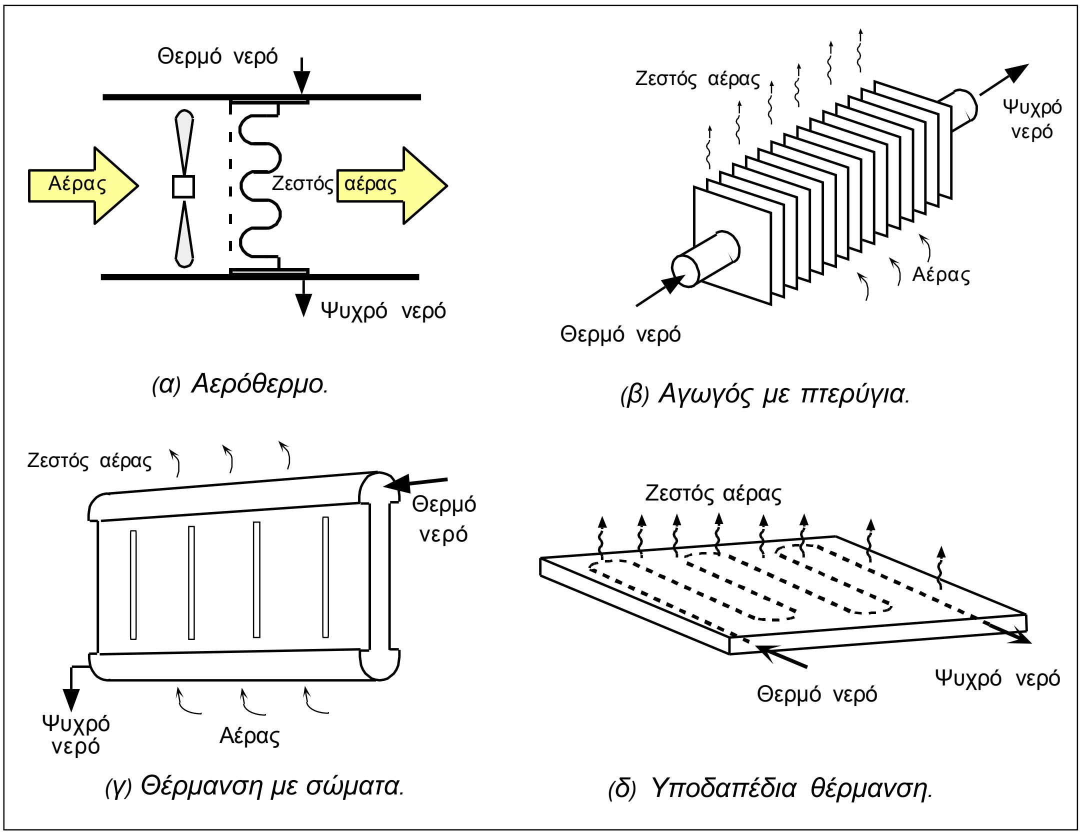
3) Σύστημα διανομής στην περιοχή ή στην μεμονωμένη οικία.

4) Σύστημα θέρμανσης. Η θέρμανση των χώρων στα κτίρια επιτελείται με τη διέλευση του γεωθερμικού νερού (ή του υγρού που θερμάνθηκε από γεωθερμικό ρευστό) μέσω των **εναλλακτών αέρα-υγρού** (converters), κάτι που γίνεται και με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης (καλοριφέρ). Τρεις τύποι τέτοιων εναλλακτών χρησιμοποιούνται κυρίως: (α) Αυτοί που λειτουργούν με *εξαναγκασμένη ροή* (Σχήμα 12.6), (β) αυτοί που λειτουργούν με *φυσική συναγωγή* και (γ) αυτοί που λειτουργούν με *ακτινοβολία* (ενδοδαπέδιοι σωλήνες, σε τοίχους ή στην οροφή).

5) Βοηθητική εγκατάσταση. Εγκατάσταση που θα ικανοποιεί τις αυξημένες ανάγκες για κάποιο χρονικό διάστημα (δεξαμενές, αύξηση της θερμοκρασίας με χρήση συμβατικών καυσίμων) και σύστημα ελέγχου.

6) Δίκτυο σύνδεσης. Δίκτυο αγωγών για σύνδεση με τις κατοικίες, τις βιομηχανίες ή τα θερμοκήπια.

7) Σύστημα διάθεσης των γεωθερμικών ρευστών. Ο κυριότερος και ο περιβαλλοντικά πλέον αποδεκτός τρόπος είναι η επανεισαγωγή των ρευστών στον ταμιευτήρα. Εάν η σύσταση των νερών το επιτρέπει μπορεί να γίνει διάθεση σε επιφανειακά νερά ή ακόμη να χρησιμοποιηθούν τα νερά για άρδευση.



Σχήμα 12.6*. Εναλλάκτες αέρα-υγρού: (α) με εξαναγκασμένη ροή, (β και γ) με φυσική συναγωγή και (δ) με ακτινοβολία.*

Στη θέρμανση χώρων με γεωθερμική ενέργεια περιλαμβάνεται και η θέρμανση πισινών ή κολυμβητηρίων άμεσα ή έμμεσα με γεωθερμικό νερό.

12.3.4 Αγροτικές χρήσεις

Οι αγροτικές διεργασίες και η βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων αποτελούν ενδιαφέρουσες περιοχές για την αξιοποίηση της γεωθερμίας, επειδή δεν απαιτούν συνήθως μεγάλες ποσότητες θερμότητας. Ο Πίνακας 12.4 παρουσιάζει τις θερμοκρασιακές περιοχές που απαιτούνται για ορισμένες αγροτοβιομηχανικές διεργασίες. Βέβαια αυτές οι θερμοκρασίες δεν είναι απόλυτες και δεν πρέπει να λαμβάνονται πολύ αυστηρά. Ως παράδειγμα, μέχρι πριν από μερικά χρόνια θεωρούνταν ότι η χαμηλότερη θερμοκρασία για θέρμανση θερμοκηπίων ήταν περίπου 60°C, ενώ τώρα χρησιμοποιούνται και ρευστά χαμηλότερης θερμοκρασίας. Επίσης πρέπει να προστεθεί ότι πολλές από τις δυνατές αγροτικές χρήσεις του Πίνακα 12.4 έχουν μόνο θεωρητικό ενδιαφέρον μια που έχουν εφαρμοστεί είτε σε πειραματικό επίπεδο, είτε σε πολύ περιορισμένο αριθμό εγκαταστάσεων. Τα καλύτερα αποτελέσματα αξιοποίησης της γεωθερμίας σε αγροτικές χρήσεις έχουν επιτευχθεί στη θέρμανση θερμοκηπίων και στις ιχθυοκαλλιέργειες και σε μικρότερο βαθμό στην ξήρανση αγροτικών προϊόντων.

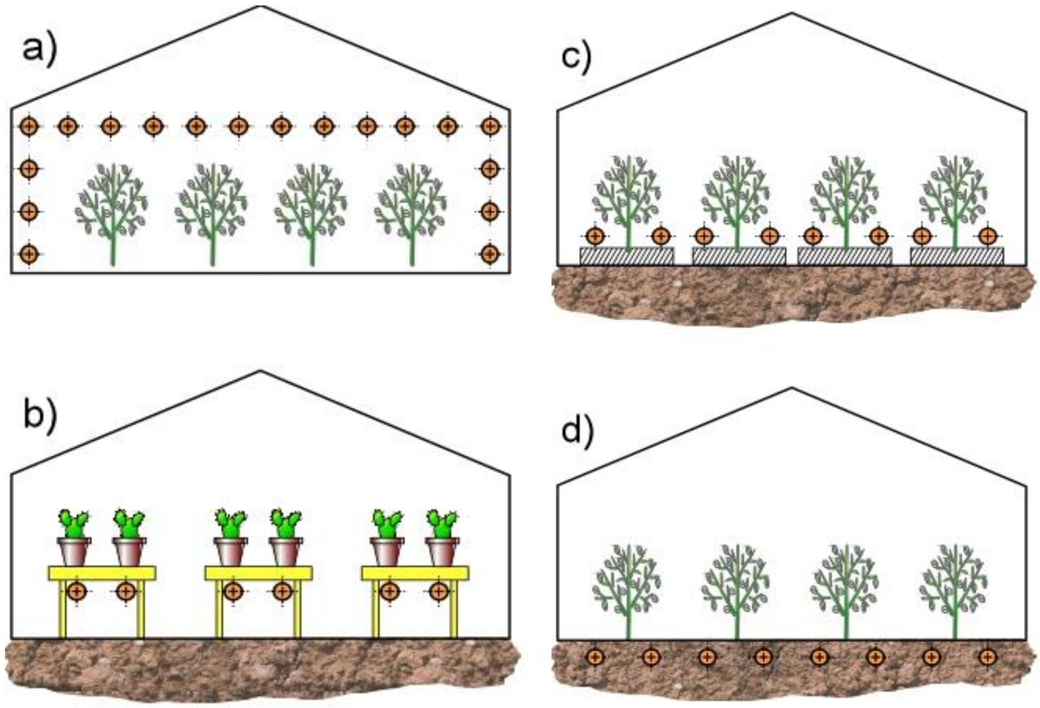
(1) *Θέρμανση θερμοκηπίων*

Τα τοιχώματα των θερμοκηπίων είναι συνήθως από γυαλί ή πλαστικό και τοποθετούνται πάνω σε χαλύβδινα ή αλουμινένια πλαίσια, πάνω στα οποία τοποθετούνται. Ο χώρος ενός θερμοκηπίου μπορεί να θερμανθεί με τους παρακάτω τρόπους (Σχήμα 12.7):

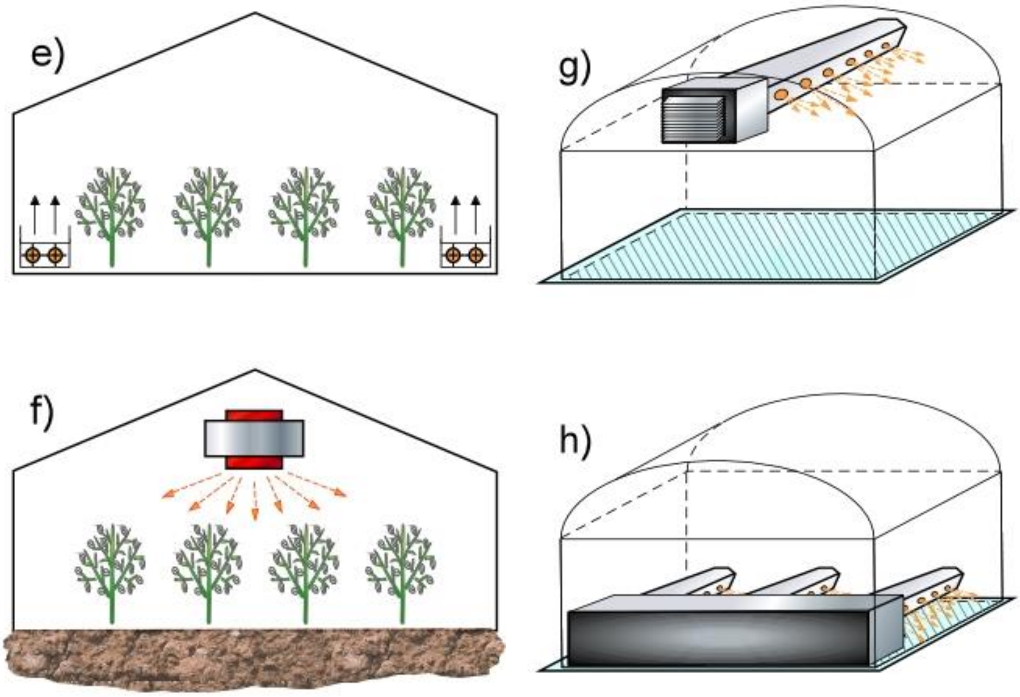
__Πίνακας 12.4.__ Θερμοκρασίες που απαιτούνται για διάφορες αγροτικές διεργασίες.

Διεργασία	Θερμοκρασία, °C
Ξήρανση δημητριακών	40-80
Ξήρανση πράσινων καρπών	80-135
Θέρμανση θερμοκηπίων	60-130
Θέρμανση χώματος	20-35
Θέρμανση ποιμνιοστασίων	25-60
Άρδευση χλιαρού νερού	20-35
Ιχθυοκαλλιέργεια	15-35
Καλλιέργεια μανιταριών	20-50
Συντήρηση τροφίμων	90-150
Επεξεργασία γάλακτος	70-120
Επεξεργασία κρέατος	40-85

- Με τη θέρμανση του αέρα του θερμοκηπίου με εναλλάκτη αέρα-υγρού με πτερύγια (fan coils) και διοχέτευσή του σε όλους τους χώρους του θερμοκηπίου.
- Με θέρμανση του εδάφους και των ριζών των φυτών με επιδαπέδιους σωλήνες ή με σωλήνες που είναι τοποθετημένοι στο χώμα από τους οποίους διέρχεται το γεωθερμικό ρευστό. Οι σωλήνες είναι συνήθως από χαλκό, από άλλο μέταλλο ή κράμα και από πλαστικό.
- Με τοποθέτηση εναλλακτών στα πλευρικά τοιχώματα του θερμοκηπίου.



__Σχήμα 12.7α.__ Εγκαταστάσεις θέρμανσης γεωθερμικών θερμοκηπίων με φυσική συναγωγή: (a) εναέριοι σωλήνες θέρμανσης, (b) θέρμανση πάγκων, (c) σωλήνες θέρμανσης που είναι τοποθετημένοι χαμηλά, (d) θέρμανση εδάφους.



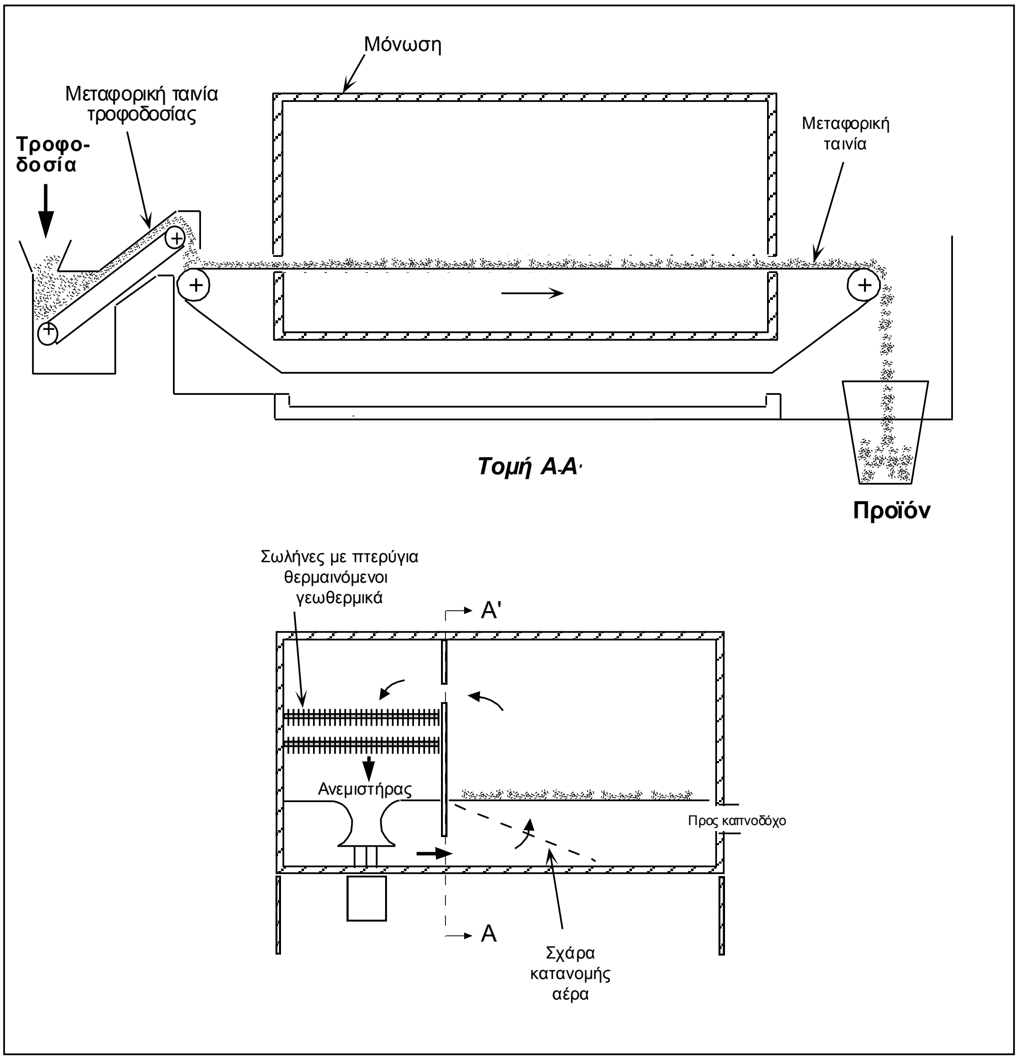
Σχήμα 12.7β. *Εγκαταστάσεις θέρμανσης γεωθερμικών θερμοκηπίων με εξαναγκασμένη συναγωγή: (e) πλευρική τοποθέτηση σωλήνων, (f) εναέρια αερόθερμα, (g) αγωγοί τοποθετημένοι ψηλά, (h) αγωγοί τοποθετημένοι χαμηλά (von Zabeltitz, 1986).*

(2) *Ξήρανση αγροτικών προϊόντων*

Η ξήρανση σιτηρών, λαχανικών, φρούτων ή άλλων αγροτικών προϊόντων είναι από τις αγροτικές διεργασίες οι οποίες καταναλώνουν σημαντικές ποσότητες ενέργειας. Τα περισσότερα ξηραντήρια σήμερα λειτουργούν με υγρά καύσιμα, αλλά όπου υπάρχει γεωθερμική ενέργεια, αυτή μπορεί να υποκαταστήσει σε μεγάλο βαθμό τα καύσιμα αυτά. Πρέπει να προστεθεί ότι λόγω των θερμοκρασιακών περιορισμών, τα γεωθερμικά υγρά μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για την προξήρανση ορισμένων προϊόντων ή για την προθέρμανση του αέρα και την κατοπινή του θέρμανση με πετρέλαιο ή στερεά καύσιμα.

Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης των γεωθερμικών ρευστών στην ξήρανση αγροτικών προϊόντων αποτελεί το γεγονός ότι τα ξηραντήρια λειτουργούν συνήθως από Σεπτέμβριο μέχρι Νοέμβριο, όταν δεν απαιτείται θέρμανση των θερμοκηπίων ή όταν οι ανάγκες τους για θέρμανση είναι μικρές.

Η προξήρανση ή αφυδάτωση των προϊόντων επιτυγχάνεται είτε σε θαλάμους με κυλιόμενες ταινίες, όπως δείχνει το Σχήμα 12.8, ή σε πύργους ξήρανσης. Και με τους δύο παραπάνω τρόπους η ξήρανση επιτελείται σε συνεχή βάση, ενώ έχουν λειτουργήσει και θάλαμοι ξήρανσης προϊόντων διαλείποντος έργου (σε παρτίδες, batch). Ανεμιστήρες ή φυσητήρες οδηγούν τον αέρα (φρέσκο ή από το θερμοκήπιο) να διέλθει μέσα από εναλλάκτη και να θερμανθεί από γεωθερμικό νερό. Η θερμοκρασία του αέρα εξόδου εξαρτάται βασικά από τη θερμοκρασία του γεωθερμικού νερού και κυμαίνεται συνήθως από 40 μέχρι 100°C. Ο θερμός αέρας ρέει μέσα από τις ταινίες με τα λαχανικά ή τα φρούτα, ή συμπαρασύρει τα προϊόντα (σιτηρά, βαμβάκι) μέσα στους πύργους ξήρανσης, με αποτέλεσμα να εξατμίζεται σημαντικό ποσοστό της υγρασίας των προϊόντων. Πρέπει να σημειωθεί ότι επιβάλλεται αυστηρός έλεγχος της ροής του αέρα, της θερμοκρασίας και της πίεσης σε όλα τα τμήματα ενός ξηραντηρίου για να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη ξήρανση του προϊόντος. Προϊόντα που αφυδατώνονται με τη χρήση γεωθερμικών ρευστών είναι τα κρεμμύδια, τα φύκια, τα λαχανικά, τα μανιτάρια, η μηδική κτλ. Τέλος με γεωθερμικά ρευστά μπορεί να αποξηρανθεί και ξυλεία.



Σχήμα 12.8. *Σχηματικό διάγραμμα μονάδας συνεχούς ξήρανσης με κυλιόμενη ταινία.*

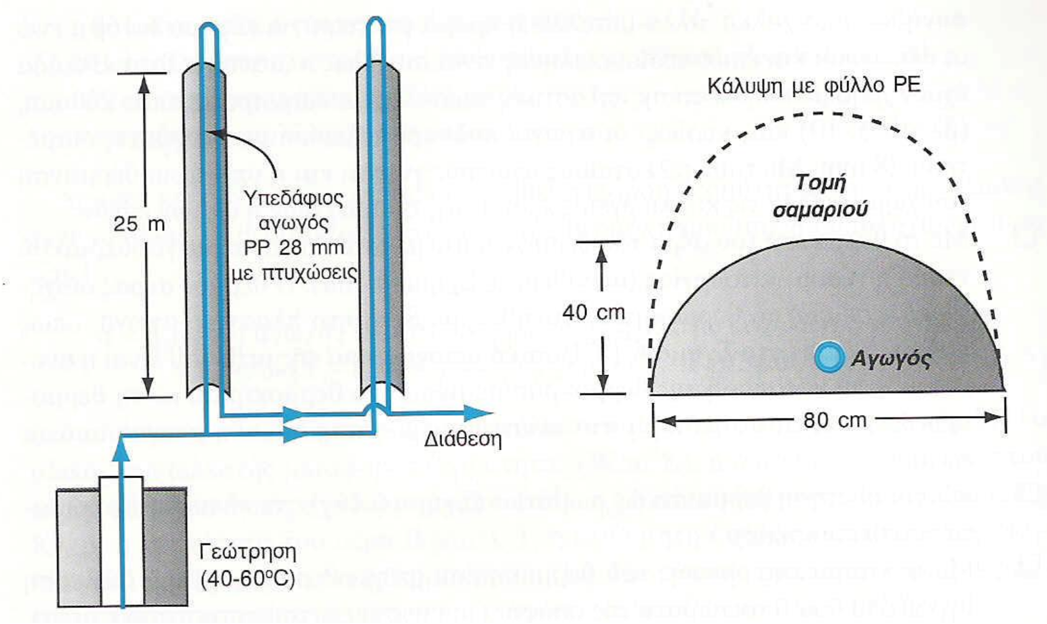
(3) Θέρμανση εδάφους

Τα τελευταία 10 χρόνια εφαρμόζεται και στην Ελλάδα η θέρμανση εδάφους με γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας για πρωϊμιση σπαραγγιού με πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Το σύνολο των καλλιεργούμενων εκτάσεων ανήλθε το 2003 σε 120 στρέμματα. Σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται μαύροι αγωγοί πολυπροπυλενίου με πτυχώσεις τοποθετημένοι με διάφορους συνδυασμούς (μοναδική διαδρομή στο σαμάρι, με επιστροφή, διπλοί αγωγοί κλπ.). Το Σχήμα 12.9 παρουσιάζει σχηματικά τη θέρμανση του εδάφους για πρωΐμιση σπαραγγιού.

(4) Υδατοκαλλιέργειες

Η ανάπτυξη όλων σχεδόν των ψαριών αλλά και ορισμένων μαλακίων (π.χ. γαρίδες) και ερπετών με εμπορική αξία (π.χ. αλιγάτορες) είναι μεγαλύτερη σε θερμοκρασίες στην περιοχή 20-30°C. Η γεωθερμία μπορεί να προσφέρει με οικονομικό τρόπο τη θέρμανση σε τέτοιες υδατοκαλλιέργειες άμεσα ή έμμεσα, θερμαίνοντας γλυκό ή θαλασσινό νερό. Για την άμεση χρήση του γεωθερμικού νερού απαιτείται να μην υπάρχουν τοξικά συστατικά στο νερό (π.χ. βαρέα μέταλλα, υδρόθειο, αρσενικό κτλ.).

Στην κατηγορία των υδατοκαλλιεργειών εμπίπτει και η ανάπτυξη ορισμένων φυκιών με εμπορική αξία, όπως της σπιρουλίνας (υπάρχει μικρή μονάδα στη Νιγρίτα Σερρών). Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να αξιοποιηθεί και το διοξείδιο του άνθρακα που συνήθως περιέχεται στα οξυανθρακούχα γεωθερμικά νερά.



Σχήμα 12.9. *Σύστημα θέρμανσης εδάφους για καλλιέργεια σπαραγγιών.*

12.3.5. Αξιοποίηση Χημικών Συστατικών των Ρευστών

Τα γεωθερμικά ρευστά δεν περιέχουν μόνο θερμότητα, αλλά αρκετές φορές περιέχουν και αξιοποιήσιμες διαλυμένες ουσίες, στερεές ή αέριες. Στοιχεία που μπορούν να ανακτηθούν θεωρητικά είναι ο χρυσός, ο λευκόχρυσος, το μαγνήσιο, το αντιμόνιο, το βόριο, το στρόντιο κλπ. Στο Μεξικό ανακτάται κάλιο και μαγνήσιο από γεωθερμικά ρευστά, ενώ για δεκάδες χρόνια ελάμβαναν βορικό οξύ στο Larderello της Ιταλίας με εξάτμιση των νερών. Στην Ισλανδία λειτουργεί επίσης μονάδα ανάκτησης διαφόρων αλάτων.

Το συστατικό των γεωθερμικών ρευστών το οποίο έχει τύχει αξιοσημείωτης εκμετάλλευσης είναι το διοξείδιο του άνθρακα. Ήδη σε αρκετά πεδία δεσμεύεται CO_2 και χρησιμοποιείται κυρίως για τοπική χρήση (Η.Π.Α., Ρωσία, Τουρκία, Κένυα). Διοξείδιο του άνθρακα σε ποσοστά μεγαλύτερα του 95% υπάρχει σε αρκετά πεδία της Β. Ελλάδας (Ν. Κεσσάνη, Νιγρίτα, Ακροπόταμος Καβάλας).

12.3.6 Διάφορες Χρήσεις

Υπάρχει μια πληθώρα άλλων σημαντικών εφαρμογών της γεωθερμίας, λιγότερο ή περισσότερο γνωστών. Μερικές από τις χρήσεις αυτές είναι:

(1) Λουτροθεραπεία και θέρμανση θεραπευτικών μονάδων.

(2) Πλύσιμο και διαύγαση ινών. Έχει εφαρμοσθεί στη Ν. Ζηλανδία.

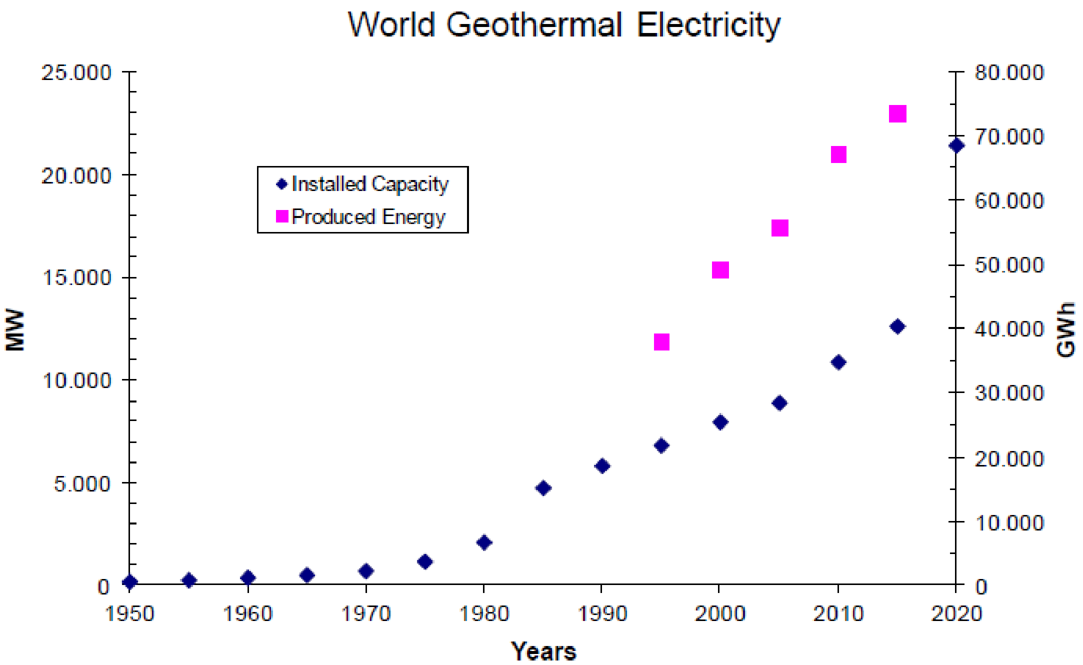
(3) Παραγωγή αποσταγμένου νερού στη Ν. Ζηλανδία.

(4) Χώνευση λυμάτων. Με προσθήκη γεωθερμικών ρευστών και επανέγχυση των επεξεργασμένων λυμάτων σε γεωθερμικούς ταμιευτήρες (στις Η.Π.Α.).
(5) Πλύσιμο και ξήρανση μαλλιού σε διάφορες χώρες.
(6) Χρήση γεωθερμικών ρευστών στην εξόρυξη ουρανίου στο Τέξας, στην επεξεργασία χαλκού στο Ν. Μεξικό, στο διαχωρισμό χρυσού στη Νεβάδα και σε ορυχεία στη Σιβηρία.
(7) Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων οριζόντων.
(8) Αντιπαγετική προστασία δρόμων (Η.Π.Α., Ισλανδία).

12.4. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ισχύος

Η πρώτη προσπάθεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενεργείας από την αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών ξεκίνησε το 1904 στο Larderello της Ιταλίας. Σήμερα (2015), σχεδόν 12600 MWe γεωθερμικής ισχύος είναι εγκατεστημένα σε όλο τον κόσμο,. Ανάμεσα στο 2010 και στο 2015 σημειώθηκε αύξηση της τάξης 15%. Η εξέλιξη της παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από τα γεωθερμικά ρευστά καταγράφεται στο Σχήμα 12.10.

Η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμήθηκε το 2014 στις 74.000 GWh, σημειώνοντας αύξηση 10% σε σχέση με το 2010. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η συνεισφορά της γεωθερμικής ενέργειας στην παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται στο ~0,5%. Θα πρέπει να αναφερθεί ακόμη ότι αν και οι δυαδικές μονάδες αποτελούν μικρό ποσοστό στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η συμμετοχή τους ενισχύεται τελευταία όλο και περισσότερο με την αξιοποίηση ρευστών με θερμοκρασία 100-120°C.



Σχήμα 12.10. *Η ανάπτυξη της παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από τη γεωθερμική ενέργεια τα τελευταία 65 χρόνια.*

Στον ελλαδικό χώρο υπάρχει από το 1985 η μονάδα 2 MWe της Μήλου, η οποία λειτούργησε για κάποιο χρονικό διάστημα μέχρι το 1989. Οι εκτιμήσεις για το δυναμικό της χώρας μας για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ανέρχονται σε 120 MWe στη Μήλο και σε περίπου 60 MWe στη Νίσυρο.

Έχει δειχθεί ότι το σχετικό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από τη γεωθερμία είναι συγκρίσιμο με το κόστος από την καύση των ορυκτών καυσίμων.

Τύποι Μονάδων

Ο τύπος (ή ο κύκλος) της μονάδας ο οποίος χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της γεωθερμικής ενεργείας σε ηλεκτρική καθορίζεται συνήθως από το είδος του πεδίου (ξηρός ατμός, διφασικό ρευστό) και από τη σύσταση των γεωθερμικών ρευστών (π.χ. ποσοστό μη συμπυκνώσιμων αερίων στο σταθμό). Οι κυριότεροι τύποι μονάδων που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι τώρα είναι:

(α) *Απευθείας Χρησιμοποίηση του Ατμού (Direct Steam Expansion).* Είναι ο απλούστερος τύπος γεωθερμικής μονάδας και ο τύπος που απαιτεί το μικρότερο κόστος κεφαλαίου. Εφαρμόζεται συνήθως με σχετικά καθαρό γεωθερμικό ατμό. Συνοπτικά, ατμός από μία ή περισσότερες γεωτρήσεις οδηγείται κατευθείαν σε ένα στρόβιλο χωρίς καμιά επεξεργασία. Η μονάδα μπορεί να έχει συμπυκνωτή (condensing type), ή όχι (back pressure type), ανάλογα με την περιεκτικότητα του ατμού σε μη συμπυκνώσιμα αέρια. Πρέπει πάντως να σημειώσουμε ότι ο τύπος χωρίς συμπυκνωτή παρουσιάζει αισθητά χαμηλότερη απόδοση από ότι ο τύπος με συμπυκνωτή, έχει, όμως, μικρότερο κόστος.

