

GREENLIGHT:

Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Δικτύου
για τις Ανανεώσιμες Πηγές
Ενέργειας -
Κορυφαίες Προποβουλίες για ένα
Πράσινο & Αρμονικό Αύριο



**Εισαγωγή στην Ενέργεια και τη
Βιωσιμότητα**

Δεκέμβριος 2024

2023-2-TR01-KA220-SCH-000180691



Avrupa Birliği tarafından
finanse edilmektedir



GREENLIGHT: Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Δικτύου για τις Ανανεώσιμες
Πηγές Ενέργειας – Κορυφαίες Πρωτοβουλίες για ένα Πράσινο και Αρμονικό
Αύριο

2023-2-TR01-KA220-SCH-000180691

Εισαγωγή στην Ενέργεια και τη Βιωσιμότητα

Δεκέμβριος 2024

Το παρόν ηλεκτρονικό βιβλίο συντάχθηκε στο πλαίσιο του έργου Erasmus+ με τίτλο: «GREENLIGHT: Δημιουργία Δικτύου Εκπαίδευσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας – Ηγετικές Πρωτοβουλίες για ένα Πράσινο και Αρμονικό Αύριο» (2023-2-TR01-KA220-SCH-000180691)

Πνευματικά Δικαιώματα © 2024

Το παρόν ηλεκτρονικό βιβλίο αντανakλά τις απόψεις των συγγραφέων και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεν φέρει καμία ευθύνη για τις πληροφορίες που περιέχονται σε αυτό.

Εταίροι του Έργου



Universidade do Minho



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	Σελίδα
1- ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
2- ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	6
2.1. Ορισμός και Τύποι Ενέργειας	6
2.2. Μύθοι και Παρανοήσεις σχετικά με την Ενέργεια	6
2.3. Η Σχέση μεταξύ Ενέργειας και Περιβάλλοντος	7
2.4. Ενεργειακή Απόδοση και Βιωσιμότητα	12
2.5. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Προοπτικές για το Μέλλον	14
3- ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΠΟΡΟΙ	14
4- ΜΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΟΙ ΠΟΡΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΟΥΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	15
4.1. Πηγές Ενέργειας από Ορυκτά Καύσιμα	16
4.2. Πυρηνική Ενέργεια	16
4.3. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	17
4.4. Χρήση Μη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε Παγκόσμιο και Ευρωπαϊκό Επίπεδο	18
4.5. Χρήση Μη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Χώρες των Εταίρων	21
5- ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΟΙ ΠΟΡΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΟΥΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	24
5.1. Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε Παγκόσμιο Επίπεδο	25
5.2. Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ευρώπη	26
6- ΤΥΠΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	27
6.1. Ηλιακή Ενέργεια	27
6.2. Αιολική Ενέργεια	48
6.3. Υδροηλεκτρική Ενέργεια	58
6.4. Γεωθερμική Ενέργεια	67
6.5. Ενέργειες Θαλάσσιων και Ωκεάνιων Νερών	78
6.6. Ενέργεια Βιομάζας	88
6.7. Βιοκαύσιμα	94
6.8. Ενέργεια Υδρογόνου	110
7- Βιβλιογραφικές Αναφορές	120

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενέργεια είναι αναπόσπαστο μέρος της ανθρώπινης ζωής. Κάθε τι που κάνουμε στην καθημερινότητά μας, από τη φόρτιση των τηλεφώνων μας μέχρι την παραγωγή αγαθών σε εργοστάσια, εξαρτάται από την ενέργεια¹. Συνεπώς, η ενέργεια είναι ένας πόρος που πρέπει να είναι διαθέσιμος σε κάθε στιγμή της ζωής μας. Ιδιαίτερα με την έναρξη της Βιομηχανικής Επανάστασης, η ταχεία αύξηση του πληθυσμού, η ευρεία αστικοποίηση και η αύξηση των βιοτικών επιπέδων έχουν αυξήσει σημαντικά τη ζήτηση για ενέργεια.

Όταν εξετάζουμε την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας σήμερα, γίνεται σαφές ότι ένα μεγάλο ποσοστό της ενέργειας προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα. Τα ορυκτά καύσιμα, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, είναι ενεργειακοί πόροι που σχηματίστηκαν από τα απολιθωμένα υπολείμματα φυτών και ζώων που ζούσαν πριν από εκατομμύρια χρόνια. Ωστόσο, η χρήση αυτών των πόρων έχει προκαλέσει αρκετά σοβαρά προβλήματα. Το πρώτο είναι η εξάρτηση από την ενέργεια, ιδιαίτερα για χώρες που δεν διαθέτουν πόρους ορυκτών καυσίμων. Η εξάρτηση από άλλες χώρες για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μπορεί να δημιουργήσει τόσο οικονομικές όσο και πολιτικές προκλήσεις². Το δεύτερο πρόβλημα είναι η ταχεία εξάντληση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Αυτοί οι πόροι είναι μη ανανεώσιμοι, πράγμα που σημαίνει ότι μόλις καταναλωθούν, χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να αναπληρωθούν¹. Το τρίτο, και ίσως το πιο σημαντικό πρόβλημα, είναι η περιβαλλοντική καταστροφή που προκαλούν τα ορυκτά καύσιμα. Η χρήση αυτών των καυσίμων απελευθερώνει αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, συμβάλλοντας στην υπερθέρμανση του πλανήτη και, συνεπώς, στην κλιματική αλλαγή. Η τήξη των παγετώνων, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και οι ξηρασίες είναι μερικές από τις φυσικές καταστροφές που προκύπτουν από αυτές τις αλλαγές.³⁻¹,

Αυτές οι προκλήσεις έχουν οδηγήσει την ανθρωπότητα στην αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες είναι φιλικές προς το περιβάλλον και βιώσιμες, έχουν κερδίσει πρόσφατα ανανεωμένη προσοχή. Κοιτώντας πίσω στην ιστορία, πριν από τη Βιομηχανική Επανάσταση, η ενέργεια προερχόταν κυρίως από ανανεώσιμους πόρους όπως το ξύλο, ο άνεμος και το νερό. Ωστόσο, με τη Βιομηχανική Επανάσταση, τα ορυκτά καύσιμα όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο ήρθαν να κυριαρχήσουν στη χρήση ενέργειας για πολλά χρόνια. Αν και η Βιομηχανική Επανάσταση προσέφερε πολλές ευκολίες στην ανθρωπότητα, η εντατική χρήση των ορυκτών καυσίμων αύξησε σημαντικά τη ζημιά στο περιβάλλον.⁴.

Η ενεργειακή κρίση του 1973 έφερε ξανά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο προσκήνιο. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η ταχεία αύξηση των τιμών του πετρελαίου οδήγησε τις χώρες στην αναζήτηση νέων εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Ωστόσο, αυτό το ενδιαφέρον ήταν βραχύβιο και τελικά μειώθηκε. Καθώς η περιβαλλοντική ζημιά που προκλήθηκε από τα ορυκτά καύσιμα κλιμακώθηκε και διεθνείς συμφωνίες όπως το Πρωτόκολλο του Κιότο ανέδειξαν τη σοβαρότητα του ζητήματος, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας απέκτησαν ξανά σημασία⁵. Σήμερα, η ανανεώσιμη ενέργεια προτεραιοποιείται όλο και περισσότερο λόγω της φιλικής προς το περιβάλλον και βιώσιμης φύσης της.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν την αιολική, ηλιακή, υδροηλεκτρική, γεωθερμική και ενέργεια βιομάζας, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιούνται χωρίς να βλάπτουν το περιβάλλον και ανανεώνονται συνεχώς στη φύση. Αυτοί οι τύποι ενέργειας όχι μόνο βοηθούν στην προστασία του περιβάλλοντος, αλλά ενισχύουν επίσης την ενεργειακή

ασφάλεια. Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, οι εξελίξεις στην τεχνολογία έχουν καταστήσει τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πιο αποδοτικές. Οι ανεμογεννήτριες παράγουν τώρα περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια, τα ηλιακά πάνελ διαρκούν περισσότερο και τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μειώνουν τις διακοπές στην παροχή ενέργειας⁶.

Αυτό το βιβλίο αποσκοπεί στο να εξηγήσει τι είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, πώς παράγονται, τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται και τον αντίκτυπο αυτών των τύπων ενέργειας στο περιβάλλον μας. Η κατανόηση των ενεργειακών πόρων του μέλλοντος, η υπεύθυνη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας για έναν βιώσιμο κόσμο και η βελτίωση της ποιότητας ζωής μας, ενώ προστατεύουμε το περιβάλλον μας είναι ζωτικής σημασίας. Ιδιαίτερα για νέους ανθρώπους όπως εσείς, η ευαισθητοποίηση γύρω από αυτόν τον τομέα θα συμβάλει στη δημιουργία ενός καθαρότερου κόσμου τόσο σήμερα όσο και στο μέλλον.

2. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

2.1. Ορισμός και Τύποι Ενέργειας

Η ενέργεια προέρχεται από τις αρχαίες ελληνικές λέξεις «ενεργός» («εν») και «έργο» («έργον»), σημαίνοντας «μετατρέψιμο σε έργο»⁷. Κατά βάση, η ενέργεια αναφέρεται στην ικανότητα να εκτελείται έργο. Υπάρχει σε διάφορες μορφές, όπως χημική, φωτεινή, ορυκτών καυσίμων και ηλεκτρική ενέργεια, οι οποίες μπορούν να μετατραπούν η μία στην άλλη. Σύμφωνα με το Νόμο της Διατήρησης της Ενέργειας, η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί, αλλά μόνο να μετασχηματιστεί, διατηρώντας μια ισορροπία σε ένα κλειστό σύστημα⁸.

2.2. Μύθοι και Παρανοήσεις σχετικά με την Ενέργεια

Παρά τη συχνή της χρήση στην καθημερινή ζωή, η ενέργεια συχνά παρανοείται. Κοινές παρανοήσεις περιλαμβάνουν:

- Η ενέργεια μπορεί να «χαθεί» ή να «καταστραφεί».
- Η ενέργεια που έχει καταναλωθεί αλλάζει μη αναστρέψιμα.
- Η χημική ενέργεια μπορεί να «αποθηκευτεί απεριόριστα».