(β) *Εκτόνωση Διφασικού Ρευστού (Flash Condensing, Σχήμα 12.11α).* Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που έχουμε νερό σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Στον τύπο αυτόν, το γεωθερμικό ρευστό εκτονώνεται σε πίεση χαμηλότερη από την πίεση που επικρατεί στην κεφαλή της γεώτρησης. Έτσι παράγεται διφασικό μίγμα, που διαχωρίζεται, και ο ατμός οδηγείται στο στρόβιλο. Αν η θερμοκρασία και η πίεση του γεωθερμικού υγρού το επιτρέπουν, τότε το υγρό μπορεί να εκτονωθεί για δεύτερη φορά (dual flashing) ή και περισσότερες φορές (multistage flashing), ώστε να παραχθεί επιπλέον ατμός, που θα αυξήσει σημαντικά την απόδοση της μονάδας. Σημειώνεται επίσης ότι για γεωθερμικά ρευστά υψηλής αλατότητας (Μήλος, Salton Sea) ψεκάζεται ο ατμός με νερό πριν από το στρόβιλο για να απομακρυνθούν οι ποσότητες των αλάτων που συμπαρασύρονται με τον ατμό.

(γ) *Χρησιμοποίηση Δευτερεύοντος Ρευστού (Binary fluid cycle, Σχήμα 12.11β).* Ονομάζεται και κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό (organic Rankine cycle). Συνοπτικά, το γεωθερμικό ρευστό χρησιμοποιείται για τη θέρμανση (και εξάτμιση) μιας οργανικής ουσίας (ισοβουτάνιο, υδροφθοράνθρακας), η οποία εν συνεχεία ως ατμός οδηγείται στο στρόβιλο, συμπυκνώνεται και επανεισάγεται πάλι στον εναλλάκτη. Τα πλεονεκτήματα της μονάδας αυτής είναι:

(1) Κάνει δυνατή την ανάκτηση μεγαλύτερης ποσότητας θερμότητας με την απόρριψη των ρευστών σε χαμηλότερη θερμοκρασία.

(2) Μπορούν να χρησιμοποιηθούν γεωθερμικά νερά μέσης ενθαλπίας, μια που το σημείο ζέσεως των οργανικών ουσιών που χρησιμοποιούνται είναι χαμηλότερο των 100°C.

(3) Μπορεί να χρησιμοποιηθεί διφασικό μίγμα.

(4) Περιορίζει ουσιαστικά τα προβλήματα τα προβλήματα διάβρωσης και σχηματισμού επικαθίσεων στον εναλλάκτη.

(5) Κάνει δυνατή την αξιοποίηση ρευστών που περιέχουν διαβρωτικά συστατικά και σημαντικές ποσότητες μη συμπυκνώσιμων αερίων.

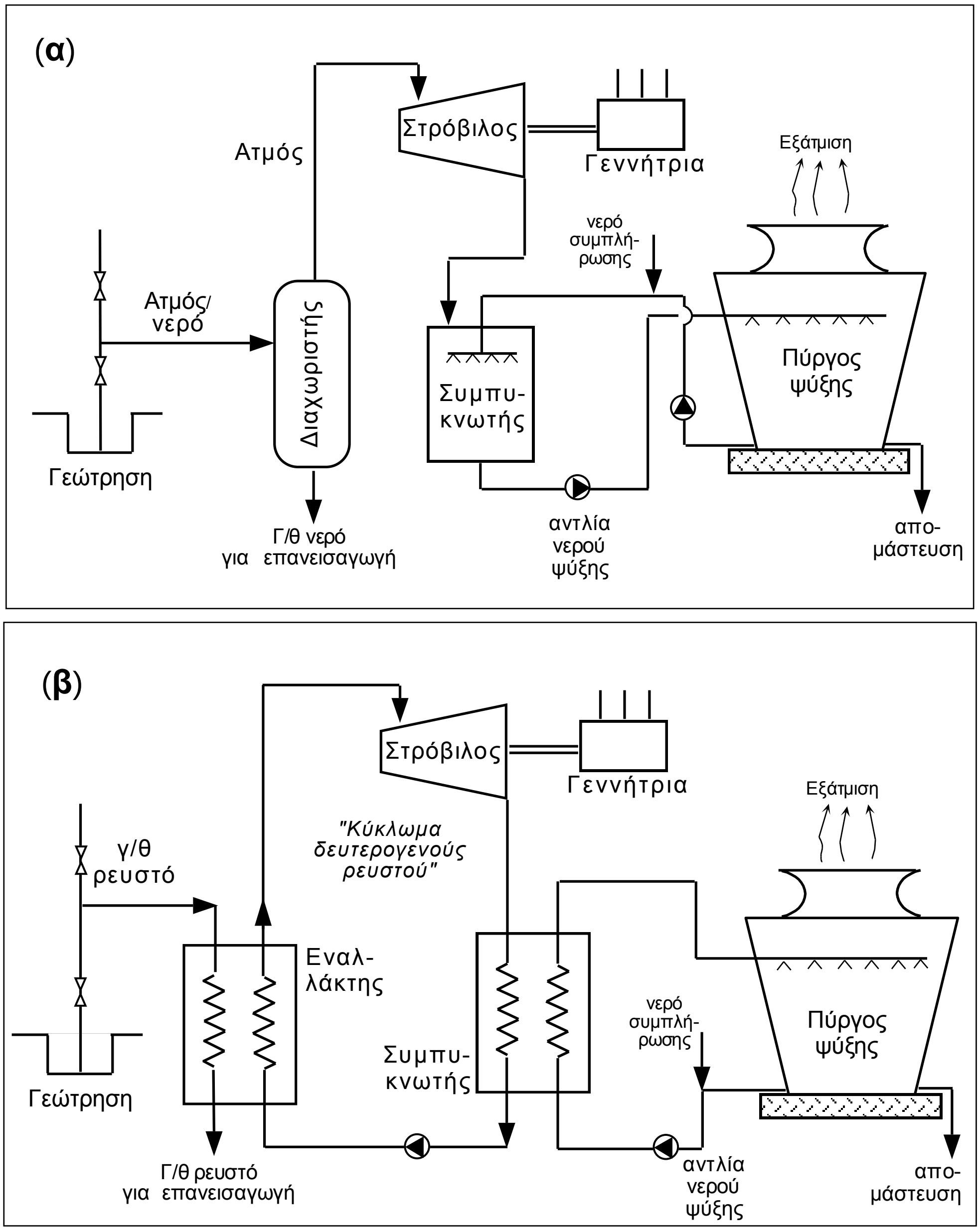
Πάντως μια τέτοια μονάδα παρουσιάζει και μειονεκτήματα, όπως:

(α) Κάνει απαραίτητη τη χρήση εναλλάκτη, οποίος είναι γενικά μια δαπανηρή συσκευή που συνήθως παρουσιάζει έντονα προβλήματα επικαθίσεων.

(β) Τα οργανικά ρευστά που χρησιμοποιούνται είναι πτητικά, ορισμένα είναι και στην τοξικά, και θα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα για την αποφυγή διαρροών.

(γ) Σοβαρότερο μειονέκτημα είναι η μικρή δυναμικότητα των μονάδων, η οποία κυμαίνεται από 0,5 μέχρι 1,5 MW. Πάντως δεκάδες τέτοιες μονάδες έχουν εγκατασταθεί τα τελευταία δέκα χρόνια σ' όλον τον κόσμο και ιδιαίτερα στις δυτικές πολιτείες των Η.Π.Α.

(δ) *Εκτόνωση της Συνολικής Ροής (Total Flow Expansion).* Στις μονάδες εκτόνωσης του διφασικού ρευστού, ένα μέρος μόνο θερμότητας των ρευστών (ατμός) αξιοποιείται. Στον τύπο της μονάδας εκτόνωσης της συνολικής ροής γίνεται εκτόνωση (expansion) όλου του ρευστού με τη βοήθεια κατάλληλων συσκευών Αν και η αρχή λειτουργίας των μονάδων αυτών είναι απλή, η κατασκευή τέτοιων μονάδων βρίσκεται ακόμη σε πειραματικό στάδιο.



***Σχήμα 12.11**. Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος (α) με εκτόνωση διφασικού ρευστού και άμεση συμπύκνωση του ατμού και (β) με χρήση δευτερεύοντος οργανικού ρευστού.*

12.5. Αξιοποίηση της Γεωθερμικής Ενέργειας στη Χώρα μας

12.5.1. Γενικά

Η κυριότερη αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στη χώρα μας σήμερα είναι οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Από τις κλασικές χρήσεις, εκτός από τη χρήση τους για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς, πρώτη είναι η *θέρμανση θερμοκηπίων.* Από τις αρχές αυτής της δεκαετίας ξεκίνησαν δειλά οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας και, τελευταία, και η θέρμανση χώρων. Η εγκατεστημένη ισχύς των άμεσων χρήσεων στην χώρα μας (εξαιρούμενων των εγκαταστάσεων λουτροθεραπείας) ανήλθε το 20014 στα 220 MWt, από τα οποία τα 34αναφέρονται στα γεωθερμικά θερμοκήπια, όπως αναλυτικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 12.4.

Πίνακας 12.4. *Σύνοψη των γεωθερμικών χρήσεων στην Ελλάδα κατά το 2015.*
Η αξιοποιούμενη ενέργεια αντιστοιχεί περίπου σε 24000 ΤΙΠ/έτος.

Χρήση	**Εγκατεστημένη Ισχύς (MWt)**	**Ετήσια χρήση ενέργειας (TJ/yr = 10^{12} J/yr)**
Θέρμανση χώρων	1.65	17.8
Θέρμανσης θερμοκηπίων	33.9	335
Ιχθυοκαλλιέργειες	7.61	59.8
Ξήρανση αγροτικών προϊόντων	0.28	1.79
Λουτροθεραπεία	43	260
Άλλες χρήσεις	0.4	4.06
Μερικό σύνολο	**85.8**	**678**
Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας	135	648
ΣΥΝΟΛΟ	**220.5**	**1326**

12.5.2. Θέρμανση θερμοκηπίων

Τα πρώτα γεωθερμικά θερμοκήπια στη χώρα κατασκευάστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1980 (Ν. Κεσσάνη, Νιγρίτα, Πολίχνιτος κ.ά.). Κατά το 2014 τα γεωθερμικά θερμοκήπια στη χώρα κάλυπταν επιφάνεια περίπου 240 στρεμμάτων. Τα θερμοκήπια αυτά βρίσκονται κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα, τη Λέσβο και τη Μήλο. Σημειώνεται επίσης ότι ορισμένα θερμοκήπια, έκτασης περίπου 70 στρεμμάτων, βρίσκονται σήμερα εκτός λειτουργίας ή υπολειτουργούν. Πρωΐμιση σπαραγγιών με θέρμανση εδάφους εφαρμόζεται σε 70 στρέμματα στο Ν. Εράσμιο Ξάνθης, ενώ πρωίμιση σπαραγγιών επιτυγχάνεται και με τη βοήθεια γεωθερμικών αντλιών θερμότητας ανοικτού βρόχου.

Γεώτρηση και παραγωγικές αντλίες

Η πλειονότητα των γεωτρήσεων έχουν γίνει με την «αρχή» του ελάχιστου κόστους, χωρίς συνήθως να λαμβάνεται υπόψη ο ειδικός γεωθερμικός χαρακτήρας των ρευστών. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι η έντονη διάβρωση των σωληνώσεων, η μη λειτουργία βανών, το φράξιμο ορισμένων γεωτρήσεων και, τέλος, η αδυναμία ελέγχου της ροής αρκετών γεωτρήσεων που ρέουν ανεξέλεγκτα όλο το χρόνο λόγω πίεσης και μη καλής τσιμέντωσης των γεωτρήσεων. Για το λόγο αυτό απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την ανόρυξη της γεώτρησης.

Αρκετές γεωθερμικές γεωτρήσεις στην Ελλάδα παρουσιάζουν αρτεσιανισμό και δεν απαιτείται άντληση του νερού. Συνήθως τα ρευστά οδηγούνται σε δεξαμενές- διαχωριστές, από όπου με κυκλοφορητές διανέμονται στο θερμοκήπιο. Στις περιπτώσεις που απαιτείται άντληση χρησιμοποιούνται αντλίες με άξονα και, τελευταία, οι υποβρύχιες αντλίες. Σε ελάχιστες περιπτώσεις, όπου το γ/θ νερό βρίσκεται σε μικρό βάθος (π.χ. στη Μήλο), χρησιμοποιούνται φυγόκεντρες αντλίες. Από μια πρώτη εκτίμηση γίνεται φανερό ότι οι υποβρύχιες αντλίες αποδεικνύονται περισσότερο αξιόπιστες.

Σωληνώσεις μεταφοράς των νερών

Η μεγαλύτερη απόσταση ανάμεσα από τη θέση της γεώτρησης και το θερμοκήπιο που καταγράφηκε ήταν 2500 m, αν και συνήθως η απόσταση είναι μικρότερη των 500 m. Σχεδόν το 80% των σωληνώσεων μεταφοράς του νερού είναι από PVC. Σε ελάχιστες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται μεταλλικοί σωλήνες (με προβλήματα διάβρωσης), άλλοι πλαστικοί σωλήνες και σωλήνες άρδευσης με ταχυσύνδεσμους. Εκτός από μία περίπτωση, οι σωληνώσεις δεν είναι θερμικά μονωμένες με αποτέλεσμα την απώλεια τουλάχιστον 1-2°C κατά τη μεταφορά.

Μέθοδοι θέρμανσης

Οι μέθοδοι θέρμανσης που χρησιμοποιούνται είναι τρεις: η χρήση αερόθερμων (εναλλάκτες αέρα/νερού με τη βοήθεια ανεμιστήρων ή στροβίλων), η χρήση εναλλακτών θερμότητας (στην πλειοψηφία εναλλάκτες πλακών) και η άμεση θέρμανση. Σε αρκετές περιπτώσεις το νερό οδηγείται αρχικά στα αερόθερμα και κατόπιν στις σωληνώσεις άμεσης θέρμανσης (π.χ. Πολιχνίτος Λέσβου). Η επιλογή του τρόπου θέρμανσης εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία των ρευστών και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους. Νερά θερμοκρασίας μικρότερης από 50°C χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο για άμεση θέρμανση. Οι εναλλάκτες πλακών που χρησιμοποιούνται είναι από ανοξείδωτο χάλυβα και σπανιότερα από τιτάνιο.

Τρία συστήματα χρησιμοποιούνται για την άμεση θέρμανση: οι ειδικές πλαστικές σωληνώσεις PP (πολυπροπυλενίου) Φ28 mm με πτυχώσεις, οι φαρδιές «σακούλες» PE (πολυαιθυλενίου) και οι μεταλλικοί αγωγοί με πτερύγια. Οι σωληνώσεις PP τοποθετούνται υπεδάφια, επιφανειακά στο δάπεδο, πάνω σε τράπεζες όπου τοποθετούνται γλάστρες ή/και σε κάποιο ύψος. Οι σακούλες έχουν το φθηνότερο κόστος, τοποθετούνται πάντοτε επιφανειακά και χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε καλλιέργειες κηπευτικών. Οι μεταλλικοί αγωγοί με πτερύγια τοποθετούνται σε ορισμένο ύψος από την επιφάνεια του εδάφους. Τέλος, οι αγωγοί μεταφοράς των νερών στα συστήματα θέρμανσης είναι πλαστικοί (PVC ή PE) ή μεταλλικοί.

Διάθεση γεωθερμικών νερών

Η επανεισαγωγή των γεωθερμικών νερών μετά την απόληψη της θερμότητάς των εφαρμόζεται σχετικά λίγες γεωτρήσεις, με τα υπόλοιπα ρευστά να καταλήγουν σε κανάλια αποστράγγισης, ποτάμια, λίμνες ή να απορροφούνται από πηγάδια.

12.5.3. Υδατοκαλλιέργειες

Από το 1998-1999 λειτουργούν δύο μονάδες χρήσης γεωθερμικών νερών για αντιπαγετική προστασία και θέρμανση τεχνητών λιμνών για ιχθυοκαλλιέργεια στο Πόρτο-Λάγος και στο Ν. Εράσμιο Ξάνθης. Στην πρώτη περίπτωση το νερό αντλείται από δύο γεωθερμικές γεωτρήσεις στα νοτιο-ανατολικά του πεδίου της Ν. Κεσσάνης με θερμοκρασία 38°C. Η δεύτερη μονάδα χρησιμοποιεί νερό 60°C το οποίο μεταφέρεται με σωλήνες PVC από απόσταση 4 km. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς των μονάδων ανέρχεται στα 2 MWt. Η επένδυση της χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας στις δύο παραπάνω μονάδες σχεδόν αποσβέστηκε με τις πρώτες χρονιές λειτουργίας, με την αποφυγή της επίπτωσης του παρατεταμένου παγετού το χειμώνα 2001-2002 και τη συμβολή στην ταχύτερη ανάπτυξη των ψαριών.

Επίσης, σε τρεις μονάδες στη Νιγρίτα εφαρμόζεται εδώ και 15 περίπου χρόνια η καλλιέργεια σπιρουλίνας με ταυτόχρονη ανάκτηση και χρήση του CO_2.

12.5.4. Λουτροθεραπευτικές χρήσεις.

Όπως έχει αναφερθεί στην εισαγωγή, η λουτροθεραπευτική χρήση των θερμών νερών στη χώρα μας ανάγεται τουλάχιστον στους ιστορικούς χρόνους. Δεν υπάρχει αποτίμηση της χρήσης των θερμών νερών στις λουτροθεραπευτικές εγκαταστάσεις και πισίνες. Μια συντηρητική εκτίμηση από τους συγγραφείς (με την υπόθεση ότι η θερμοκρασία του νερού στην έξοδο των λουτροθεραπευτικών κέντρων είναι 30°C) είναι ότι η εγκατεστημένη ισχύς ανέρχεται στα 43 MWt. Τα τελευταία χρόνια πληθαίνει ο αριθμός των ανοικτών πισίνων που χρησιμοποιούν γεωθερμικό νερό (Λουτράκι Αριδαίας, Αιδηψός, Μήλος, Σαντορίνη κ.ά.).

12.5.5. Αφαλάτωση νερού

Μία μικρή μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού (η πρώτη παρόμοια μονάδα στον κόσμο) αποπερατώθηκε πρόσφατα στην Κίμωλο, ενώ αντίστοιχο πρόγραμμα βρίσκεται σε στάδιο υλοποίησης στην Μήλο. Στην Κίμωλο χρησιμοποιείται η μέθοδος της *εξάτμισης πολλαπλού φαινομένου* (Multiple-Effect Distillation, MED) υπό συνθήκες μερικού κενού σε κατακόρυφους αγωγούς. Η μονάδα, που κατασκευάστηκε κατά την περίοδο 1998-99, χρησιμοποιεί γεωθερμικό νερό χαμηλής ενθαλπίας (61°C) για τη θέρμανση του νερού τροφοδοσίας. Κατά τη δοκιμαστική περίοδο λειτουργίας της μονάδας παράγονταν 3,2 m^3/h αφαλατωμένου νερού άριστης ποιότητας με τη χρήση 50 m^3/h γεωθερμικού νερού.

12.6 Σχηματισμός Επικαθίσεων σε Γεωθερμικές Μονάδες

Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα και διεθνώς συναντά ορισμένα βασικά προβλήματα, τα οποία θα πρέπει να λυθούν ικανοποιητικά για την οικονομική εκμετάλλευση της εναλλακτικής αυτής μορφής ενέργειας. Τα προβλήματα αυτά είναι ο *σχηματισμός επικαθίσεων (*ή όπως συχνά λέγεται και *καθαλατώσεων)* σε κάθε σχεδόν επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό, η *διάβρωση* των μεταλλικών επιφανειών, και, σε ορισμένες περιπτώσεις, η διάθεση των ρευστών μετά τη χρήση τους και οι εκπομπές τοξικών αερίων (κυρίως υδροθείου). Με το γενικό όρο **σχηματισμός επικαθίσεων** (fouling) ορίζεται *η συσσώρευση ανεπιθύμητων ως επί το πλείστον υλικών σε κάθε επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με κάποιο υγρό*. Οι επικαθίσεις απαντούν σχεδόν σε κάθε βιομηχανική, οικιακή ή φυσιολογική διεργασία στην οποία υπάρχει ροή ρευστού, με ή χωρίς θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της επιφανείας και του ρευστού. Κλασικά παραδείγματα αποτελούν ο γνωστός μας λεβητόλιθος (πουρί), η αρτηριοσκλήρωση και η πέτρα στα νεφρά, καθώς και οι επικαθίσεις στις μεμβράνες αφαλάτωσης νερού, τη παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου και τις γαλακτοβιομηχανίες.

Είναι γενικά αποδεκτό ότι τα είδη των επικαθίσεων που απαντώνται σε γεωθερμικές εγκαταστάσεις μπορούν να χαρακτηρισθούν ανάλογα με τη σύστασή τους. Οι ανθρακικές και οι θειικές επικαθίσεις απαντούν κυρίως σε μονάδες χαμηλής ενθαλπίας, ενώ οι πυριτικές και οι θειούχες σε υψηλής ενθαλπίας (Σχήμα 12.12). Οι τελευταίες επικαθίσεις δημιουργούνται από ρευστά που περιέχουν σημαντικές ποσότητες διαλυμένων στερεών. Βέβαια οι εξαιρέσεις δεν λείπουν, και μια τέτοια εξαίρεση αποτελεί το πεδίο χαμηλής ενθαλπίας του Παρισιού, στο οποίο δημιουργούνται επικαθίσεις θειούχου σιδήρου. Ο Πίνακας 12.5 παρουσιάζει παραδείγματα γεωθερμικών πεδίων με το χαρακτηριστικό είδος των επικαθίσεων που σχηματίζεται, ενώ παρακάτω δίνονται συνοπτικά τα αίτια δημιουργίας των κυριότερων ειδών επικαθίσεων.

Σχήμα 12.12. *Φωτογραφίες με επικαθίσεις σε αγωγούς γεωθερμικών ρευστών. Αριστερά, (α) επικαθίσεις ασβεστίτη σε τμήμα μεταφοράς του γεωθερμικού υγρού στη Νιγρίτα. Δεξιά, πυριτικές επικαθίσεις στο αρχικό τμήμα του αγωγού επανεισαγωγής του γεωθερμικού υγρού στην Μήλο.*

(α) Ανθρακικό Ασβέστιο. Οι επικαθίσεις ανθρακικού ασβεστίου αποτελούν σημαντικό πρόβλημα στις εγκαταστάσεις χαμηλής ενθαλπίας. Ο μηχανισμός σχηματισμού των μπορεί να περιγραφεί ως εξής: με την εκτόνωση, που μερικές φορές μπορεί να ελεγχθεί ώστε να εμφανίζεται στις επιφανειακές εγκαταστάσεις, και την απελευθέρωση του διοξειδίου του άνθρακος, η αντίδραση ισορροπίας

$$2HCO_3^- \Leftrightarrow H_2O + CO_2 + CO_3^{=} \qquad (12.1)$$

μετατοπίζεται προς στα δεξιά, με αποτέλεσμα την ύπαρξη ανθρακικών ιόντων που μπορούν να αντιδράσουν με τα υπάρχοντα ιόντα ασβεστίου προς ανθρακικό ασβέστιο

$$Ca^{++} + CO_3^{=} \Leftrightarrow CaCO_3 \text{ (στερεό)} \qquad (12.2)$$

όταν $$S = \left[\frac{(Ca^{2+})(CO_3^{2-})}{K_{sp}}\right]^{1/2} > 1. \qquad (12.3)$$

Μερικές φορές, η εκτόνωση αρχίζει μέσα στη γεώτρηση παραγωγής και αυτό δεν είναι επιθυμητό, επειδή μπορεί να προκαλέσει φράξιμο του αγωγού. Θα πρέπει να προστεθεί εδώ ότι μέρος του $CO_3^{=}$ που παράγεται από την πρώτη αντίδραση υδρολύεται, με συνέπεια την αύξηση του pH του συστήματος.

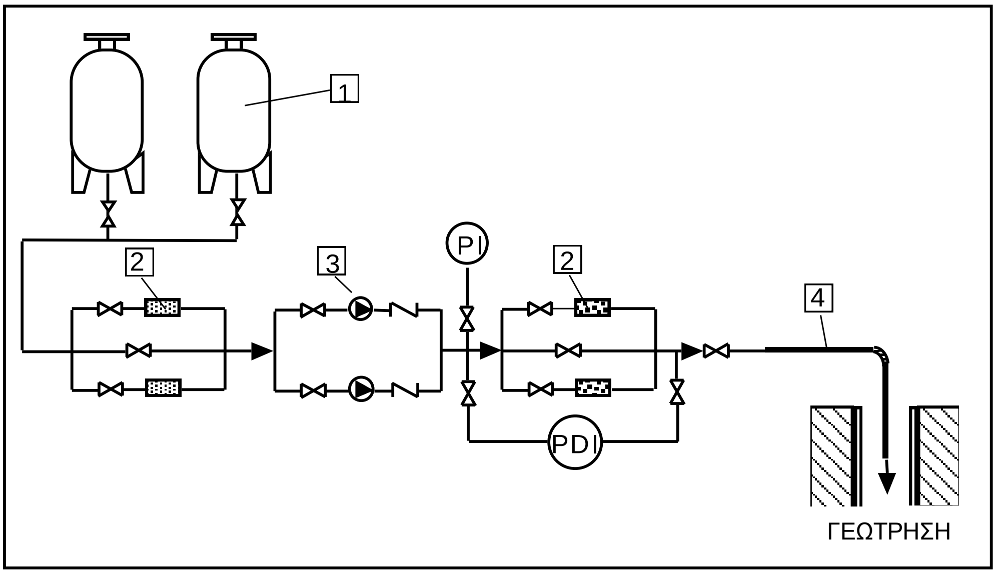
Έχει επικρατήσει διεθνώς ότι ο πλέον οικονομικός και δόκιμος τρόπος ελέγχου των ανθρακικών επικαθίσεων είναι η χρήση χημικών προσθέτων. Τα πρόσθετα τα οποία χρησιμοποιούνται για την αναστολή της κρυστάλλωσης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, στους αναστολείς «κατωφλίου» («threshold» inhibitors) και στις χηλικές ενώσεις, αν και οι μεγάλες συγκεντρώσεις των τελευταίων τις κάνουν απαγορευτικές με οικονομικά κριτήρια. Οι πυριτικές και οι θειούχες επικαθίσεις δεν μπορούν να ελεγχθούν, παρά μόνο να ελαττωθεί ο ρυθμός σχηματισμού των με το σωστό σχεδιασμό της μονάδας.

Πίνακας 12.5. *Συστατικά επικαθίσεων σε γεωθερμικές μονάδες.*

ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ	
Συστατικό	*Παραδείγματα*
Ανθρακικό Ασβέστιο	- Ν. Κεσσάνη, Σουσάκι, Νιγρίτα - Kizildere, Τουρκία
Θειούχες ενώσεις σιδήρου [σε συνδυασμό με διάβρωση]	- Dogger, Γαλλία

ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ	
Συστατικό	*Παραδείγματα*
Ανθρακικό Ασβέστιο	- Miravalles, Κοσταρίκα - Latera, Ιταλία - Cerro Prieto, Μεξικό
Πυριτικά (και μεταλλοπυριτικά) [μικρή περιεκτικότητα σε διαλυμένα στερεά]	- Svartsengi, Ισλανδία - Salton Sea, ΗΠΑ
Θειούχες ενώσεις, μαζί με πυριτικά και μεταλλοπυριτικά) [μεγάλη περιεκτικότητα σε διαλυμένα στερεά]	- Μήλος - Asal Wells, Τζιμπουτί - Salton Sea, ΗΠΑ
Οξείδια (και θειούχες ενώσεις)	- Reykjanes, Ισλανδία

Ο πλέον δόκιμος τρόπος χρησιμοποίησης ενός αναστολέα είναι η συνεχής προσθήκη του σε κάποιο σημείο της γεωθερμικής εγκατάστασης. Για καλύτερα αποτελέσματα το σημείο αυτό πρέπει να προηγείται του σημείου εκτόνωσης του γεωθερμικού ρευστού. Ένα τυπικό σχηματικό διάγραμμα μιας διάταξης συνεχούς εισαγωγής αναστολέα δίνεται στο Σχήμα 12.13ΠΠ.



Σχήμα 12.13. *Απλοποιημένο διάγραμμα εισαγωγής αναστολέων, (1) δοχείο αναστολέα, (2) φίλτρο, (3) δοσιμετρική αντλία και (4) σωληνάκι εισαγωγής.*

12.7. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται «καθαρή», σε σύγκριση με την ενέργεια από την καύση ορυκτών καυσίμων, χωρίς βέβαια οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκμετάλλευσή της να είναι συχνά αμελητέες. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και από εφαρμογή σε εφαρμογή, μπορούν όμως να καταταχτούν σχηματικά ως εξής:

1. *Χρήση Γης.* Το κύριο χαρακτηριστικό της γεωθερμικής ενέργειας είναι ότι απαντά σε ορισμένες μόνο περιοχές και η αξιοποίηση της αναγκαστικά γίνεται επιτόπου. Η γη που απαιτείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας δεν είναι μεγαλύτερη από την έκταση της γης που απαιτούν άλλες μορφές ενέργειας (ατμοηλεκτρικοί σταθμοί άνθρακα, υδροηλεκτρικοί σταθμοί). Η χρήση γης για την ανάπτυξη της γεωθερμίας μπορεί να ελαχιστοποιηθεί περιορίζοντας τη περιοχή των γεωτρήσεων και αυξάνοντας την δυναμικότητα των μονάδων.

2. *Αέρια Ρύπανση.* Η αέρια ρύπανση παρουσιάζει ίσως το μεγαλύτερο ενδιαφέρον από όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προέρχονται από την εκμετάλλευση της γεωθερμίας, κυρίως κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας. Τα κυριότερα αέρια που εκπέμπονται είναι το ραδόνιο, το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρόθειο, ενώ δεν εκπέμπονται καθόλου οξείδια του θείου και του αζώτου. Το ραδόνιο δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα, μια που από φυσικές πηγές εκπέμπονται καθημερινά πολύ μεγαλύτερες ποσότητες. Το CO_2 που εκπέμπεται από γεωθερμικές μονάδες είναι κατά πολύ μικρότερο από ότι εκπέμπουν ατμοηλεκτρικές μονάδες (Πίνακας 12.6). Οι νέας γενιάς γεωθερμικές μονάδες εκπέμπουν περίπου 0,5 kg CO_2 ανά MWh, συγκρινόμενες με τα 1500 kg CO_2 ανά MWh που εκπέμπονται από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς που χρησιμοποιούν άνθρακα. Το υδρόθειο, λόγω της έντονης οσμής του και της σχετικής τοξικότητάς του είναι υπεύθυνο πολλές φορές για τη προκατάληψη που εκδηλώνεται κατά της γεωθερμίας. Οι εκπομπές του μπορούν να ελεγχθούν εύκολα με μια πληθώρα μεθόδων, όπως η διεργασία Stredford, η οξειδωτική μέθοδος Dow, η καταλυτική μέθοδος με σίδηρο κτλ.

3. *Υδάτινη και Θερμική Ρύπανση.* Η απόρριψη ενός γεωθερμικού νερού που περιέχει διαλυμένα άλατα από το οποίο έχει εξαχθεί η θερμότητα δημιουργεί συνήθως περιβαλλοντικό πρόβλημα, τόσο από την περιεκτικότητά του σε διάφορα χημικά συστατικά (αρσενικό, βόριο, φθόριο κλπ.), όσο και από την αρκετά πιο υψηλή θερμοκρασία του σε σχέση με τη θερμοκρασία των αποδεκτών. Έτσι συνήθως απαιτείται επεξεργασία και ψύξη των νερών προτού απορριφθούν, ενώ ως η περιβαλλοντικά περισσότερο αποδεκτή μέθοδος προβάλλει η επανεισαγωγή των νερών στον ταμιευτήρα.