Ενέργεια ...

- Δεν είναι περιγραφή ενός μηχανισμού ή κάτι «συγκεκριμένο».
- Δεν είναι άμεσα παρατηρήσιμη.
- Δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα.



Αυτές οι παρανοήσεις προκύπτουν εν μέρει από ανεπαρκή εκπαίδευση. Οι μαθητές μπορεί να αντιλαμβάνονται λανθασμένα την ενέργεια ως ένα υλικό αντικείμενο ή να μην κατανοούν τη

αφηρημένη, φυσική της υπόσταση. Για παράδειγμα, η ενέργεια συχνά εξισώνεται λανθασμένα με μια ουσία που μοιάζει με καύσιμο και «χρησιμοποιείται». Για να αντισταθούμε σε αυτές τις παρανοήσεις, είναι σημαντικό να παρέχουμε σαφείς εξηγήσεις για τις αρχές της ενέργειας στα σχολεία και στο ευρύ κοινό.

Οι κυβερνήσεις παγκοσμίως δίνουν έμφαση στα συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας για να προχωρήσουν προς ένα μέλλον χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η αντίληψη του κοινού επηρεάζει σημαντικά αυτές τις προσπάθειες, με προκλήσεις όπως το σύνδρομο «NIMBY» (Όχι στην αυλή μου) και οι μύθοι σχετικά με το κόστος και την αξιοπιστία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η αντιμετώπιση αυτών των θεμάτων μέσω εκπαίδευσης και διαφανούς επικοινωνίας είναι κρίσιμη για την ενίσχυση της ενεργειακής συνείδησης⁹.

2.3. Η σχέση μεταξύ Ενέργειας και Περιβάλλοντος

Η ενέργεια και οι περιβαλλοντικές παράμετροι είναι στενά συνδεδεμένες. Ιστορικά, τα ορυκτά καύσιμα έχουν προωθήσει τη βιομηχανική ανάπτυξη, αλλά έχουν επίσης προκαλέσει σημαντικές περιβαλλοντικές προκλήσεις, όπως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η κλιματική αλλαγή και οι οικολογικές ανισορροπίες. Αυτά τα ζητήματα αναδεικνύουν την επείγουσα ανάγκη υιοθέτησης βιώσιμων πρακτικών ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, παρέχουν υποσχόμενες εναλλακτικές λύσεις, μειώνοντας τις επιβλαβείς εκπομπές και ενισχύοντας την οικολογική ισορροπία¹⁰.

Η κατανάλωση ενέργειας δεν είναι μόνο ένα τεχνικό ζήτημα, αλλά και μια κοινωνική και οικονομική ανησυχία. Επηρεάζεται από την αύξηση του πληθυσμού, τις τεχνολογικές εξελίξεις, τα ενεργειακά αποθέματα και την περιβαλλοντική συνείδηση¹¹.



Εικόνα 1: Η ενέργεια και οι μεταφορές είναι βασικοί συντελεστές της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης

Η παγκόσμια εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα για την ενέργεια έχει προκαλέσει σοβαρές περιβαλλοντικές και οικονομικές προκλήσεις. Η εξάντληση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων, η εξάρτηση από τις εισαγωγές ενέργειας και τα προβλήματα προσβασιμότητας υπογραμμίζουν την ανάγκη για μετάβαση. Επιπλέον, οι εκπομπές από τα ορυκτά καύσιμα οδηγούν στην αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και στην κλιματική αλλαγή, απειλώντας την ενεργειακή ασφάλεια και τη βιωσιμότητα¹².



Εικόνα 2: Οι βιομηχανικές δραστηριότητες προκαλούν ρύπανση που διαταράσσει την οικολογική ισορροπία

Η βιωσιμότητα, όπως ορίζεται στην Έκθεση Brundtland του 1987 των Ηνωμένων Εθνών¹³, αναφέρεται στην ικανοποίηση των τρεχουσών αναγκών χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες. Η επίτευξη αυτής της ισορροπίας απαιτεί την προτεραιοποίηση των ενεργειακών πόρων που ελαχιστοποιούν τη ζημιά στο περιβάλλον. Για να ευθυγραμμιστεί η παραγωγή ενέργειας με τις αρχές της βιωσιμότητας, υποστηρίζοντας ταυτόχρονα την οικονομική ανάπτυξη και προστατεύοντας το περιβάλλον, τα κύρια μέτρα περιλαμβάνουν¹⁴:

Μείωση της κατανάλωσης ενεργειακών πόρων,
Ενθάρρυνση και εφαρμογή εξοικονόμησης
ενέργειας,
Αύξηση της ενεργειακής απόδοσης με καινοτόμες
τεχνολογίες και πολιτικές.

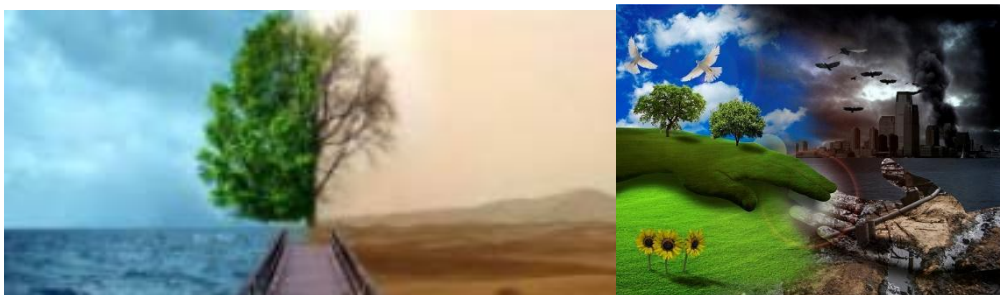


Με την αντιμετώπιση αυτών των παραμέτρων, θα είναι δυνατό να ευθυγραμμιστεί η παραγωγή ενέργειας με τις αρχές της βιωσιμότητας και να εξασφαλιστεί τόσο η οικονομική ανάπτυξη όσο και η προστασία του περιβάλλοντος.



Εικόνα 3: Οι αλλαγές στη χρήση της ενέργειας έχουν διαμορφώσει τόσο την κοινωνία όσο και τη φύση.

Η ενέργεια είναι απαραίτητη σε κάθε πτυχή της σύγχρονης ζωής, από τις καθημερινές δραστηριότητες έως τη βιομηχανική παραγωγή. Καθώς οι κοινωνίες αναπτύσσονται και εξελίσσονται, η παραγωγή ενέργειας, η βιωσιμότητα και η οικονομική ανάπτυξη αποτελούν έναν κρίσιμο άξονα που διαμορφώνει την παγκόσμια πρόοδο. Αν και η ενέργεια είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη, η ανεξέλεγκτη παραγωγή και κατανάλωσή της έχει διαταράξει τις οικολογικές ισορροπίες και έχει δημιουργήσει παγκόσμιες προκλήσεις. Η αυξανόμενη ορατότητα των περιβαλλοντικών προβλημάτων, ως αποτέλεσμα της ταχείας εκβιομηχάνισης και αστικοποίησης, υπογραμμίζει την ανάγκη για βιώσιμες ενεργειακές λύσεις¹⁵.



Εικόνα 4: Ένα βιώσιμο μέλλον απαιτεί αρμονία μεταξύ ενέργειας και φύσης.

Τα περιβαλλοντικά ζητήματα έχουν καταστεί πιο έντονα από τα μέσα του 20ού αιώνα, λόγω της αύξησης του πληθυσμού, της ταχείας αστικοποίησης και των βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Αυτές οι αλλαγές έχουν εντείνει τη ρύπανση του αέρα, του νερού και του εδάφους, απειλώντας την οικολογική υγεία και σταθερότητα. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί ολοκληρωμένες προσεγγίσεις που να εξισορροπούν τις ενεργειακές ανάγκες με την προστασία του περιβάλλοντος. Πολιτικές που προωθούν την υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης προσφέρουν βιώσιμες λύσεις, ευθυγραμμισμένες με τον διττό στόχο της βιωσιμότητας και της οικονομικής ανάπτυξης¹⁶.

2.3.1 Κλιματική Αλλαγή και Ανθρακικό Αποτύπωμα

Η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι αποτέλεσμα του φαινομένου του θερμοκηπίου, κατά το οποίο αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο παγιδεύουν θερμότητα στην ατμόσφαιρα της Γης. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες και ιδιαίτερα η παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας, συμβάλλουν σημαντικά σε αυτό το φαινόμενο. Τα κύρια αέρια του θερμοκηπίου περιλαμβάνουν¹⁷:

- **Διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂):** Εκπέμπεται από την καύση ορυκτών καυσίμων.
- **Μεθάνιο (CH₄):** Παράγεται από τη γεωργία και τη διαχείριση αποβλήτων.
- **Οξείδια του Αζώτου (N₂O):** Εκλύονται κατά τη διάρκεια βιομηχανικών διεργασιών.
- **Φθοριούχα Αέρια:** Σχετίζονται με τα συστήματα ψύξης.

Ακόμη και μικρές μεταβολές στις συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου μπορούν να διαταράξουν τα κλιματικά συστήματα, οδηγώντας σε αύξηση των θερμοκρασιών, τήξη των παγετώνων και άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Ο μετριασμός της κλιματικής αλλαγής απαιτεί τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέσω:

- Υιοθέτησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης
- Προώθησης ενεργειακά αποδοτικών πρακτικών



Εικόνα 5: Η μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος μέσω των δημόσιων συγκοινωνιών, της ενεργειακής απόδοσης και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι καθοριστικής σημασίας για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

Επιπλέον, η ελαχιστοποίηση του ανθρακικού αποτυπώματος—δηλαδή του συνολικού όγκου αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται από ατομικές ή συλλογικές δραστηριότητες—είναι ζωτικής σημασίας. Πρακτικές στρατηγικές περιλαμβάνουν ¹⁸:

- Χρήση δημόσιων συγκοινωνιών
- Επιλογή ενεργειακά αποδοτικών συσκευών

2.3.2. Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα στις περιοχές της ατμόσφαιρας κοντά στην επιφάνεια της Γης, λόγω φυσικών διαδικασιών ή ανθρώπινων δραστηριοτήτων¹⁹.

Ενώ μερικές από τις ακτίνες που προέρχονται από τον ήλιο ανακλώνται πίσω από την ατμόσφαιρα, ένα μεγάλο μέρος τους απορροφάται από τη Γη και επανεκπέμπεται στην ατμόσφαιρα ως ακτίνες μεγάλης μήκους κύματος. Τα αέρια στην ατμόσφαιρα μεταδίδουν τις ηλιακές ακτίνες με διαφορετικούς ρυθμούς, ανάλογα με τις ιδιότητές τους. Η αύξηση της πυκνότητας αυτών των αερίων προκαλεί άνοδο της θερμοκρασίας σε περιοχές κοντά στην επιφάνεια της Γης. Αυτό το φαινόμενο θέρμανσης στην ατμόσφαιρα ονομάζεται «φαινόμενο του θερμοκηπίου»²⁰. Η αύξηση της ποσότητας των αερίων στην ατμόσφαιρα, ιδιαίτερα η συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες, οδηγεί σε σημαντικές αλλαγές στην οικολογική ισορροπία. Αυτή η κατάσταση είναι ένας από τους κύριους λόγους για τις περιβαλλοντικές ανισορροπίες που ορίζονται ως κλιματική αλλαγή.

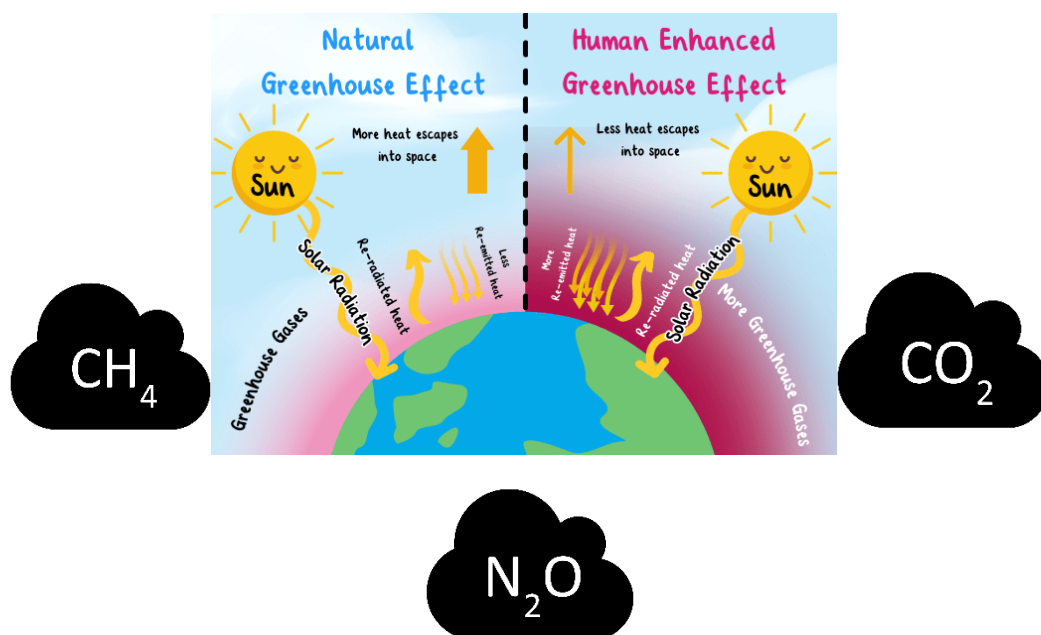
2.3.3. Ο Ρόλος των Ανθρωπογενών Αερίων του Θερμοκηπίου και της Κατανάλωσης Ενέργειας

Ένας από τους κύριους λόγους για το ανθρωπογενές φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ότι οι μέθοδοι παραγωγής ενέργειας και οι ποσότητες κατανάλωσης ξεπερνούν την ικανότητα αυτοανάπτυξης της φύσης. Η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας οδηγεί σε πιο εντατική χρήση ορυκτών καυσίμων, αυξάνοντας την ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα²¹. Τα αέρια του θερμοκηπίου δεν εμποδίζουν τις ακτίνες του ήλιου να εισέλθουν στη Γη, αλλά απορροφούν κάποιες από τις ακτίνες μεγάλης μήκους κύματος που ανακλώνται από τη Γη και τις ανακλούν πίσω στη Γη. Αυτό προκαλεί τη θέρμανση της ατμόσφαιρας. Τα κύρια αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι:

- **Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2):** Καύση ορυκτών καυσίμων, βιομηχανικές δραστηριότητες και αποδάσωση.
- **Μεθάνιο (CH_4):** Γεωργικές δραστηριότητες, κτηνοτροφία και διαχείριση αποβλήτων.
- **Οξείδια του Αζώτου (N_2O):** Χρήση λιπασμάτων και διάφορες βιομηχανικές διαδικασίες.
- **Φθοριούχα αέρια:** Βιομηχανικές διαδικασίες και συστήματα ψύξης.



Εικόνα 6: Οι βιομηχανικές εκπομπές είναι μια σημαντική πηγή αερίων του θερμοκηπίου.

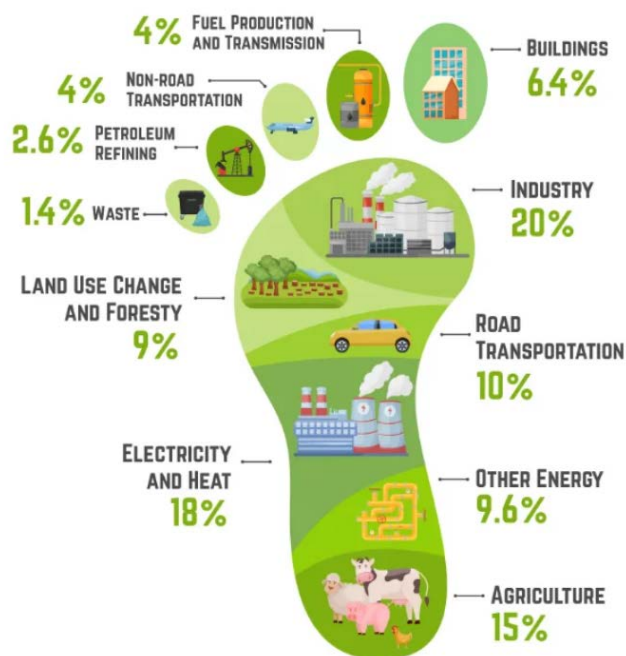


Εικόνα 7: Οι ανθρώπινες δραστηριότητες εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και παγιδεύουν περισσότερη θερμότητα.

Η αύξηση του ρυθμού των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα προκαλεί άνοδο της μέσης θερμοκρασίας, δηλαδή της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Αυτή η κατάσταση οδηγεί σε αλυσιδωτά αποτελέσματα στο κλιματικό σύστημα. Ως φυσικό αποτέλεσμα της υπερθέρμανσης του πλανήτη, οι παγετώνες σε υψηλά βουνά και στους πόλους λιώνουν γρήγορα, προκαλώντας άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Λόγω των αυξανόμενων θερμοκρασιών, πολλά ζωντανά είδη χάνουν τους βιότοπούς τους και η οικολογική ισορροπία διαταράσσεται. Καθώς οι θάλασσες θερμαίνονται, το διοξείδιο του άνθρακα που διαλύεται στο νερό απελευθερώνεται και αναμειγνύεται με την ατμόσφαιρα. Αυτό εντείνει περαιτέρω το φαινόμενο του θερμοκηπίου και δημιουργεί έναν φαύλο κύκλο. Η κλιματική αλλαγή που προκαλείται από την υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να δημιουργήσει εξαιρετικά δύσκολες συνθήκες διαβίωσης για την ανθρωπότητα και τα άλλα ζωντανά όντα. Η γενική άποψη των κλιματολόγων είναι ότι αυτές οι αλλαγές μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλες περιβαλλοντικές καταστροφές²². Τα προβλήματα που θα προκύψουν, ιδιαίτερα σε κρίσιμους τομείς όπως η γεωργία, οι υδάτινοι πόροι και η προμήθεια ενέργειας, απειλούν τη βιώσιμη ζωή. Ο έλεγχος της αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου, η ενθάρρυνση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας είναι σημαντικά για τον περιορισμό των επιπτώσεων της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Η "ανθρωπογενής αποτύπωση άνθρακα" αναφέρεται στη συνολική ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και άλλων αερίων του θερμοκηπίου που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα των δραστηριοτήτων ενός ατόμου, κοινότητας ή οργανισμού. Αυτός ο όρος περιλαμβάνει τις εκπομπές από την κατανάλωση ενέργειας, τις συνήθειες μετακίνησης, τα καταναλωμένα προϊόντα και τις διαδικασίες παραγωγής. Για παράδειγμα, όταν ένα άτομο μετακινείται με το όχημά του, ταξιδεύει με αεροπλάνο ή χρησιμοποιεί ηλεκτρικές συσκευές, απελευθερώνει άμεσα διοξείδιο του άνθρακα. Επιπλέον, η παραγωγή τροφίμων και άλλων προϊόντων που καταναλώνουμε μπορεί επίσης να αυξήσει την ανθρωπογενή αποτύπωση άνθρακα, διότι οι διαδικασίες παραγωγής συνήθως απαιτούν ενέργεια και απελευθερώνονται αέρια του θερμοκηπίου σε αυτές τις διαδικασίες. Για να μειώσουμε την ανθρωπογενή

αποτύπωση άνθρακα, να ελαχιστοποιήσουμε τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και να επιβραδύνουμε την υπερθέρμανση του πλανήτη, είναι εξαιρετικής σημασίας να εξοικονομήσουμε ενέργεια, να στραφούμε σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και να αναπτύξουμε πιο βιώσιμες συνήθειες κατανάλωσης.