***Πίνακας 12.6**. Εκπομπές επιβλαβών αερίων από διάφορες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (σε kg/MWh παραγόμενης ενέργειας).*

Μορφή ενέργειας	CO_2	NO_x	SO_x
Άνθρακας	1042	4,4	11,8
Πετρέλαιο	839	12,4	1,6
Φυσικό αέριο	453	1,4	0,0
Γεωθερμία*	95	0,3	0,1
Φωτοβολταϊκα**	135	0,3	0,4
Βιομάζα	20	1,8	0,5

** μέση τιμή – οι μονάδες δυαδικού κύκλου έχουν μηδενικές εκπομπές*

*** περιλαμβάνει τις εκπομπές από τον κύκλο ζωής της τεχνολογίας*

4. *Δημιουργία Μικροσεισμικότητας και Καθιζήσεις.* Με την επανεισαγωγή του υγρού στον ταμιευτήρα, αυτό δρα ως λιπαντικό για τα πετρώματα με αποτέλεσμα τη δημιουργία μικροσεισμών στην περιοχή. Από την άλλη μεριά, η αφαίρεση μεγάλων ποσοτήτων νερού από ένα γεωθερμικό πεδίο μπορεί να προκαλέσει ορισμένες φορές καθίζηση του εδάφους από λίγα εκατοστά μέχρι μερικά μέτρα. Οι καθιζήσεις μπορούν να αποφευχθούν με την επανεισαγωγή των γεωθερμικών νερών στον ταμιευτήρα.

5. *Διαρροές.* Ιδιαίτερα προβλήματα διαρροών μπορούν να υπάρξουν στα αρχικά στάδια αξιοποίησης του πεδίου, αν και μπορούν να ελαχιστοποιηθούν.

6. *Θόρυβος.* Ο θόρυβος σε γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι μεγαλύτερος από το θόρυβο που προκαλείται σε συμβατικές μονάδες, ενώ σε εγκαταστάσεις χαμηλής ενθαλπίας ο θόρυβος είναι μηδαμινός.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

1. Οι ζώνες της γης στις οποίες είναι περισσότερο πιθανόν να βρίσκονται γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας είναι κατανεμημένες κατά ένα συγκεκριμένο τρόπο. Που βρίσκονται αυτές οι περιοχές; Δώσε ορισμένα παραδείγματα.
2. Μια γεωθερμική γεώτρηση ανορύχθηκε σε βάθος 1000 m σε περιοχή με υψόμετρο 500 m και στην οποία η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της γης είναι 16°C. Εάν η θερμοκρασία στα 985 m είναι 60°C, ποια είναι η γεωθερμική βαθμίδα της περιοχής; Τι θερμοκρασία θα περίμενε κανένας στα 1200 m;
3. Όπως δείχνει ο Πίνακας 12.2 η ολική εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς των γεωθερμικών μονάδων προσεγγίζει τα 10.000 MWe. Τι ποσοστό από αυτό το μέγεθος αντιπροσωπεύουν οι αναπτυσσόμενες χώρες;
4. Ανάφερε ορισμένα μειονεκτήματα της αξιοποίησης γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας με μεγάλη περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα.
5. Η τελική απόφαση για την αξιοποίηση ενός γεωθερμικού πόρου πρέπει να βασίζεται σε συγκεκριμένα οικονομικά ή/και κοινωνικά κριτήρια. Ανάφερε ορισμένα τέτοια κριτήρια.
6. Με γεωθερμικά ρευστά χαμηλής ενθαλπίας η θέρμανση χώρων μπορεί να γίνει με άμεσο τρόπο (με διέλευση του ίδιου του ρευστού) ή με έμμεσο τρόπο (εσωτερικό κύκλωμα νερού). Πότε προτιμάται ο ένας τρόπος και πότε ο άλλος;
7. Οι πλαστικοί σωλήνες (πολυβινυλοχλωρίδιο-PVC, πολυαιθυλένιο-PE, πολυπροπυλένιο-PP) χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν τα γεωθερμικά ρευστά και είναι φθηνότεροι από τους χαλύβδινους σωλήνες. Πότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι πλαστικοί σωλήνες και ποια είναι τα μειονεκτήματά τους;

13. ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ

13.1. Εισαγωγή

Η θάλασσα αποτελεί μια τεράστια πηγή ενέργειας. Οι κυριότερες μορφές ενέργειας που μπορούμε να αξιοποιήσουμε από αυτή την πηγή (ocean energy), που τελευταία αρχίζει να καλείται και θαλασσο-ενέργεια (thalasso energy) είναι:

1. Ενέργεια από τα Κύματα
2. Παλιρροϊκή Ενέργεια (και τα θαλάσσια ρεύματα)
3. Θερμική Ενέργεια των Ωκεανών (OTEC, Ocean Thermal Cycle Conversion)

Άλλη μορφή ενέργειας από τη θάλασσα είναι η ωσμωτική πίεση, με την αξιοποίηση των διαφορών στην αλατότητα μεταξύ των διαφόρων ωκεάνιων ρευμάτων. Με εξαίρεση την παλιρροϊκή ενέργεια, οι δύο άλλες πηγές ενέργειας αποτελούν έμμεση ηλιακή ενέργεια.

13.2. Ενέργεια από τα Κύματα

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της θάλασσας (με μέση τιμή 100 W/m^2) μπορεί να μετατραπεί σε κύματα μέσω των ανέμων με επίπεδα ισχύος πάνω από 100 W ανά μέτρο της κορυφής των κυμάτων (δευτερογενής ηλιακή ενέργεια).

Οι πρώτες ιδέες για την αξιοποίηση της ενέργειας των κυμάτων παρουσιάστηκαν πριν από περίπου 100 χρόνια, αλλά μόνο μετά την «ενεργειακή κρίση» του 1973 δόθηκε πραγματική ώθηση στην ανάπτυξη βιώσιμης τεχνολογίας για την αξιοποίηση της ενέργειας αυτής. Δύο χώρες ήταν οι πρωτοπόροι σε αυτήν τη κατεύθυνση: το Ηνωμένο Βασίλειο και η Ιαπωνία, χώρες χωρίς σημαντικούς εγχώριους ενεργειακούς πόρους (για την Αγγλία εκείνη την εποχή). Αυτή τη στιγμή βέβαια η χρηματοδότηση στο Ηνωμένο Βασίλειο έχει σχεδόν σταματήσει, αν και συνεχίζεται μερικώς με χρηματοδότηση της Ε.Ε. Άλλες χώρες που εκδηλώσει ενδιαφέρον και έχουν προχωρήσει σε μικρά επιδεικτικά έργα είναι η Νορβηγία (η οποία καλύπτει τις εγχώριες ανάγκες από την υδροϊσχύ και προορίζει την ενεργειακή αυτή πηγή για εξαγωγές), η Σουηδία, η Δανία, η Ιρλανδία, η Ιαπωνία, η Ινδία κ.ά. Το δυναμικό του Ηνωμένου Βασιλείου είναι τεράστιο και ανέρχεται σε 120 GW ανά έτος, με σημερινά επίπεδα κατανάλωσης περίπου 60 GW/a. Η διαφορά μπορεί να εξάγεται σε άλλες χώρες της Ε.Ε.

Οι εκτιμήσεις για το παγκόσμιο δυναμικό ανέρχονται σε 2 TW ανά έτος (World Energy Council), αν και το οικονομικά αξιοποιήσιμο δυναμικό φαίνεται ότι είναι αρκετά μικρότερο. Πρόβλημα έχουν δημιουργήσει οι διαρροές τεραστίων ποσοτήτων πετρελαίου στη θάλασσα, οι οποίες μείωσαν τα τελευταία 30 χρόνια το δυναμικό της ενέργειας των κυμάτων, λόγω της αλλαγής των χαρακτηριστικών της διεπιφάνειας νερό-αέρας από τη λεπτή στιβάδα του πετρελαίου.

Δημιουργία και ισχύς των κυμάτων

Τα κύματα στους ωκεανούς δημιουργούνται από την ροή του ανέμου επάνω στην επιφάνεια του νερού. Οι μηχανισμοί αλληλεπίδρασης των ανέμων και της επιφάνειας της θάλασσας είναι αρκετά πολύπλοκοι και όχι απόλυτα κατανοητοί ακόμη και σήμερα. Τρεις είναι οι κυριότερες διεργασίες που συμβαίνουν:

1) Αρχικά, ο αέρας που ρέει επάνω από την επιφάνεια της θάλασσας ασκεί εφαπτομενικές τάσεις, με αποτέλεσμα το σχηματισμό μικρών κυματισμών που μεγαλώνουν με την ταχύτητα του ανέμου.

2) Το τυρβώδες πεδίο του αέρα κοντά στη διεπιφάνεια νερού-αέρα δημιουργεί μεταβαλλόμενες διατμητικές τάσεις και διαταραχές της τοπικής πίεσης. Όταν αυτές οι διαταραχές βρίσκονται σε συμφωνία φάσης με τα υπάρχοντα κύματα, προκαλείται περαιτέρω αύξηση των κυμάτων.

3) Τέλος, όταν τα κύματα αποκτήσουν συγκεκριμένο ύψος, ο άνεμος ασκεί μεγαλύτερη δύναμη στην ανάντη πλευρά του κύματος, προκαλώντας επιπλέον ανάπτυξη του κύματος.

Τα κύματα χαρακτηρίζονται από το μήκος κύματος, λ, το ύψος του κύματος, H, και την περίοδο του κύματος, T. Το μέγεθος των κυμάτων που δημιουργούνται από τον άνεμο εξαρτάται από τρεις παράγοντες: από την ταχύτητα και τη διάρκεια του ανέμου και από την απόσταση στην επιφάνεια του νερού πάνω στην οποία η αιολική ενέργεια μεταφέρεται στο νερό με τη δημιουργία των κυμάτων. Τα μεγαλύτερα κύματα περιέχουν περισσότερη ενέργεια ανά μέτρο μήκους της κορυφής από ότι τα μικρά κύματα.

Είναι συνηθέστερο να εκτιμούμε την ισχύ των κυμάτων και όχι το ενεργειακό τους περιεχόμενο. Η ισχύς P (σε W/m) ενός ιδανικού ωκεάνιου κύματος μπορεί να εκτιμηθεί κατά προσέγγιση ως:

$$P = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32\pi} \tag{13-1}$$

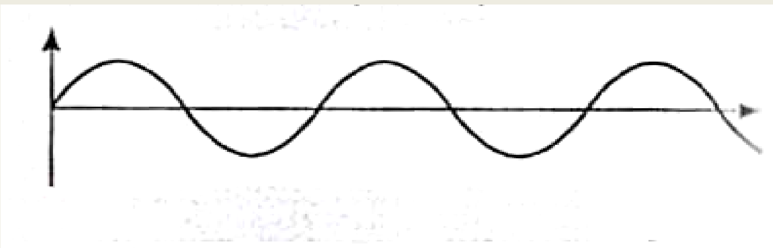
όπου ρ είναι η πυκνότητα του νερού και g η σταθερά της βαρύτητας. Για ρ=1025 kg/m^3 η παραπάνω σχέση απλουστεύεται σε

$$P \approx H^2 T \tag{13-2}$$

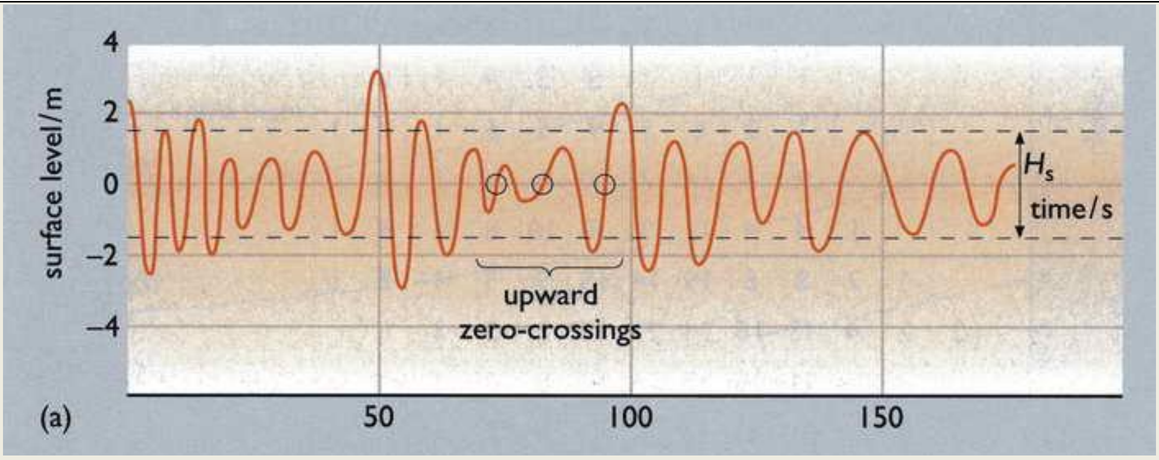
Βεβαίως οι παραπάνω σχέσεις εφαρμόζονται στην περίπτωση ενός «ιδανικού» κύματος, δηλ. κύματος με σταθερό ύψος και καθορισμένη περίοδο (μονοχρωματικό κύμα). Τα πραγματικά κύματα μπορούν να θεωρηθούν ότι συνίστανται από την υπέρθεση πολλών τέτοιων κυμάτων, κάθε ένα από τα οποία έχει διαφορετική περίοδο και ύψος. Επίσης, οι αποτυπώσεις των κυμάτων διαφέρουν με την περιοχή και το χρόνο. Σε αυτή την περίπτωση, η ισχύς δίνεται από τη σχέση:

$$P = \frac{H_s^{\,2} T_e}{2} \tag{13-3}$$

Όπου H_s είναι το ενεργό ύψος των κυμάτων (4 φορές την τιμή rms) και T_e είναι η περίοδος των κυμάτων, όπως αυτό προκύπτει από τον αριθμό των σημείων της αποτύπωσης του κύματος που διέρχονται από το 0 σε ένα δευτερόλεπτο (βλ. σχήμα παρακάτω).



Αποτύπωση ενός ιδανικού κύματος.



Αποτύπωση ενός κανονικού κύματος (Boyle, Renewable Energy, 2004).