Εικόνα 8: Οι καθημερινές μας επιλογές διαμορφώνουν το μέγεθος της ανθρωπογενούς αποτύπωσης άνθρακα²³.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μία από τις πιο αποτελεσματικές λύσεις για τη μείωση της ανθρωπογενούς αποτύπωσης άνθρακα²⁴. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που προέρχονται από φυσικές πηγές όπως ο ήλιος, ο άνεμος, το νερό και η γεωθερμία έχουν πολύ χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα. Όταν χρησιμοποιούνται αυτές οι πηγές, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και οι άλλες ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται με πιο φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο, καθώς αποφεύγεται η απελευθέρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσφέρουν μια πιο βιώσιμη ενεργειακή επιλογή σε βάθος χρόνου, καθώς είναι ανεξάντλητες και δεν βλάπτουν το περιβάλλον. Επιπλέον, τα συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας επιτρέπουν την παραγωγή ενέργειας σε τοπικό επίπεδο, μειώνοντας έτσι τις απώλειες ενέργειας κατά τη μεταφορά και τη μετάδοση. Η στροφή στην ανανεώσιμη ενέργεια δεν περιορίζει μόνο την ανθρωπογενή αποτύπωση άνθρακα, αλλά ελαχιστοποιεί και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, εξασφαλίζοντας τα μελλοντικά ενεργειακά μας αποθέματα. Συνεπώς, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ένα από τα πιο σημαντικά βήματα που πρέπει να γίνει στον αγώνα κατά της υπερθέρμανσης του πλανήτη και για ένα βιώσιμο μέλλον²⁵.

2.4. Ενεργειακή Απόδοση και Βιωσιμότητα

Η ενεργειακή απόδοση αναφέρεται στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας ανά μονάδα παραγόμενου έργου, χωρίς να θίγεται η απόδοση. Η προσέγγιση αυτή βελτιστοποιεί τη χρήση της ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα στηρίζει τη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος. Τα βασικά οφέλη περιλαμβάνουν:

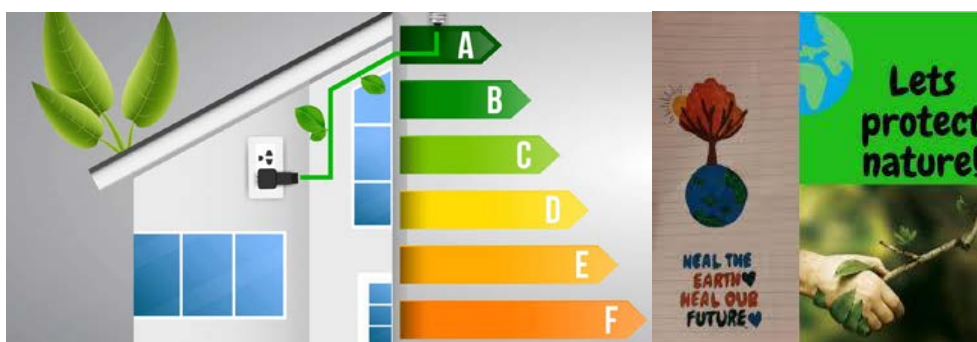
- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
- Μειωμένο ενεργειακό κόστος για τα νοικοκυριά και τη βιομηχανία
- Ενίσχυση της εθνικής ενεργειακής ασφάλειας



Εικόνα 9: Η ενεργειακή ανεπάρκεια και η κλιματική αλλαγή απειλούν τόσο τον άνθρωπο όσο και τη φύση.

Η ενεργειακή αποδοτικότητα αποτελεί προσέγγιση που στοχεύει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας ανά μονάδα προϊόντος ή υπηρεσίας σε όλους τους τομείς, όπως η βιομηχανία, οι μεταφορές, η γεωργία και η κατοικία, χωρίς καμία μείωση στην ποσότητα και την ποιότητα της παραγωγής. Η προσέγγιση αυτή όχι μόνο βελτιστοποιεί τη χρήση της ενέργειας, αλλά και στηρίζει τη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος, προσφέροντας σημαντική συμβολή στην προστασία των φυσικών πόρων.

Οι εφαρμογές ενεργειακής αποδοτικότητας μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου περιορίζοντας την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, αποτελώντας έτσι ένα αποτελεσματικό εργαλείο στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Παράλληλα, ενισχύουν την οικονομία των νοικοκυριών μειώνοντας το ενεργειακό κόστος των πολιτών, ενώ αυξάνουν την ενεργειακή ασφάλεια της χώρας μέσω της μείωσης των εισαγωγών ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση του ελλείμματος τρεχουσών συναλλαγών. Επιπλέον, η ενεργειακή αποδοτικότητα ενθαρρύνει την τεχνολογική καινοτομία και τις διαδικασίες εκσυγχρονισμού. Για παράδειγμα, η αντικατάσταση παλαιού εξοπλισμού με αποδοτικότερες και φιλικότερες προς το περιβάλλον τεχνολογίες που καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια, όχι μόνο βελτιώνει τις παραγωγικές διαδικασίες, αλλά διευκολύνει και την επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης²⁶. Ως εκ τούτου, η ενεργειακή απόδοση θα πρέπει να θεωρείται ως ένα από τα βασικά στοιχεία των αναπτυξιακών πολιτικών, καθώς προσφέρει περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη.



Εικόνα 10: Η ενεργειακή απόδοση και η προστασία της φύσης αποτελούν κλειδιά για ένα βιώσιμο μέλλον.

2.5. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Μελλοντικές Προοπτικές

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική, η υδροηλεκτρική και η γεωθερμική ενέργεια, αποτελούν τη θεμελιώδη βάση των βιώσιμων ενεργειακών πολιτικών. Οι πηγές αυτές προσφέρουν ποικίλα οφέλη:

- **Περιβαλλοντικά Πλεονεκτήματα:** Ελάχιστες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
- **Ανεξάντλητος Χαρακτήρας:** Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, οι ανανεώσιμες πηγές δεν εξαντλούνται με τη χρήση.
- **Τοπική Παραγωγή Ενέργειας:** Μειώνονται οι απώλειες κατά τη μεταφορά της ενέργειας.

Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις, όπως η διακοπτόμενη παραγωγή ενέργειας από την ηλιακή και αιολική ενέργεια, καθώς και το υψηλό αρχικό κόστος των υποδομών. Παρά τις δυσκολίες, οι τεχνολογικές εξελίξεις στην αποθήκευση ενέργειας και οι ευνοϊκές πολιτικές καθιστούν τις ανανεώσιμες πηγές όλο και πιο βιώσιμες και εφικτές λύσεις για το μέλλον²⁷.

Το μέλλον της ενέργειας βασίζεται στη μετάβαση από την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα σε ένα σύστημα που επικεντρώνεται στις ανανεώσιμες πηγές. Μέσω της υιοθέτησης καινοτόμων τεχνολογιών, της ενίσχυσης της συμμετοχής της κοινωνίας και της εφαρμογής αποτελεσματικών πολιτικών, οι κοινωνίες μπορούν να εξασφαλίσουν ένα βιώσιμο ενεργειακό μέλλον για τις επόμενες γενιές.

3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΙ ΠΟΡΟΙ

Οι πηγές ενέργειας μπορούν να καταταγούν ευρέως σε **μη ανανεώσιμες** και **ανανεώσιμες**, με βάση τη διαθεσιμότητά τους, τη χρήση τους και τις δυνατότητες αναγέννησής τους. Η κατανόηση των χαρακτηριστικών αυτών των πόρων είναι κρίσιμη για την αντιμετώπιση των τρεχουσών και μελλοντικών ενεργειακών αναγκών με βιώσιμο τρόπο.

Οι **μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας** είναι εκείνες που δεν μπορούν να ανανεωθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα και καταναλώνονται ταχύτερα από ό,τι μπορούν να αναγεννηθούν. Αυτές οι πηγές είναι πεπερασμένες και τελικά θα εξαντληθούν. Η μη ανανεώσιμη ενέργεια χωρίζεται κυρίως σε δύο κατηγορίες:

- **Ορυκτά Καύσιμα:** Αυτά περιλαμβάνουν τον άνθρακα, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο, τα οποία σχηματίζονται από τα απομεινάρια αρχαίων φυτών και ζώων κατά τη διάρκεια εκατομμυρίων ετών. Παρά την αφθονία και τη διάδοση της χρήσης τους, τα ορυκτά καύσιμα καταναλώνονται με ρυθμό που υπερβαίνει κατά πολύ τη φυσική διαδικασία αναγέννησής τους.
- **Πυρηνική Ενέργεια:** Παράγεται από το ουράνιο ή άλλα ραδιολογικά στοιχεία. Παρά το γεγονός ότι η πυρηνική ενέργεια δεν παράγει αέρια του θερμοκηπίου κατά την παραγωγή ενέργειας, τα πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι περιορισμένες και μη ανανεώσιμες.

Η κατανάλωση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προκαλεί προκλήσεις λόγω της πεπερασμένης φύσης τους, του περιβαλλοντικού τους αντίκτυπου και του χρόνου που απαιτείται για τον σχηματισμό τους, ο οποίος εκτείνεται σε εκατομμύρια χρόνια.

Οι **ανανεώσιμες πηγές ενέργειας** είναι πόροι που ανανεώνονται φυσικά σε σύντομες χρονικές περιόδους μέσω συνεχών φυσικών διαδικασιών. Αυτοί οι πόροι θεωρούνται ανεξάντλητοι επειδή ανανεώνονται συνεχώς από τους φυσικούς κύκλους της Γης.

Οι κύριες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν²⁸:

- **Ηλιακή Ενέργεια:** Ενέργεια που αντλείται από το ηλιακό φως χρησιμοποιώντας ηλιακά πάνελ.
- **Αιολική Ενέργεια:** Ενέργεια που παράγεται από τον άνεμο μέσω ανεμογεννητριών.
- **Υδροηλεκτρική Ενέργεια:** Ενέργεια που προέρχεται από τη κίνηση του νερού σε ποτάμια ή φράγματα.
- **Βιομάζα:** Οργανικό υλικό, όπως φυτικά και ζωικά απόβλητα, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας.
- **Γεωθερμική Ενέργεια:** Ενέργεια θερμότητας που εξάγεται από το εσωτερικό της Γης.
- **Θαλάσσια Ενέργεια:** Ενέργεια που προέρχεται από παλίρροιες, κύματα και θαλάσσια ρεύματα.

Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα και την πυρηνική ενέργεια, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι φιλικές προς το περιβάλλον και βιώσιμες. Δεν αντιμετωπίζουν τα ίδια προβλήματα εξάντλησης, καθώς η διαθεσιμότητά τους ανανεώνεται συνεχώς μέσα από φυσικούς κύκλους. Η ανανεώσιμη ενέργεια έχει καταστεί κρίσιμος τομέας εστίασης λόγω της δυνατότητάς της να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, να καταπολεμήσει την κλιματική αλλαγή και να εξασφαλίσει ένα βιώσιμο ενεργειακό μέλλον.



Εικόνα 11: Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι περιορισμένες και έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

4. ΜΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΟΥΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι εκείνες που δεν μπορούν να ανανεωθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα και καταναλώνονται πολύ γρηγορότερα από ό,τι μπορούν να αναγεννηθούν. Αυτές οι πηγές είναι πεπερασμένες και τελικά θα εξαντληθούν, καθιστώντας τη βιώσιμη διαχείρισή τους μια κρίσιμη πρόκληση. Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνουν κυρίως **τα ορυκτά καύσιμα**, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, καθώς και **την πυρηνική ενέργεια** που παράγεται από ραδιοδραστικά υλικά όπως το ουράνιο και το θόριο²⁹.

4.1. Πηγές Ενέργειας Ορυκτών Καυσίμων

Τα ορυκτά καύσιμα: είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον κόσμο. Δημιουργούνται από τα απομεινάρια φυτών και ζώων που ζούσαν εκατομμύρια χρόνια πριν και θάφτηκαν κάτω από στρώματα εδάφους και βράχων. Με την πάροδο του

χρόνου, η θερμότητα και η πίεση μετέτρεψαν αυτά τα απομεινάρια σε άνθρακα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο³⁰. Τα ορυκτά καύσιμα χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία οχημάτων, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τη λειτουργία εργοστασίων.

Κάρβουνο: Το κάρβουνο είναι ένα στερεό μαύρο ή καστανό υλικό που αποτελείται κυρίως από άνθρακα. Είναι το παλαιότερο ορυκτό καύσιμο και χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες για την παραγωγή θερμότητας και ενέργειας. Ο άνθρακας εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα, κυρίως σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η καύση του άνθρακα απελευθερώνει επιβλαβή αέρια στην ατμόσφαιρα, συμβάλλοντας στη ρύπανση του αέρα και στην κλιματική αλλαγή³¹.



Σχήμα 12: Ο άνθρακας, ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο ορυκτό καύσιμο, διαφέρει ως προς την περιεκτικότητα σε ενέργεια και συμβάλλει στη ρύπανση του αέρα.

Το πετρέλαιο (Αργό πετρέλαιο): Το πετρέλαιο είναι ένα υγρό ορυκτό καύσιμο που βρίσκεται σε υπόγειους ταμιευτήρες. Χρησιμοποιείται για την παραγωγή προϊόντων όπως βενζίνη, ντίζελ και καύσιμο αεροπλάνων, τα οποία κινούν οχήματα και αεροπλάνα. Το πετρέλαιο χρησιμοποιείται επίσης για την παραγωγή προϊόντων όπως πλαστικό, ασφάλτου και χημικών. Παρά την χρησιμότητά του, η εξόρυξη και η μεταφορά του πετρελαίου μπορεί να προκαλέσουν περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως οι διαρροές πετρελαίου, που βλάπτουν την άγρια ζωή και τα οικοσυστήματα³².

Φυσικό Αέριο: Το φυσικό αέριο είναι ένα καθαρό καύσιμο που καίγεται κυρίως από μεθάνιο. Χρησιμοποιείται για το μαγείρεμα, τη θέρμανση των σπιτιών και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Καίγεται πιο καθαρά από το κάρβουνο και το πετρέλαιο, παράγοντας λιγότερη ρύπανση. Ωστόσο, το φυσικό αέριο μπορεί να διαρρεύσει κατά τη μεταφορά του και δεδομένου ότι το μεθάνιο είναι ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου, ακόμα και μικρές διαρροές μπορούν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον³³.

4.2. Πυρηνική Ενέργεια

Η πυρηνική ενέργεια παράγεται από ραδιενεργά υλικά όπως το ουράνιο και το θόριο. Δημιουργείται όταν τα άτομα διασπώνται (διαδικασία που ονομάζεται διάσπαση) ή συγχωνεύονται (διαδικασία που ονομάζεται σύντηξη) για να απελευθερώσουν μια μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Αυτή η ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε πυρηνικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Οι πυρηνικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας δεν παράγουν αέρια του θερμοκηπίου, καθιστώντας τους πιο καθαρούς από τα ορυκτά καύσιμα όσον αφορά τη ρύπανση του αέρα³⁴.

Ωστόσο, η πυρηνική ενέργεια έχει τις προκλήσεις της. Τα απόβλητα που παράγονται από τους πυρηνικούς σταθμούς παραμένουν ραδιενεργά για χιλιάδες χρόνια και πρέπει να αποθηκεύονται προσεκτικά για να αποφευχθεί η ζημιά στο περιβάλλον ή στην ανθρώπινη υγεία. Επίσης, αν κάτι πάει στραβά σε έναν πυρηνικό σταθμό παραγωγής ενέργειας, μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά ατυχήματα που επηρεάζουν τόσο τους ανθρώπους όσο και τη φύση³⁵.

4.3. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ήταν ο κύριος τρόπος παραγωγής ενέργειας για μεγάλο χρονικό διάστημα, καθώς είναι αξιόπιστες και μπορούν να παράγουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Ωστόσο, έχουν και κάποια σημαντικά μειονεκτήματα:

Ρύπανση του αέρα: Η καύση των ορυκτών καυσίμων απελευθερώνει επιβλαβή ρύπους, όπως σωματίδια, διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου. Αυτοί οι ρύποι συμβάλλουν σε αναπνευστικές και καρδιαγγειακές ασθένειες, μειώνουν την ποιότητα του αέρα και προκαλούν φαινόμενα όπως όξινη βροχή και νέφος³⁶.

Ρύπανση του νερού: Οι διαρροές πετρελαίου είναι από τις πιο εμφανείς περιβαλλοντικές καταστροφές που προκαλούνται από τη χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτές οι διαρροές καταστρέφουν τα θαλάσσια οικοσυστήματα, σκοτώνουν άγρια ζώα και καταστρέφουν τους βιότοπους. Επιπλέον, τα απορρίμματα από την εξόρυξη άνθρακα και τις δραστηριότητες υδραυλικής ρωγμάτωσης (fracking) συχνά μολύνουν ποτάμια, λίμνες και υπόγεια νερά με τοξικές ουσίες³⁷.

Υποβάθμιση του εδάφους: Η εξόρυξη άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου συχνά περιλαμβάνει δραστηριότητες που απαιτούν εκτεταμένη χρήση γης, όπως η εκσκαφή ανοιχτών ορυχείων και η γεώτρηση. Αυτές οι διαδικασίες καταστρέφουν τους βιότοπους, οδηγούν σε αποδάσωση και προκαλούν διάβρωση του εδάφους, αφήνοντας τη γη τραυματισμένη και λιγότερο παραγωγική για μελλοντική χρήση³⁸.

Κλιματική Αλλαγή: Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την καύση ορυκτών καυσίμων είναι ο κύριος παράγοντας που οδηγεί στη θέρμανση του πλανήτη. Η άνοδος των θερμοκρασιών οδηγεί σε λιώσιμο των πολικών παγετώνων, αύξηση της στάθμης της θάλασσας, ακραία καιρικά φαινόμενα και αλλαγές στα οικοσυστήματα που απειλούν τη βιοποικιλότητα και τα ανθρώπινα μέσα διαβίωσης²⁰.

Ραδιοενεργά Απόβλητα: Η πυρηνική ενέργεια παράγει ραδιοενεργά απόβλητα που παραμένουν επικίνδυνα για χιλιάδες χρόνια. Η ασφαλής διάθεση απαιτεί εξαιρετικά ασφαλείς εγκαταστάσεις και μακροχρόνια παρακολούθηση για να αποτραπούν διαρροές στο περιβάλλον. Η κακή διαχείριση των ραδιοενεργών αποβλήτων μπορεί να οδηγήσει σε μόλυνση του εδάφους και του νερού, θέτοντας σε κίνδυνο την ανθρώπινη και οικολογική υγεία³⁹.

Γιατί Χρειαζόμαστε Εναλλακτικές Λύσεις: Τα προβλήματα με τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν ενθαρρύνει τους ανθρώπους να αναζητήσουν καλύτερες λύσεις. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια, είναι πιο καθαρές και δεν θα εξαντληθούν. Η μετάβαση σε αυτές τις πηγές ενέργειας μπορεί να βοηθήσει στην προστασία του πλανήτη για τις μελλοντικές γενιές¹¹.

4.4. Η Χρήση Μη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε Παγκόσμιο και Ευρωπαϊκό Επίπεδο.

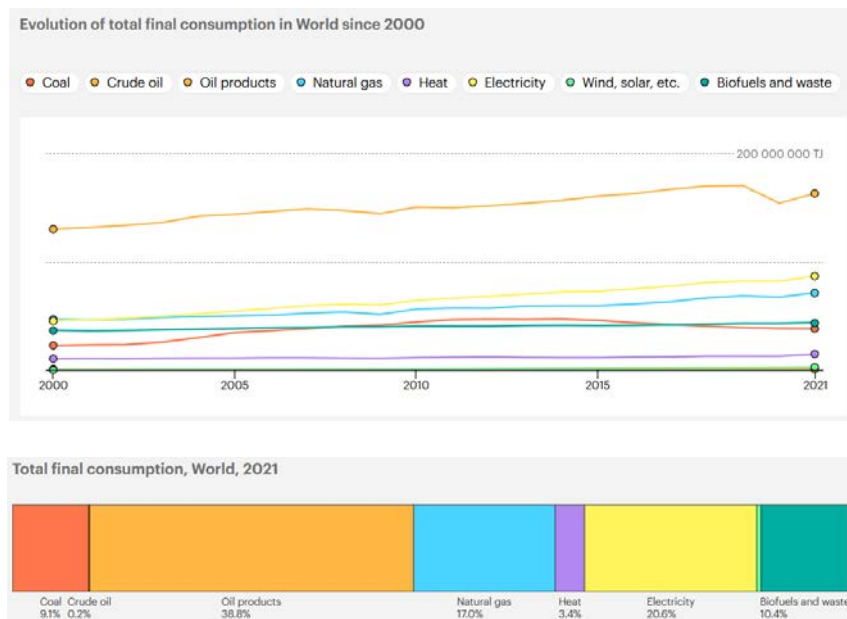
Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παραμένουν ο πυλώνας των παγκόσμιων συστημάτων ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας ένα σημαντικό ποσοστό της κατανάλωσης ενέργειας παγκοσμίως. Παρά την αυξανόμενη ευαισθητοποίηση για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και την πυρηνική ενέργεια παραμένει λόγω της ενεργειακής τους πυκνότητας, της αξιοπιστίας τους και της υπάρχουσας υποδομής.