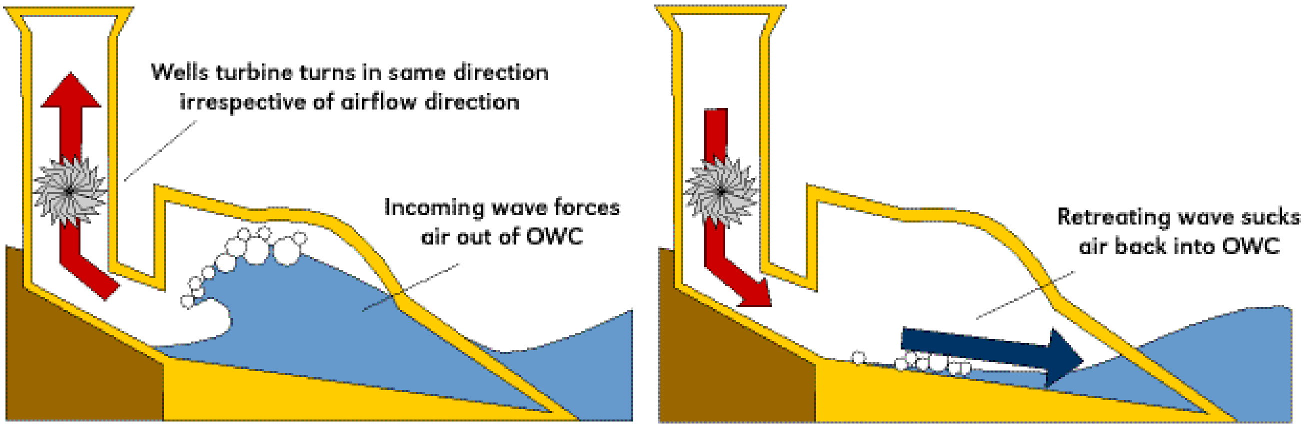
Σχήμα 13.1. *Χάρτης με τη μέση ενέργεια των κυμάτων στον κόσμο σε kW/m (kW ανά μέτρο ύψους των κυμάτων).*

13.2.1. Συστήματα αξιοποίησης

Προτάθηκαν (και μερικές φορές κατασκευάστηκαν επιδεικτικές μονάδες) διάφοροι συστήματα αξιοποίησης του δυναμικού των κυμάτων, επιφανειακά ή κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, σταθερά ή επιπλέοντα, κοντά στην ακτή ή μέσα στη θάλασσα. Μερικά από τα συστήματα αυτά είναι:

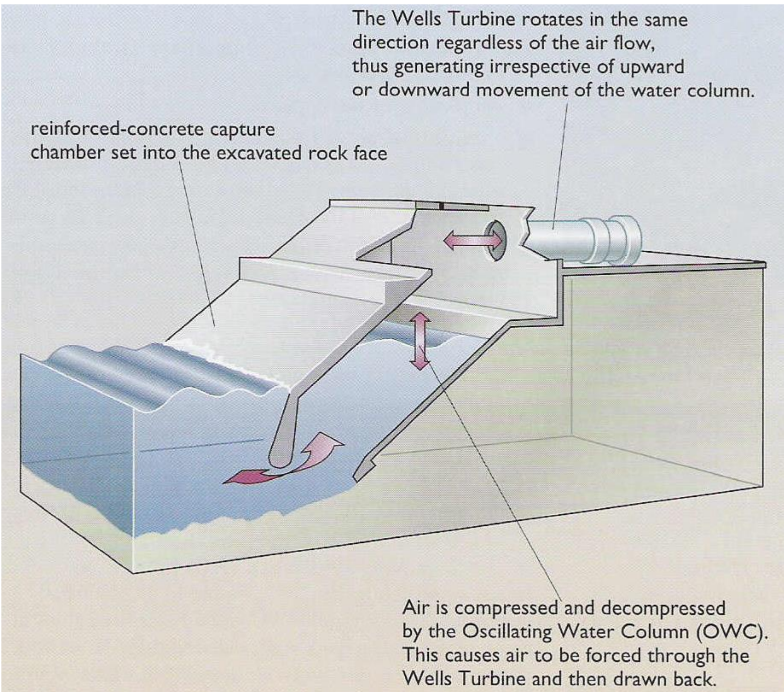
(α) Σταθερά Συστήματα

(1) *Σύστημα ταλαντευόμενης στήλης νερού* (oscillating water column). Η πλειοψηφία των συστημάτων που έχουν δοκιμαστεί εμπίπτει σε αυτή την κατηγορία. Αποτελείται από ένα μεγάλο μεταλλικό χώρο που καταλήγει σε μια κλειστή κάθετη στήλη, όπου είναι τοποθετημένος ένας αεροστρόβιλος μαζί με την ηλεκτρογεννήτρια (Σχήμα 13.2). Συνήθως χρησιμοποιείται ο στρόβιλος Wells, που εφευρέθηκε στη δεκαετία του 1970 από τον Καθ. Alan Wells του Πανεπιστημίου Queen's στο Belfast. Η περιστροφή του στροβίλου γίνεται και κατά τη συμπίεση του αέρα (από την είσοδο του κύματος) και κατά την αποσυμπίεση (κατά την οπισθοχώρηση του κύματος). Το χαρακτηριστικό του στροβίλου αυτού είναι ότι περιστρέφεται πάντοτε προς μία κατεύθυνση (με ταχύτητα 1500-3000 rpm), άσχετα αν ο αέρας εξέρχεται από τον χώρο ή εισέρχεται σε αυτόν.



Σχήμα 13.2 *Σχηματικό διάγραμμα της μεθόδου της Ταλαντευόμενης Στήλης Νερού.*

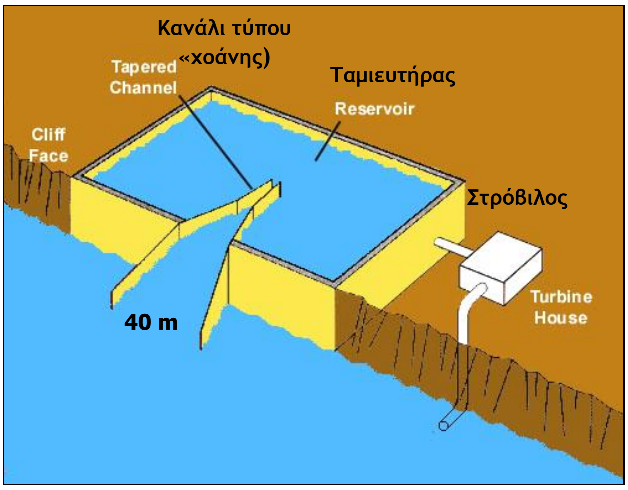
Επίδειξη πρωτότυπης συσκευής 150 kW έχει γίνει στην νήσο Islay, στη Σκοτία. Η μονάδα λειτούργησε από το 1989 μέχρι το 1999, παρέχοντας ηλεκτρικό ρεύμα στο τοπικό δίκτυο. Στο ίδιο νησί έχει κατασκευαστεί και λειτουργεί από το τέλος του 2000 η μονάδα LIMPET (Land Installed Marine Powered Energy Transformer), δυναμικότητας 500 kW (βλ. Σχήμα 13.3).



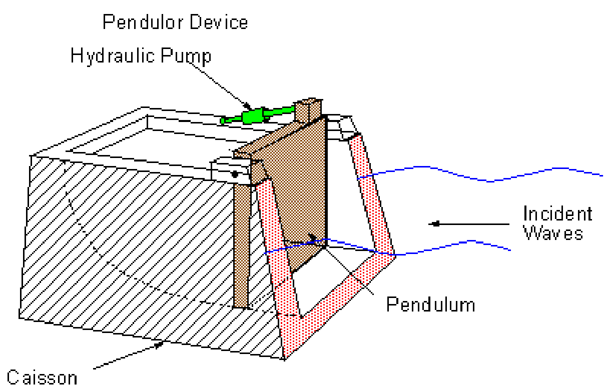
Σχήμα 13.3. *Η μονάδα LIMPET (Boyle, 2004).*

Η ιδέα μπορεί να εφαρμοστεί σε λιγότερα σταθερά συστήματα που κάθονται στο βυθό της θάλασσας (σε περίπου 40 m) και εκμεταλλεύονται τα ρεύματα των ωκεανών. Παράδειγμα αποτελεί η συσκευή OSPREY I (Ocean Swell Powered Renewable Energy), η κατασκευή της οποίας το 1995 χρηματοδοτήθηκε από την Ε.Ε., αλλά καταστράφηκε από τον τυφώνα Felix στην προσπάθεια αγκύρωσης της συσκευής στη Σκοτία. Η ονομαστική ισχύς της μονάδας ήταν 2 MW ηλεκτρισμού. Οι προσπάθειες θα συνεχίζονταν με το OSPREY II μετά το 1999. Πιλοτικές μονάδες λειτουργούν επίσης στις Αζόρες (300 kW), την Ινδία, την Ιαπωνία, την Νορβηγία και αλλού.

(2) Το *TAPCHAN* (tapered channel system) συνίσταται από ένα κανάλι τύπου «χοάνης» που τοποθετείται δίπλα στη ξηρά, με μέγιστο ύψος πλευρών 7 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Λόγω της μείωσης της διατομής τα κύματα αυξάνουν σε ύψος και το νερό οδηγείται σε ένα τεχνητό υδάτινο ταμιευτήρα (Σχήμα 13.4). Από εκεί το νερό επιστρέφει στη θάλασσα αφού περάσει από ένα υδροστρόβιλο τύπου Kaplan (όπως συμβαίνει και στη υδροηλεκτρική ενέργεια). Μια πρωτότυπη επιδεικτική μονάδα 350 kW έχει δοκιμαστεί στο Toftesfallen της Νορβηγίας (80 km από το Bergen) κατά τα έτη 1985-1990. Το εξωτερικό άνοιγμα της χοάνης είχε μήκος 40 m. Μια παρόμοια μονάδα δοκιμάστηκε στην Ιάβα (Ινδονησία). Το TAPCHAN δεν μπορεί να αξιοποιηθεί οποιαδήποτε ακτογραμμή. Απαραίτητες προϋποθέσεις, εκτός από το «καλό κλίμα» (δηλ. την υψηλή ενέργεια των κυμάτων και τη συνεχή ύπαρξη των κυμάτων) είναι ότι στην περιοχή δεν πρέπει η μέση παλίρροια να ξεπερνά το 1 m και η ακτογραμμή να επιτρέπει την κατασκευή της μονάδας με μικρό κόστος.



Σχήμα 13.4. *Η μέθοδος TAPCHAN.*



Σχήμα 13.5. *Η συσκευή τύπου «εκκρεμές».*

(3) *Συσκευή «εκκρεμές»* (Pendulor device). Αποτελείται από μια παραλληλεπίπεδη δεξαμενή, ανοικτή από μία πλευρά προς τη θάλασσα (Σχήμα 13.5). Στην πλευρά αυτή τοποθετείται «θυρίδα» που ανοιγοκλείνει με τη ροή του νερού και παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα από την παλινδρομική κίνηση της θυρίδας με τη βοήθεια υδραυλικού συστήματος. Έχει δοκιμαστεί στην Ιαπωνία σε δύο συστήματα των 5 kW.

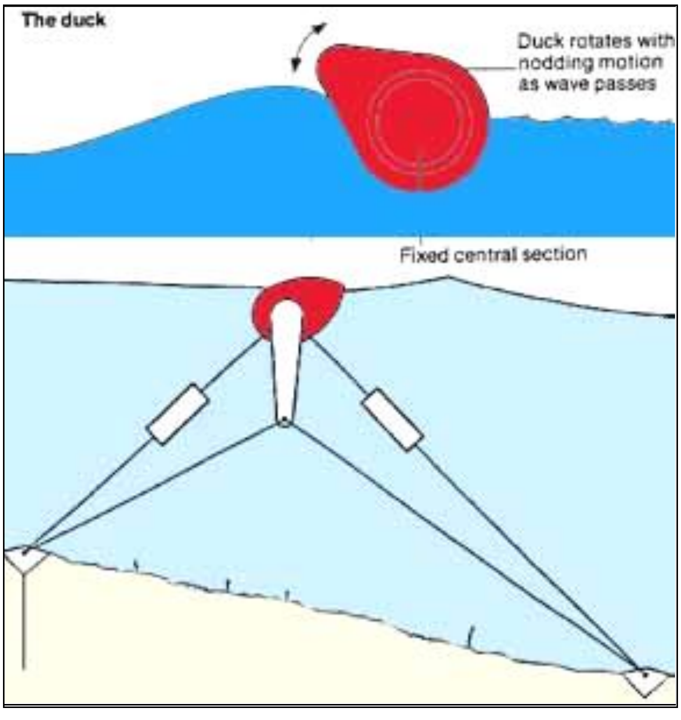
(β) Επιπλέοντα Συστήματα

Τα επιπλέοντα συστήματα περιλαμβάνουν αρκετές επιδεικτικές συσκευές. Το Salter's Duck (από τον εφευρέτη του Καθ. Stephen Salter) ή «πάπιας του Εδιμβούργου» στο Ηνωμένο Βασίλειο παράγει ηλεκτρισμό μέσω της αρμονικής κίνησης ενός επιπλέοντος τμήματος της συσκευής (Σχήμα 13.6). Η χρηματοδότηση της ιδέας ξεκίνησε το 1976 και τα φιλόδοξα σχέδια μιλούν για μονάδα 2000 MW! Η παρόμοιας αρχής πιλοτική συσκευή 110 kW Floating Power Vessel έχει δοκιμαστεί με επιτυχία στη Σουηδία το 1991-92. Άλλο παράδειγμα αποτελεί η ιαπωνική «Παντοδύναμη Φάλαινα». Η δανέζικη συσκευή είναι παραπλήσια. Η έρευνα στρέφεται επίσης, κυρίως στη Νορβηγία, και στην υποβοήθηση της κίνησης πλοίων με την ενέργεια των κυμάτων.

13.1.2 Πλεονεκτήματα

Η ενέργεια από τα κύματα πρέπει να συγκαταλέγεται μεταξύ των ηπιότερων περιβαλλοντικά ενεργειακών τεχνολογιών επειδή:

- Τα συστήματα αυτά δεν θέτουν σε κίνδυνο τη ναυσιπλοΐα (με την κατάλληλη σήμανση) και τη μετανάστευση των ψαριών.
- Δεν χρησιμοποιούνται καύσιμα και τοξικά χημικά και, συνεπώς, δεν προκαλείται χημική ρύπανση. Βεβαίως, υπάρχει ένα αξιοσημείωτο χρονικό διάστημα για την ανάκτηση της ενέργειας που απαιτήθηκε για την κατασκευή και τα υλικά των συστημάτων.
- Ο θόρυβος από τη λειτουργία των συστημάτων είναι λιγότερος από το θόρυβο των ίδιων των κυμάτων.
- Δεν προκαλούν «οπτική/αισθητική» ρύπανση, εκτός από τα συστήματα που βρίσκονται επάνω στην ακτογραμμή.



Σχήμα 13.6. *Αξιοποίηση κυμάτων με επιπλέουσες συσκευές: η «πάπια» του Εδιμβούργου.*

13.3. Παλιρροϊκή Ενέργεια

13.3.1. Εισαγωγή - πόροι

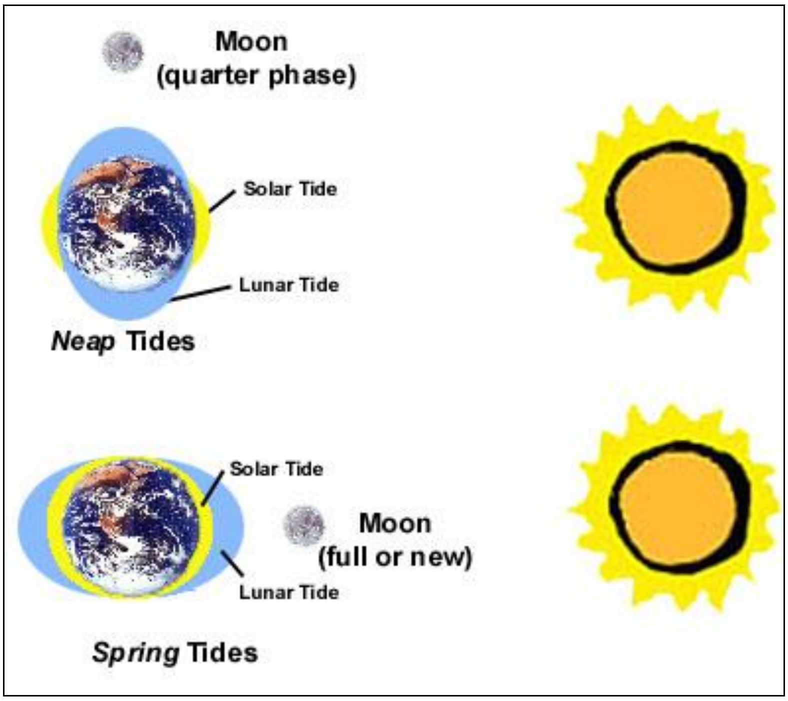
Η παλιρροϊκή ενέργεια (tidal energy) αξιοποιεί τη μεταβολή του επιπέδου της θάλασσας που συμβαίνει σχεδόν δυο φορές ημερησίως και οφείλεται στη βαρυτική επίδραση κυρίως της σελήνης (ο ωκεανός κινείται προς το φεγγάρι) και, δευτερευόντως, του ήλιου. Πρέπει να διαφοροποιείται από την ενέργεια κυμάτων και αυτό γιατί μερικές φορές αναφέρεται και ως ενέργεια παλιρροϊκών κυμάτων (tidal wave energy).

Παλίρροιες δημιουργούνται και από την περιστροφική κίνηση της γης. Το φεγγάρι ασκεί περίπου 3 φορές περισσότερη έλξη στη γη από ότι ο ήλιος. Μεγαλύτερη παλίρροια συμβαίνει όταν ήλιος και σελήνη βρίσκονται στην ίδια ευθεία και μικρότερη όταν βρίσκονται σε ορθή γωνία. Η άνοδος της θάλασσας καλείται πλημμυρίδα και άμπωτη είναι η κάθοδός της. Η μέση τιμή της παλίρροιας (στο μέσο του ωκεανού) ανέρχεται περίπου σε 0,5 m. Η παλίρροια όμως ενισχύεται από τις τοπικές τοπογραφικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα σε ρηχά νερά κοντό στις ακτές ή σε εκβολές ποταμών, και από φαινόμενα συντονισμού. Καθώς η παλίρροια πλησιάζει προς τις ακτές και το βάθος του νερού μειώνεται, η ροή της παλίρροιας ενισχύεται με αύξηση του ύψους του νερού, το οποίο μπορεί να φτάσει τα 3 m. Εάν η παλίρροια εισέλθει σε εκβολές ποταμού με κατάλληλο σχήμα (χοάνη), τότε μπορεί να ανυψωθεί το νερό συνολικά μέχρι και 17 m, όπως συμβαίνει στον κόλπο Fundy του Καναδά. Τέτοιες τοποθεσίες βέβαια δεν είναι πολλές σε ολόκληρο τον κόσμο. Για να παραχθεί πρακτικά ηλεκτρική ενέργεια απαιτείται τουλάχιστον 5-7 m διαφορά μεταξύ υψηλής και χαμηλής παλίρροιας. Περισσότερα από 40 τέτοια μέρη υπάρχουν σε όλο τον κόσμο.

Η λεπτομερειακή ανάλυση της αλληλεπίδρασης της γης, της σελήνης και του ήλιου είναι αρκετά σύνθετη. Με απλά λόγια όμως και θεωρώντας μόνο τη γη και τη σελήνη, η βαρυτική έλξη της σελήνης «ωθεί» το νερό των θαλασσών προς την πλευρά της γης που είναι κοντύτερα στο φεγγάρι (και σε συνδυασμό με τις φυγόκεντρες δυνάμεις που κατευθύνουν τον νερό προς τα «έξω»), προκαλεί ένα τοπικό «φούσκωμα» του νερού. Συγχρόνως, οι θάλασσες που βρίσκονται μακρύτερα από τη σελήνη υπόκεινται επίσης σε ένα δεύτερο «φούσκωμα», που οφείλεται και στις ισχυρές φυγόκεντρες δυνάμεις πάνω στη μάζα του νερού. Καθώς η γη περιστρέφεται, οι δύο αυτές επιδράσεις της σελήνης στις γήινες θάλασσες θα δώσουν δύο παλίρροιες την ημέρα, ή ορθότερα δύο παλίρροιες κάθε 24,8 ώρες. Καθώς και η σελήνη περιστρέφεται γύρω από τη γη, ο χρόνος που συμβαίνει παλίρροια σε μία περιοχή θα μεταβάλλεται με τέτοιον τρόπο ώστε από τη μία ημέρα στην άλλη να εμφανίζεται με καθυστέρηση 50 λεπτών.

Αυτή η βασική μορφή αλληλεπίδρασης γης-σελήνης τροποποιείται από την έλξη της γης από τον ήλιο. Αν και ο ήλιος είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από σελήνη, είναι συγχρόνως και πολύ μακρύτερα, με αποτέλεσμα η επίδραση της σελήνης στις θάλασσες να είναι σχεδόν διπλάσια της αντίστοιχης επίδρασης του ήλιου.

Όταν ο ήλιος και η σελήνη βρίσκονται στην ίδια ευθεία, προκαλούνται οι ισχυρές «συζυγικές» παλίρροιες (spring tides), ενώ όταν βρίσκονται σε γωνία 90° η αλληλεπίδραση είναι μικρή και οι παλίρροιες ονομάζονται διχοτομικές (neap tides), όπως σχηματικά παρουσιάζεται στο Σχήμα 13.7. Οι συζυγικές παλίρροιες είναι περισσότερο από δύο φορές ισχυρότερες από τις διχοτομικές παλίρροιες. Η περίοδος μεταξύ συζυγικών και διχοτομικών παλιρροιών είναι περίπου 14 ημέρες.



Σχήμα 13.7. *Η βαρυτική επίδραση του ήλιου και της σελήνης στις παλιρροϊκές περιοχές. Η επίδραση της σελήνης τρεις φορές ισχυρότερη από την επίδραση του ήλιου.*

Η ιδέα της αξιοποίησης των παλιρροιών δεν είναι καινούρια. Ήδη από τον 11^{o} μ.Χ. αιώνα υπήρχαν σε λειτουργία «παλιρροϊκοί» μύλοι σε Αγγλία, Ισπανία, Βέλγιο και Γαλλία. Η ιδέα για παραγωγή μηχανικής ενέργειας από τις παλίρροιες αναπτύχθηκε στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, ενώ η ιδέα της παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος αναφέρθηκε πρώτη φορά το 1920 στη Μεγάλη Βρετανία. Σήμερα εκτιμάται ότι το παγκόσμιο δυναμικό των παλιρροιών ανέρχεται σε $3x10^6$ MWe.

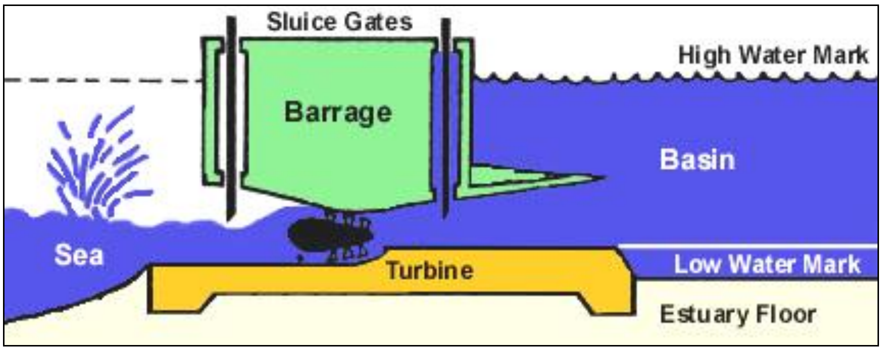
13.3.2. Παραγωγή ηλεκτρισμού

(α) Παλιρροϊκά φράγματα

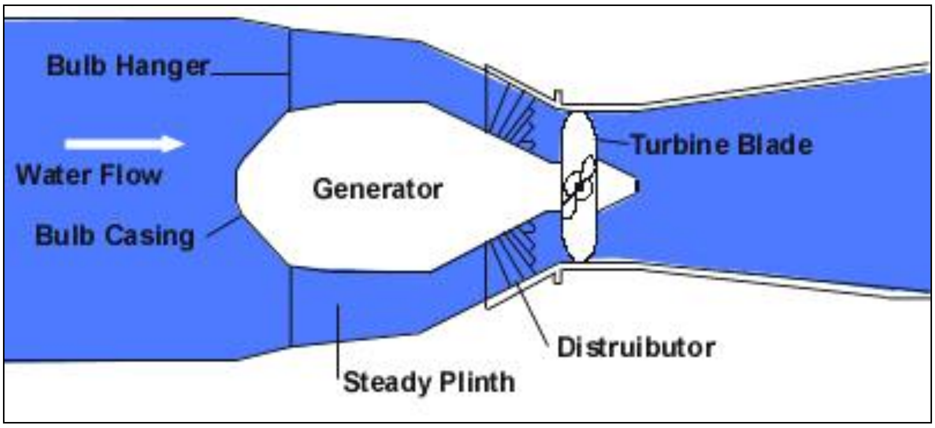
Η αξιοποίηση της παλιρροϊκής ενέργειας επιτυγχάνεται με τρόπο παρόμοιο με την υδροϊσχύ, με τη διαφορά ότι το νερό ρέει και από δύο κατευθύνσεις, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των γεννητριών.

Ο πλέον συνήθης τρόπος είναι η παγίδευση του νερού με τη βοήθεια φράγματος σε κάποιον κόλπο ή σε εκβολές ποταμού. Η δυναμική ενέργεια λόγω της υψομετρικής διαφοράς του νερού μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια (με τη μορφή κινούμενου ρεύματος νερού) και τέλος μέσω των πτερυγίων του στροβίλου σε περιστροφική κινητική ενέργεια. Κατά την άμπωτη (ebb type system) και την απομάκρυνση του νερού, αυτό περνά μέσα από σειρά υδροστροβίλων (Σχήμα 13.8). Μπορεί να γίνει χρήση στροβίλων και στις δύο κατευθύνσεις, αν και δεν προτιμάται στην πράξη.

Υπάρχουν αρκετοί τύποι υδροστροβίλων που έχουν χρησιμοποιηθεί, δοκιμαστεί ή βρίσκονται στα σχέδια. Στο La Rance χρησιμοποιούνται οι στρόβιλοι τύπου «βολβού» (Σχήμα 13.9). Η γεννήτρια βρίσκεται κλεισμένη σε έναν μεταλλικό «βολβό» και το νερό διέρχεται γύρω από αυτόν το βολβό. Έτσι, σε περίπτωση βλάβης, θα πρέπει να διακοπεί η ροή του νερού σε όλο το σύστημα του στροβίλου.



Σχήμα 13.8. *Σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού από την άμπωτη (ebb generating system) με τη χρήση στροβίλου τύπου βολβού (bulb turbine).*



Σχήμα 13.9. *Στρόβιλος τύπου βολβού που χρησιμοποιείται στο La Rance.*

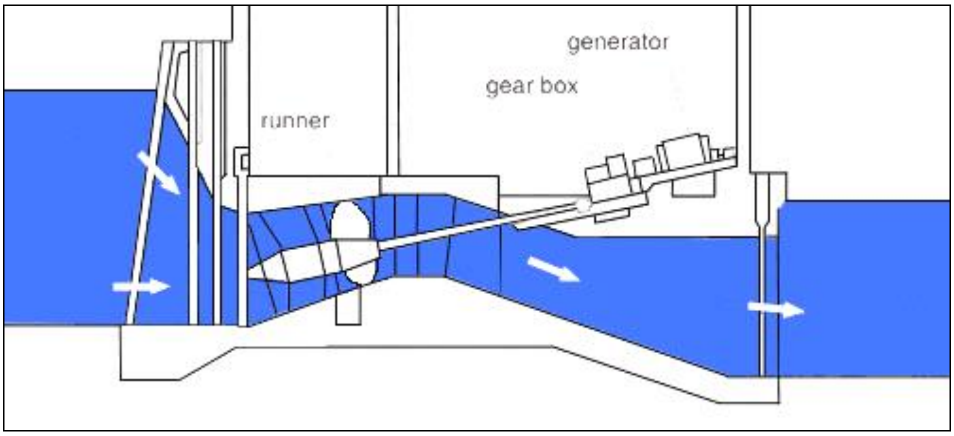
Τα προβλήματα αυτά μειώνονται αρκετά στο στρόβιλο «Straflo», που χρησιμοποιείται στο Royal Annapolis του Καναδά. Επίσης στον «αυλωτό» στρόβιλο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 13.10, ο μακρύς άξονας (αυλός) μεταφέρει τη περιστροφική κίνηση των πτερυγίων σε μία εξωτερική γεννήτρια. Οι ταχύτητες περιστροφής των παλιρροϊκών στροβίλων είναι σχετικά μικρές (50-100 rpm) και για το λόγο αυτόν η φθορά τους είναι περιορισμένη σε σχέση με τους πολύστροφους στροβίλους της υδροϊσχύος (1000-3000 rpm).

(β) Παλιρροϊκοί φράκτες

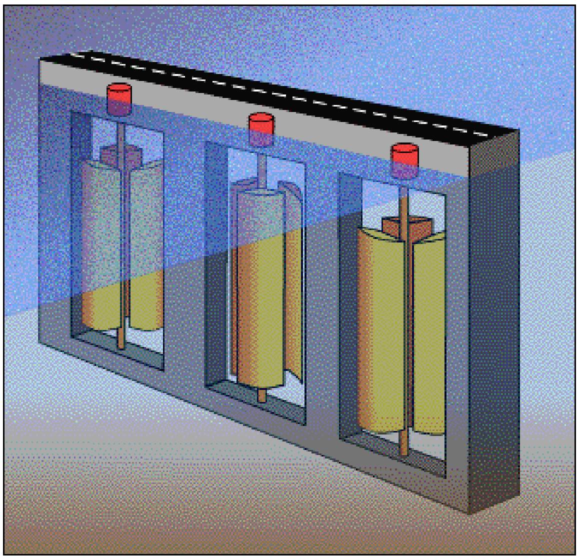
Υπάρχει ως ιδέα εδώ και δεκαετίες. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μη κλειστές λεκάνες, όπως για παράδειγμα ανάμεσα σε δύο νησιά (Σχήμα 13.11).

(γ) Παλιρροϊκοί στρόβιλοι

Προτάθηκαν στα μέσα της δεκαετίας του 70, αλλά έγιναν πραγματικότητα τα τελευταία 10 χρόνια όταν τέθηκε σε λειτουργία σύστημα 15 MW στο Loch Linnhe. Μοιάζουν με τις ανεμογεννήτριες (Σχήμα 13.12) και παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα φράγματα και τους φράκτες αναφορικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Παρόμοιοι υδροστρόβιλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την αξιοποίηση των θαλάσσιων ρευμάτων. Μια πρότυπη μονάδα δυναμικότητας 300 kW έχει δοκιμαστεί στο Devon της Αγγλίας. Τα πτερύγια του ρότορα έχουν μήκος 11 μέτρα. Όπως είναι προφανές, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών των συσκευών είναι ελάχιστες.



__Σχήμα 13.10.__ Ο «αυλωτός» στρόβιλος (όπως σχεδιάστηκε για το Severn project).

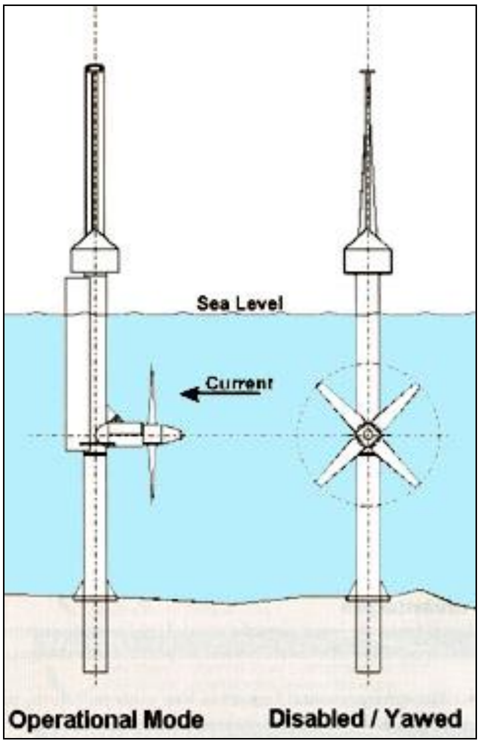


__Σχήμα 13.11.__ Σχηματική παράσταση ενός παλιρροϊκού φράκτη σε λειτουργία.
(Ένα τέτοιο σύστημα, 55 MWp, σχεδιάζεται για το San Bernadino Strait).

13.3.3. Υπάρχουσες Μονάδες

Μέχρι σήμερα, η μόνη «εμπορική» μονάδα που έχει κατασκευαστεί μεταξύ 1961 και 1966 και λειτουργεί σχεδόν ανελλιπώς από τότε είναι η μονάδα 240 MW στις εκβολές του ποταμού La Rance στην Γαλλία, κοντά στο Saint Malo. Η διαφορά της στάθμης του νερού κυμαίνεται μεταξύ 3 και 12 m, με μέσο ύψος τα 5 m. Το μήκος του φράγματος είναι 740 m και έχουν τοποθετηθεί 24 στρόβιλοι (τύπου Kaplan, διάμετρος πτερυγίων 5,35 m) που μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ισχύ για μια πόλη 300.000 κατοίκων. Κάθε δέκα χρόνια περίπου απαιτείται αλλαγή των στροβίλων. Αποτελεί το κυριότερο βιομηχανικό αξιοθέατο της Γαλλίας και κάθε χρόνο το επισκέπτονται 400.000 άτομα. Από την άλλη μεριά δεν είναι λίγες οι διαμαρτυρίες μερίδας οικολόγων για τις επιπτώσεις του φράγματος στο τοπικό οικοσύστημα. Άλλες μονάδες που έχουν λειτουργήσει είναι:

- Πιλοτική μονάδα 20 MW στην πόλη Annapolis Royal, Nova Scotia, Καναδάς, από τα μέσα της δεκαετίας του 1980.