4.4.1. Η χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο

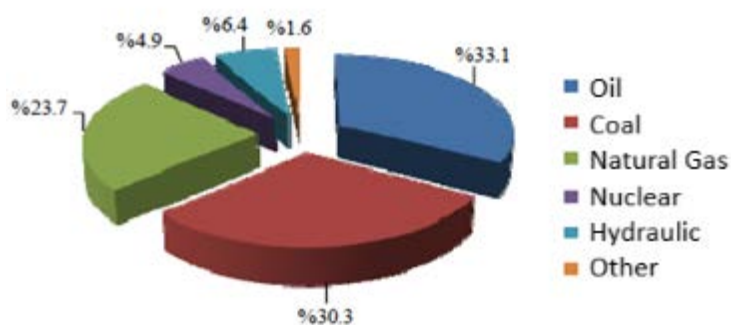
Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα ορυκτά καύσιμα κυριαρχούν στο ενεργειακό μείγμα, καλύπτοντας περίπου το 86% της συνολικής πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας²⁶. Ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στους τομείς της βιομηχανίας, των μεταφορών και των οικιακών εφαρμογών. Η κατανάλωση άνθρακα είναι ιδιαίτερα υψηλή σε αναπτυσσόμενες οικονομίες, όπως η Κίνα και η Ινδία, οι οποίες μαζί καλύπτουν πάνω από το 65% της παγκόσμιας χρήσης άνθρακα. Το πετρέλαιο παραμένει κρίσιμο για τις μεταφορές, με τις Ηνωμένες Πολιτείες και τη Σαουδική Αραβία να είναι μεταξύ των μεγαλύτερων καταναλωτών. Η χρήση φυσικού αερίου έχει σημειώσει σταθερή αύξηση λόγω των χαμηλότερων εκπομπών του σε σχέση με τον άνθρακα, με τη Ρωσία και τις Ηνωμένες Πολιτείες να ηγούνται στην παραγωγή και κατανάλωση.

Η πυρηνική ενέργεια, αν και καλύπτει ένα μικρότερο ποσοστό της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας, διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο σε χώρες όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Γαλλία και η Κίνα. Χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, προσφέροντας μια εναλλακτική λύση χαμηλών εκπομπών άνθρακα σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα.

Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παραμένουν οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας παγκοσμίως. Το 2024, τα ορυκτά καύσιμα καλύπτουν πάνω από το 80% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Ωστόσο, λόγω της περιβαλλοντικής τους επίδρασης και του κινδύνου εξάντλησής τους, υπάρχει μια παγκόσμια τάση για τη μείωση της εξάρτησης από αυτές τις πηγές.



Εικόνα 13: Συνολική Κατανάλωση Πηγών Ενέργειας Παγκοσμίως⁴⁰.



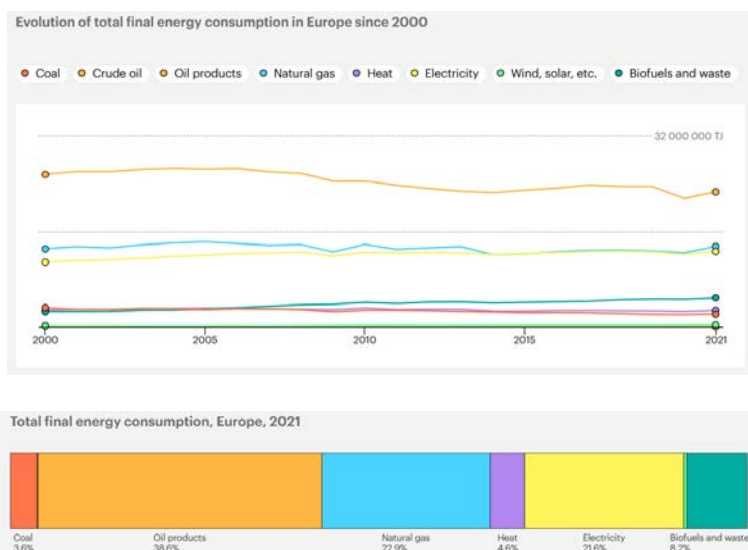
Εικόνα 14: Παγκόσμια Χρήση Πρωτογενών Πηγών Ενέργειας

4.4.2. Χρήση Μη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ευρώπη

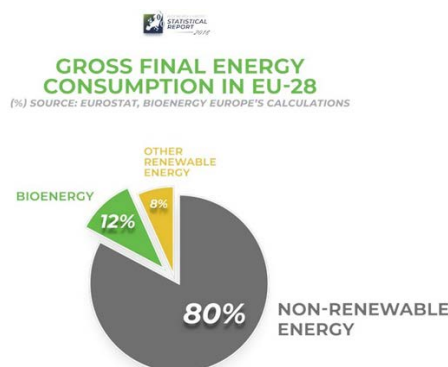
Στην Ευρώπη, η κατανάλωση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει μειωθεί σταδιακά καθώς οι χώρες προχωρούν στη μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και εφαρμόζουν αυστηρές κλιματικές πολιτικές. Παρόλα αυτά, τα ορυκτά καύσιμα εξακολουθούν να αποτελούν σημαντικό μέρος του ενεργειακού μείγματος. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Eurostat (2021), το πετρέλαιο αντιπροσωπεύει περίπου το 34% της κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ, ακολουθούμενο από το φυσικό αέριο με 25% και τον άνθρακα με 13%. Παρά αυτά τα ποσοστά, η ΕΕ έχει μειώσει σημαντικά τη χρήση άνθρακα τα τελευταία είκοσι χρόνια, ιδιαίτερα στη Γερμανία και στην Πολωνία, όπου ο άνθρακας ήταν παραδοσιακά μια κυρίαρχη πηγή ενέργειας.

Η πυρηνική ενέργεια διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη στρατηγική της Ευρώπης για ενέργεια χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η Γαλλία ηγείται στην Ευρώπη ως προς την πυρηνική ενέργεια, με πάνω από το 70% της ηλεκτρικής ενέργειας να παράγεται από πυρηνικούς σταθμούς. Άλλες χώρες, όπως η Σουηδία και η Φινλανδία, στηρίζονται επίσης στην πυρηνική ενέργεια, αν και πολλές χώρες, όπως η Γερμανία, έχουν δεσμευτεί να την καταργήσουν.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση στοχεύει στη μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων και στη μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σύμφωνα με τον στόχο της να γίνει ουδέτερη ως προς τον άνθρακα μέχρι το 2050. Η πυρηνική ενέργεια παραμένει σημαντική πηγή ενέργειας σε ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες⁴¹.



Εικόνα 15: Συνολική Κατανάλωση Πηγών Ενέργειας στην Ευρώπη⁴².



Εικόνα 16: Ακαθάριστη συνολική κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕ-28⁴³.

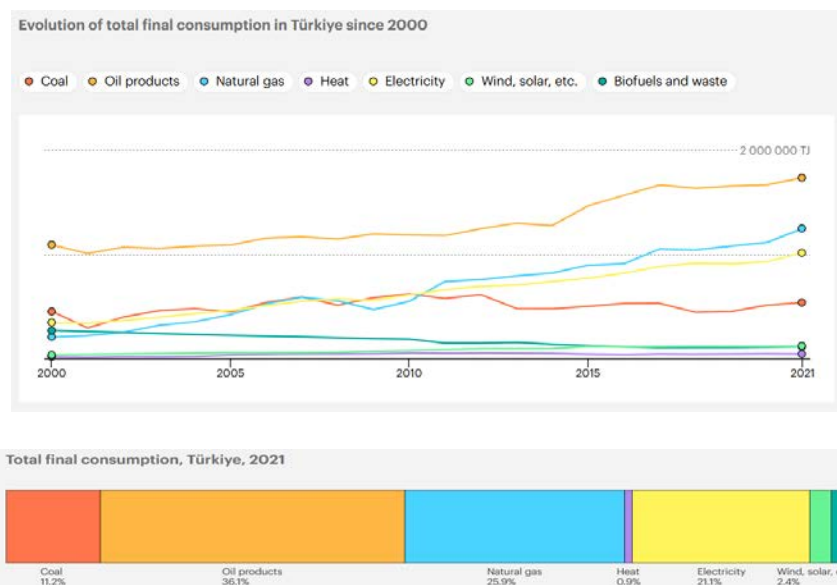
Περιφερειακές Ανισότητες: Η κατανάλωση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας διαφέρει σημαντικά μεταξύ των περιοχών. Η Βόρεια και Δυτική Ευρώπη έχει καταγράψει μια πιο έντονη στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενισχυμένη από ισχυρές κυβερνητικές πολιτικές και δημόσια υποστήριξη για καθαρές πηγές ενέργειας. Αντιθέτως, η Νότια και Ανατολική Ευρώπη παραμένουν πιο εξαρτημένες από τα ορυκτά καύσιμα, κυρίως λόγω οικονομικών περιορισμών και αργής υιοθέτησης τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας⁴⁴.

Περιβαλλοντικές και Πολιτικές Επιπτώσεις: Η συνεχιζόμενη χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ευρώπη και παγκοσμίως προκαλεί σημαντικές περιβαλλοντικές προκλήσεις, όπως ατμοσφαιρική ρύπανση, μόλυνση του νερού και εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η Πράσινη Συμφωνία της Ευρωπαϊκής Ένωσης και άλλες διεθνείς συμφωνίες, όπως η Συμφωνία των Παρισίων, στοχεύουν στην αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων μέσω της μείωσης της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και της αύξησης του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα⁴⁵.

4.5. Η Χρήση Μη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις Χώρες των Εταίρων

4.5.1 Η χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Τουρκία

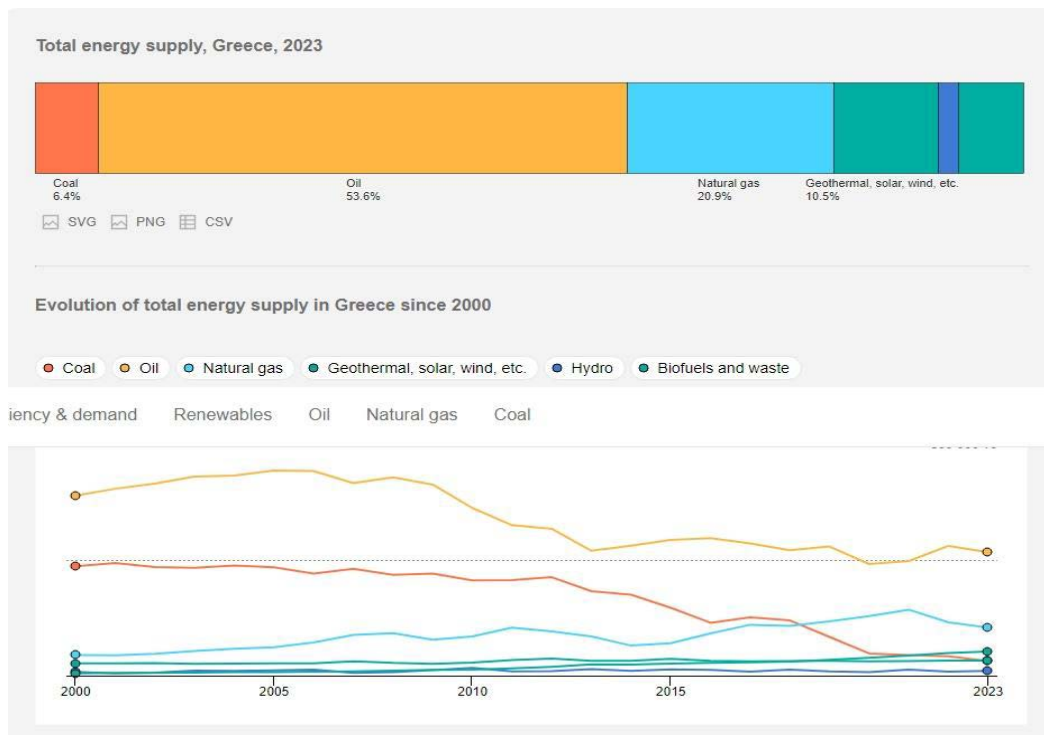
Η Τουρκία είναι μια χώρα με υψηλή εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Οι εισαγωγές φυσικού αερίου και πετρελαίου αποτελούν σημαντικό μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης της Τουρκίας. Ωστόσο, οι αυξανόμενες επενδύσεις στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν αρχίσει να μειώνουν το μερίδιο των ορυκτών καυσίμων. Στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας, έργα όπως ο Πυρηνικός Σταθμός Akkuyu συμβάλλουν στη διαφοροποίηση των ενεργειακών πηγών⁴⁶.



Εικόνα 17. Συνολική Κατανάλωση Πηγών Ενέργειας στην Τουρκία⁴².

4.5.2 Χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα

Η Ελλάδα βασιζόταν ιστορικά σε μεγάλο βαθμό στα ορυκτά καύσιμα, ιδιαίτερα στο πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, για την κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών. Το 2023, το πετρέλαιο αντιπροσώπευε το 54% της συνολικής ενεργειακής προσφοράς της χώρας. Ωστόσο, η χώρα έχει ενεργά μειώσει την εξάρτησή της από τον λιγνίτη, ένα είδος άνθρακα που συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές άνθρακα. Από το 2005 έως το 2021, το ποσοστό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από λιγνίτη μειώθηκε από 60% σε 10%, με σχέδια για πλήρη κατάργησή του έως το 2028. Παράλληλα, η Ελλάδα επενδύει σε υποδομές φυσικού αερίου και επεκτείνει τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για να διαφοροποιήσει το ενεργειακό της μείγμα και να ενισχύσει τη βιωσιμότητα⁴⁷.



Εικόνα 18. Συνολική Κατανάλωση Πηγών Ενέργειας στην Ελλάδα⁴²

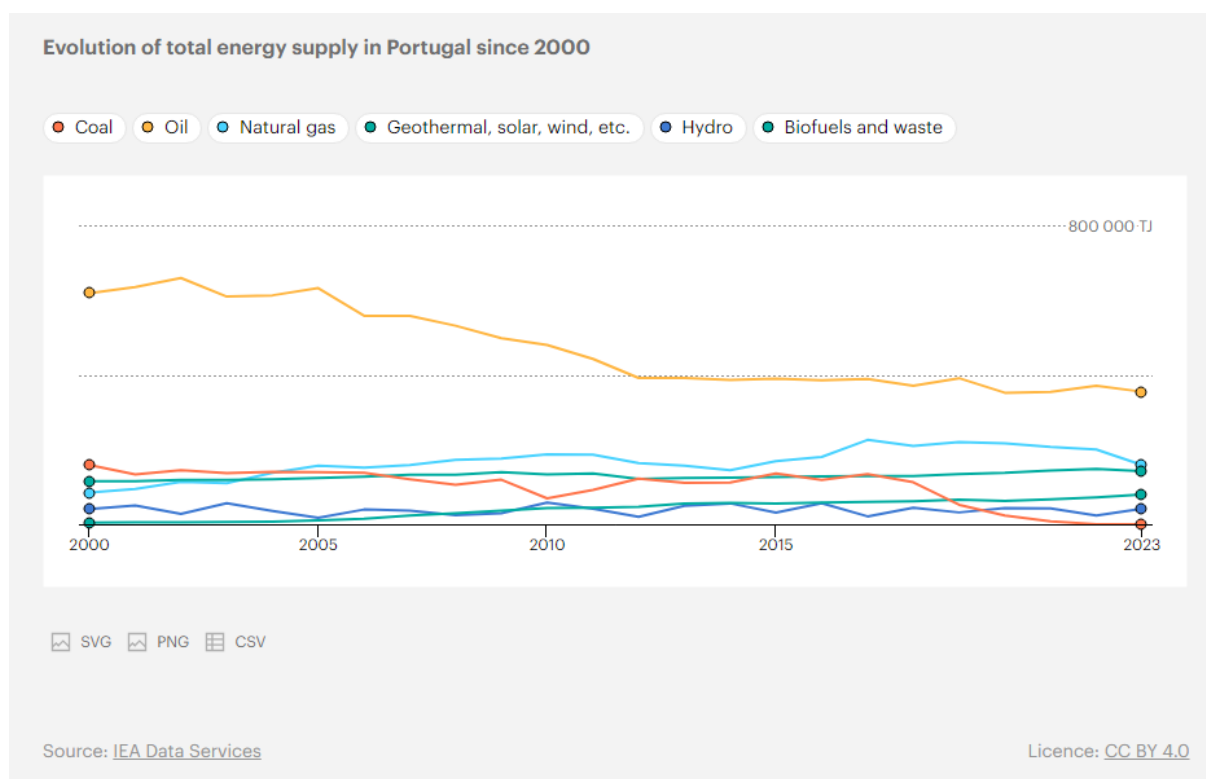
4.5.3 Η χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Πορτογαλία.

Το 2000, περίπου το 78% της ενέργειας που καταναλώθηκε στην Πορτογαλία προερχόταν από άνθρακα και πετρέλαιο, ενώ το 2023, οι μη ανανεώσιμες πηγές αντιπροσώπευαν μόλις το 64% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στη χώρα⁴⁸. In 2023, Portugal was using 20% gas, whose consumption increased 87% compared with 2000, and 44% oil, with a decrease of 43% in the same period. Coal was banned, with the last coal power station closing in 2023.

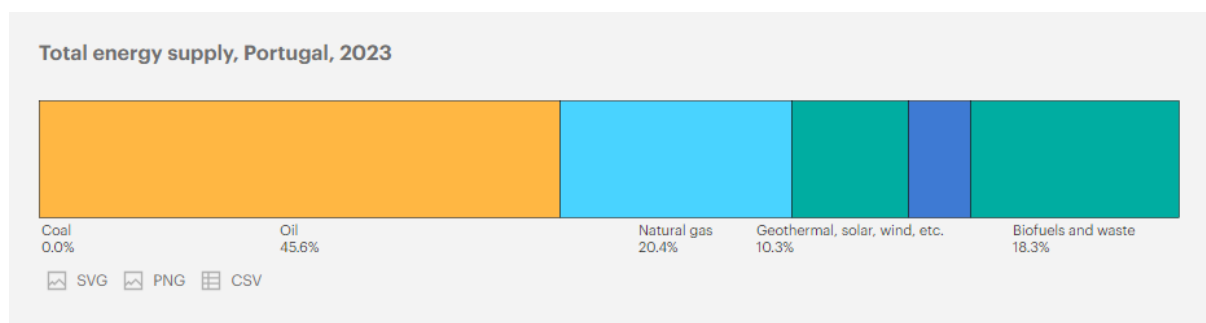
Το 2023, η Πορτογαλία χρησιμοποιούσε 20% φυσικό αέριο, η κατανάλωση του οποίου αυξήθηκε κατά 87% σε σύγκριση με το 2000, και 44% πετρέλαιο, με μείωση 43% την ίδια περίοδο. Ο άνθρακας απαγορεύτηκε, με τον τελευταίο σταθμό παραγωγής ενέργειας από άνθρακα να κλείνει το 2023.

Από το 2000, η Πορτογαλία έχει κάνει σημαντικά βήματα στην διαφοροποίηση του ενεργειακού της μείγματος, με έμφαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, υποστηριζόμενη από σημαντικές επενδύσεις σε αιολική, υδροηλεκτρική και ηλιακή ενέργεια, οδηγώντας σε σταδιακή αλλά ισχυρή μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Τα τελευταία χρόνια, η χώρα έχει παρατηρήσει μια σημαντική στροφή προς καθαρότερες και πιο βιώσιμες μεθόδους παραγωγής ενέργειας⁴⁸.