Σχήμα 13.12. *Παλιρροϊκοί στρόβιλοι (επιδεικτικό έργο 15 kW στο Loch Linnhe).*

- Πιλοτική μονάδα 0,5 MW στον κόλπο Kislaya Guba, στην Άσπρη Θάλασσα, 100 km από το Murmansk της Σιβηρίας, το οποίο λειτουργεί από το 1968 και έχει εγκατεστημένη ισχύ 100 kW.
- Αρκετές μικρές μονάδες στην Κίνα από το 1987.
- Υπάρχουν επίσης πολλές προτάσεις για νέες μονάδες (σε Αγγλία Αυστραλία κ.ά.). Η πλέον αξιόλογη πρόταση αφορά στο σχέδιο Severn στη Μ. Βρετανία, με προβλεπόμενη ισχύ 8640 MW (216 στρόβιλοι των 40 MW) και ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 17 TWh.

Σχήμα 13.13. *Η μονάδα στο Annapolis River, Καναδάς (http://www.nspower.ca/AboutUs/WhatsNew/ANNTidal_a.htm).*

13.3.4. Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Γενικά, η παλιρροϊκή ενέργεια (όπως και πολλές άλλες ΑΠΕ) είναι μια σχετικά φιλική προς το περιβάλλον ενέργεια, που και αυτή χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος κεφαλαίου. Το φράγμα προσφέρει τη δυνατότητα σύνδεσης με δρόμο των ακτών ενός κόλπου. Πλεονέκτημα θεωρείται και η μεγάλη αναμενόμενη ζωή των συστημάτων που μπορεί να ξεπεράσει τα 100 χρόνια.

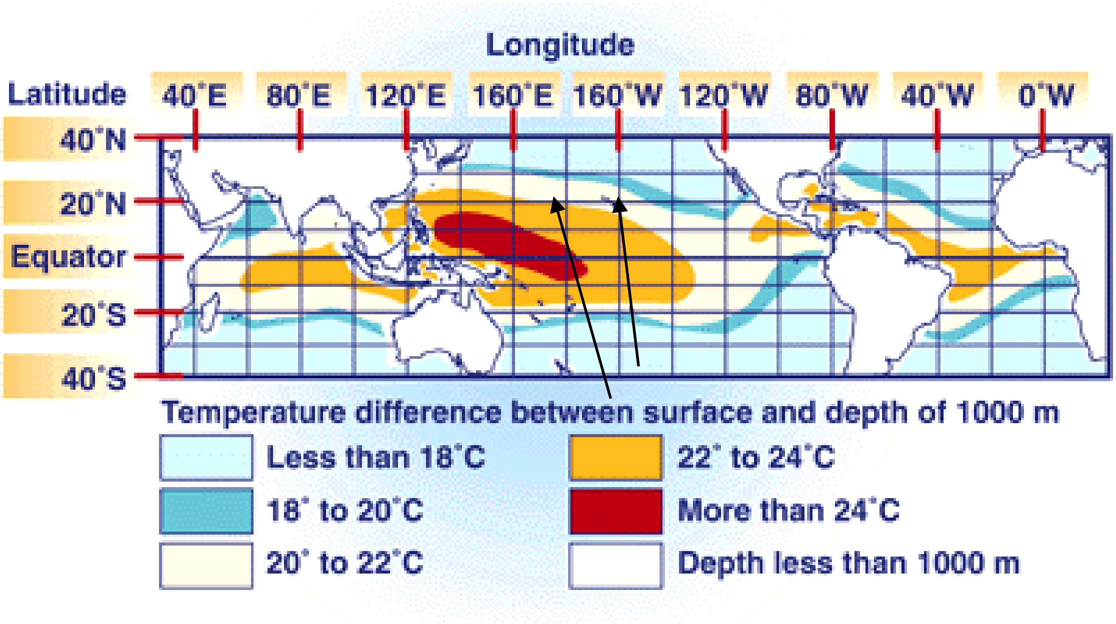
Από την άλλη μεριά υπάρχουν και ορισμένα προβλήματα-περιορισμοί στην ανάπτυξη αυτών των συστημάτων που αναπόφευκτα επηρεάζουν το τοπικό οικοσύστημα. Τέτοια προβλήματα είναι: η αύξηση του ύψους τους νερού μέσα στο φράγμα με το κίνδυνο να εκδηλωθούν πλημμύρες στην γύρω περιοχή, η παρεμπόδιση της ναυσιπλοΐας στον κόλπο και η αύξηση της θολερότητας του νερού και δημιουργίας «κόκκινης παλίρροιας» (αύξηση του μικροοργανισμού *Gonyalaux excavata*).

Λόγω του περιορισμένου αριθμού των εφαρμογών δεν είναι δυνατή η συναγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων σχετικά με τις επιπτώσεις στα θαλάσσια φυτά και ζώα μέσα στο φράγμα. Τέλος, αν και το παλιρροϊκό δυναμικό στον κόσμο είναι τεράστιο, πρακτικά ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παραχθεί μόνο σε περιοχές με εξαιρετικά υψηλές παλίρροιες.

13.4. Θερμική Ενέργεια των Ωκεανών

13.4.1. Εισαγωγή - πόροι

Η τεχνολογία της του Ωκεάνιου Θερμικού Κύκλου Μετατροπής (OTEC, Ocean Thermal Cycle Conversion) εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του θερμού επιφανειακού νερού κοντά στον ισημερινό (περίπου στους 25°C) και του ψυχρού νερού σε βάθος περίπου 1000 m (περίπου 5°C), η οποία ξεπερνά τους 20°C (βλ. Σχήμα 13.14). Η μέθοδος αποτελεί έμμεση ηλιακή ενέργεια, επειδή τα επιφανειακά νερά των τροπικών ωκεανών θερμαίνονται από την ηλιακή ακτινοβολία.



Σχήμα 13.14. *Περιοχές ωκεανών με σημαντική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ επιφανειακών και βαθιών νερών.*

Η ιδέα είναι αρκετά παλιά, προτάθηκε αρχικά το 1881 από τον Jacques D'Arsonval, αν και τέθηκε σε εφαρμογή το 1930 από τον μαθητή του Georges Claude, που ο κατασκεύασε μια μονάδα στο Mantazas Bay στην Κούβα, ισχύος 22 kWe (ΔT=14°C, βάθος 700 m). Η μονάδα αυτή ήταν οριακά επιτυχής, επειδή η περισσότερη παραγόμενη ενέργεια καταναλωνόταν για την άντληση των νερών.

Αν και η απόδοση της μεθόδου γενικά δεν υπερβαίνει το 2%, υπάρχουν τεράστιες διαθέσιμες ποσότητες νερού που μπορούν να αξιοποιηθούν. Η μέγιστη θεωρητική απόδοση της μεθόδου εκτιμάται σε

$$e=\left(1-\frac{273+5}{273+25}\right)=6\% \tag{13.4}$$

Η διαθέσιμη θερμική ενέργεια των τροπικών ωκεανών είναι τεράστια και ανέρχεται περίπου σε 10^7 MW.

13.3.2 Συστήματα Αξιοποίησης

Κύκλος Rankine (closed cycle OTEC)

Η αρχική ιδέα του D' Arsonval ήταν να χρησιμοποιηθεί ένα δευτερεύον υγρό με χαμηλό σημείο βρασμού, όπως η αμμωνία, το οποίο θα εξατμιζόταν με τη θερμότητα του επιφανειακού νερού. Η αέρια φάση του υγρού θα κινούσε το στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θα συμπυκνωνόταν σε ένα δεύτερο εναλλάκτη με το κρύο νερό πριν επαναχρησιμοποιηθεί.

Βεβαίως, τα τεχνολογικά προβλήματα της μεθόδου είναι τεράστια. Ένας σταθμός OTEC ισχύος 100 MW θα χρειάζεται την άντληση περισσότερων από 500 m^3/s θερμού και ψυχρού νερού.

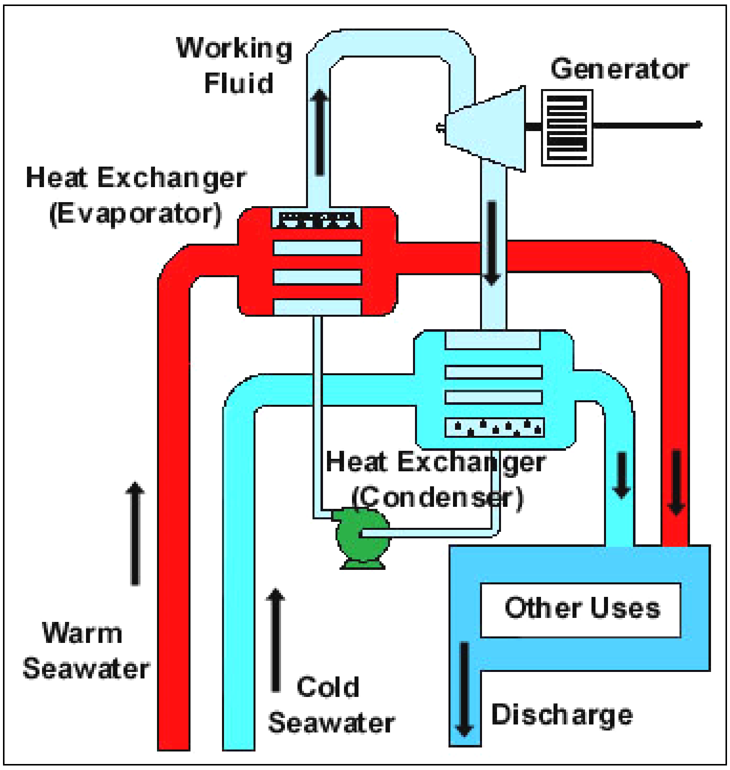
Το 1979 κατασκευάστηκε και λειτούργησε με επιτυχία μικρή μονάδα των 50 kW με κλειστό κύκλωμα NH_3. Ένα άλλο Mini-OTEC σύστημα λειτουργεί επιδεικτικά τα τελευταία 3-4 χρόνια (Σχήμα 13.15).

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του OTEC (σε σχέση με τις περισσότερες ΑΠΕ) είναι ότι είναι εκεί 24 ώρες, 365 μέρες το χρόνο, με τεράστιο δυναμικό. Άλλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μπορεί να βοηθήσει σειρά άλλων δραστηριοτήτων που έχουν σχέση με τους ωκεανούς, όπως απόληψη ορυκτών από το θαλασσινό νερό, ανάπτυξη ιχθυοκαλλιεργειών, ψύξη και κλιματισμό κ.ά. Ως μειονεκτήματα και περιορισμοί μπορούν να αναφερθούν η ανάγκη για μεγάλη επιφάνεια εναλλακτών, οι σημαντικές απώλειες του συστήματος και τα προβλήματα από τη διάβρωση και τις βιολογικές επικαθίσεις. Επιπλέον, είναι πιθανή η απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα σημαντικών ποσοτήτων CO_2, που βρίσκεται διαλυμένο στα ψυχρά νερά των ωκεανών.

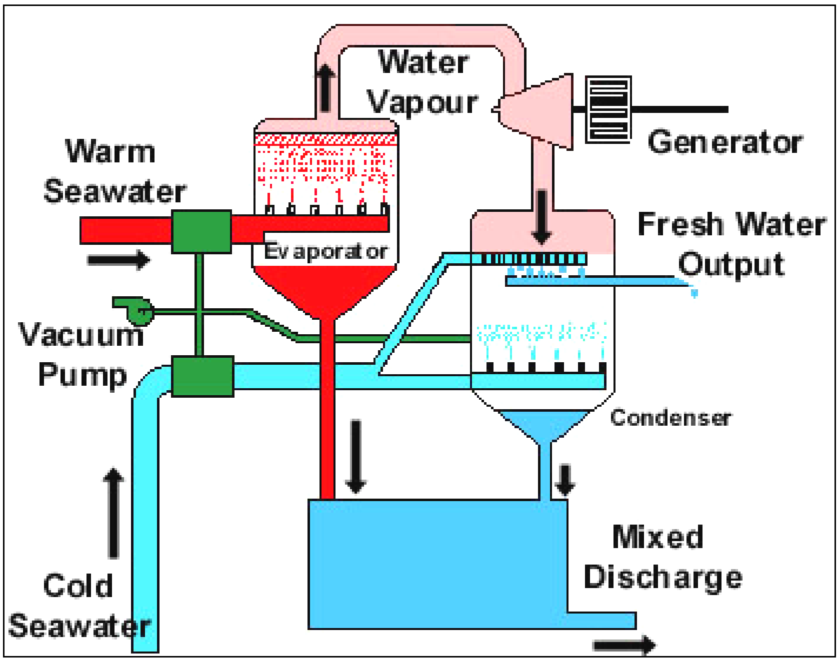
Ανοικτός κύκλος OTEC (κύκλος του Claude)

Χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τον Claude στην πρώτη προσπάθεια αξιοποίησης του νερού των ωκεανών. Ως δευτερογενές υγρό χρησιμοποιείται το ζεστό θαλασσινό νερό, το οποίο εξατμίζεται υπό μερικό κενό και ο ατμός οδηγείται στον ατμοστρόβιλο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα 13.16). Η συμπύκνωση του ατμού επιτυγχάνεται ακολούθως είτε με άμεση επαφή με το ψυχρό νερό, είτε μέσω εναλλάκτη, όπως και στο κλειστό κύκλο (παρόμοιο σύστημα με την αφαλάτωση θαλασσινού νερού).

Πιλοτική μονάδα 210 kW κατασκευάστηκε και λειτούργησε στο National Energy Laboratory Hawaii (NEHLA) από 1992 μέχρι το 1998, παράγοντας την μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας από οποιοδήποτε σύστημα OTEC. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα αυτού του κύκλου αυτού είναι δεν χρησιμοποιείται άλλο δευτερογενές ψυκτικό υγρό, που συνήθως τα υγρά αυτά είναι τοξικά. Μειονέκτημα της μεθόδου η ανάγκη για μεγάλο ατμοστρόβιλο.



Σχήμα 13.15. *Κλειστός Κύκλος OTEC (υπό διερεύνηση στη Χαβάη).*



Σχήμα 13.16. *Ανοικτός Κύκλος OTEC*

Πίνακας 13.1. *Κατάλογος με μονάδες στη ΕΕ-28 για της αγιοποίηση της ενέργειας από τη θάλασσα. (Πηγή: EurOberv'ER 2014).*

United Kingdom			
Limpet	0.5 MW	2000	Connected
Open Center Turbine	0.25 MW	2006	Connected
SeaGen	1.2 MW	2008	Connected
Pulse Stream 100	0.1 MW	2009	Connected
Oyster 2	0.8 MW	2009	Connected
EON Pelamis P2	0.75 MW	2010	Being tested
Scottish Power Pelamis P2	0.75 MW	2011	Being tested
Atlantis Resources Corporation AR1000	1 MW	2010	Being tested
Andritz Hydro Hammerfest	1 MW	2011	Being tested
Scotrenewables Tidal Power	0.25 MW	2011	Being tested
Voith Hydro	1 MW	2012	Being installed
Wello	0.6 MW	2012	Being tested
Neptune	0.5 MW	2011	Connected
DeepGen Alstom	1 MW	2013	Connected
Seatricity Oceanus	n. a.	2012	Being tested
Fred Olsen Bolt "Lifesaver"	n. a.	2012	Being tested
Bluewater	n. a.	2012	Being installed
Portugal			
OWC Pico	0.4 MW	1998	Connected
Pelamis	2.25 MW	2008	On hold
Waveroller	0.3 MW	2012	Being tested
France			
Barrage de La Rance	240 MW	1966	Connected
Hydro Gen 2	0.01 MW	2010	Being tested
Open Hydro Arcouest	0.5 MW	2013	Being tested
Spain			
Mutriku OWC – Voith Wavegen	0.3 MW	2011	Connected
Innpacto Wave	n. a.	2012	Being tested
Denmark			
Poseidon Floating Power Plant	0.14 MW	2008	Connected
Wave Star	0.039 MW	2009	Connected
Ireland			
OE Buoy	0.015 MW	2006	Being tested
Sweden			
Seabased	1 MW	2015	Being installed

n. a.: not available. **Source: EurObserv'ER 2014**