Το 2022, η Πορτογαλία βρισκόταν στην 4η θέση στην Ευρωπαϊκή Ένωση, με μερίδιο 61% της ηλεκτρικής ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας⁴⁹.



Εικόνα 19: Εξέλιξη της συνολικής προσφοράς ενέργειας στην Πορτογαλία από το 2000⁴².

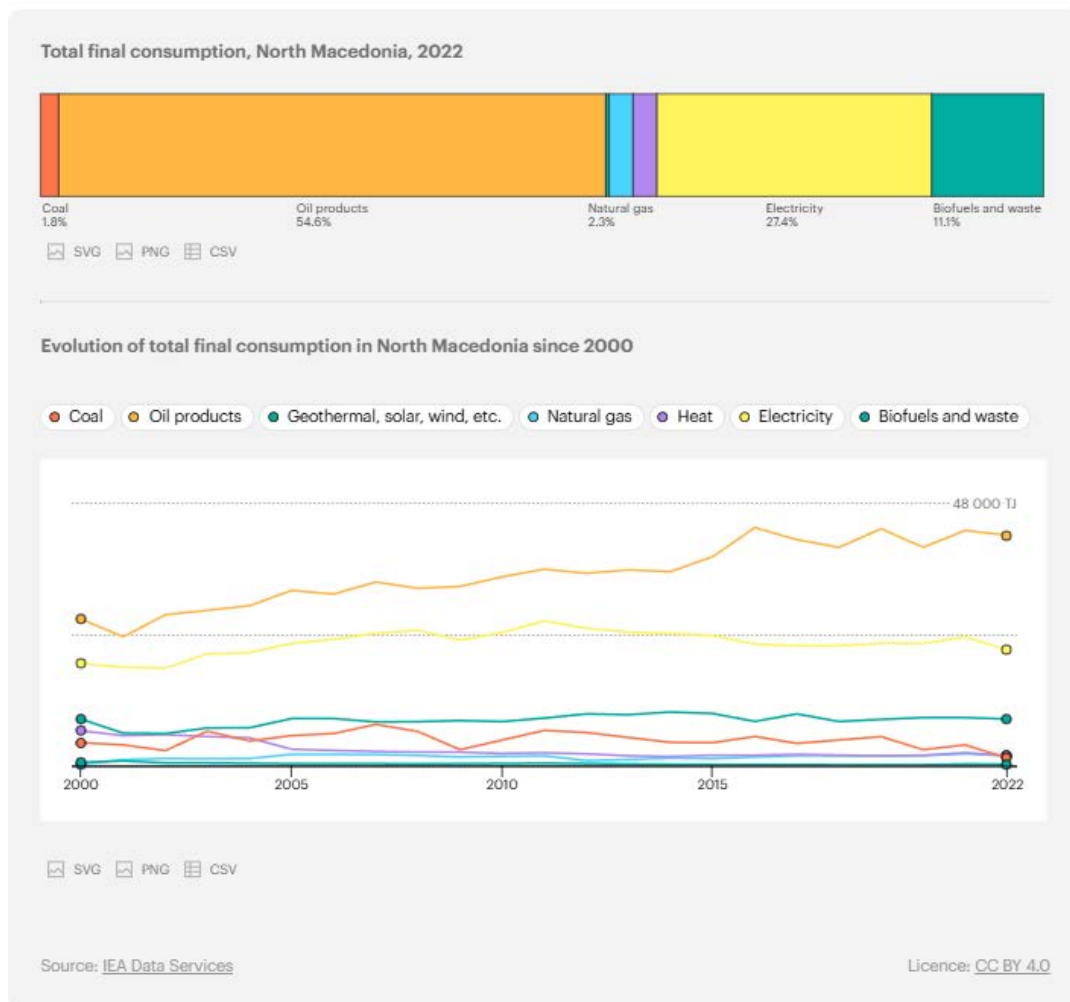


Εικόνα 20: Συνολική προσφορά ενέργειας, Πορτογαλία 2023⁴².

4.5.4 Χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη Βόρεια Μακεδονία

Η κατανάλωση ενέργειας στη Βόρεια Μακεδονία προέρχεται κυρίως από ορυκτά καύσιμα, με σημαντική συνεισφορά από τον άνθρακα και το πετρέλαιο. Το 2022, ο άνθρακας αντιπροσώπευε το 32,2% της συνολικής παροχής ενέργειας, ενώ το πετρέλαιο συνέβαλε με 44,6%. Η χώρα εξακολουθεί να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα, με το 47% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρισμού να προέρχεται από τον άνθρακα το 2022. Ωστόσο, η Βόρεια Μακεδονία βρίσκεται σε διαδικασία μετάβασης σε καθαρότερες πηγές ενέργειας, με τις ανανεώσιμες πηγές και την υδροηλεκτρική ενέργεια να αποτελούν περίπου το 9,4% του ενεργειακού μείγματος. Οι προσπάθειες για σταδιακή κατάργηση του άνθρακα μέχρι το 2030 βρίσκονται σε εξέλιξη, με αυξανόμενη έμφαση στην ηλιακή και αιολική ενέργεια για τον εμπλουτισμό του ενεργειακού μείγματος και τη μείωση των εκπομπών άνθρακα.

Αυτή η επισκόπηση αναδεικνύει τις συνεχιζόμενες προσπάθειες της Βόρειας Μακεδονίας να μειώσει την εξάρτησή της από τα ορυκτά καύσιμα και να μεταβεί σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα ισορροπεί τις οικονομικές και υποδομικές προκλήσεις που προκύπτουν από την έντονη εξάρτησή της από τον άνθρακα και το πετρέλαιο⁵⁰.



Σχήμα 21: Συνολική Κατανάλωση Πηγών Ενέργειας στη Βόρεια Μακεδονία⁴²

5. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΟΥΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Η ανανεώσιμη ενέργεια είναι ζωτικής σημασίας για ένα βιώσιμο μέλλον⁵¹. Αυτές οι πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική, η υδροηλεκτρική, η βιομάζα και η γεωθερμική, ανανεώνονται συνεχώς στη φύση, προσφέροντας μια εναλλακτική λύση στις πεπερασμένες πηγές. Κάθε τύπος αξιοποιεί φυσικές διεργασίες, όπως το ηλιακό φως, τον άνεμο ή τη θερμότητα της Γης, για την παραγωγή ενέργειας, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις εκπομπές άνθρακα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Παρόλο που η ανανεώσιμη ενέργεια μειώνει την εξάντληση των πόρων και προάγει την ενεργειακή ανεξαρτησία, αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως το υψηλό αρχικό κόστος, η εξάρτηση από την τοποθεσία και το κλίμα, καθώς και οι δυσκολίες αποθήκευσης. Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει τις τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας, την παραγωγή τους, τις επιπτώσεις τους στη βιωσιμότητα και παραδείγματα επιτυχημένων εφαρμογών στον πραγματικό κόσμο⁵¹.

5.1. Χρήση Ανανεώσιμης Ενέργειας σε Παγκόσμιο Επίπεδο

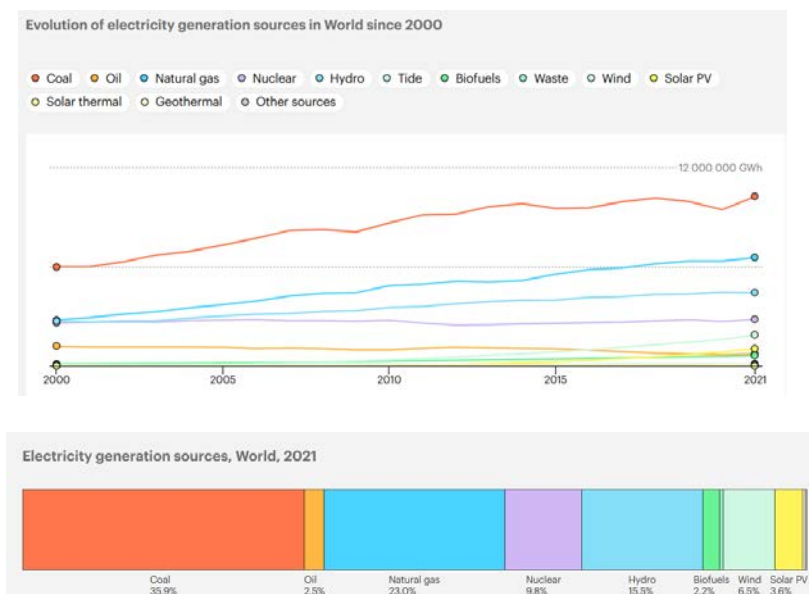
Τα ορυκτά καύσιμα, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, παραμένουν η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας στον κόσμο, παρέχοντας περίπου το 80% της συνολικής ενέργειας που χρησιμοποιούμε⁵². Renewable energy sources, including solar, wind, hydropower, and biomass, have grown rapidly in recent years and now contribute around 20% of global energy consumption. Nuclear energy plays a smaller role, accounting for about 2.6% of the world's energy needs⁵³.

Όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι ανανεώσιμες πηγές έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο. Το 2023, οι ανανεώσιμες πηγές παρήγαγαν πάνω από το 30% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας, σηματοδοτώντας μια σταθερή στροφή προς καθαρότερες μορφές ενέργειας⁵⁴. Η υδροηλεκτρική ενέργεια κατέχει την πρώτη θέση ως η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη ανανεώσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακολουθούμενη από την αιολική και την ηλιακή ενέργεια, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί ραγδαία χάρη στις τεχνολογικές εξελίξεις. Για παράδειγμα, η παραγωγή ηλιακής ενέργειας αυξήθηκε σχεδόν κατά 25% μέσα σε μόλις ένα έτος⁵⁵.

Παρά αυτά τα κέρδη, τα ορυκτά καύσιμα εξακολουθούν να παράγουν τη μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως — περίπου 60% το 2023⁵⁶. Η μετάβαση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι κρίσιμη για ένα βιώσιμο μέλλον. Οι καθαρότερες πηγές ενέργειας μειώνουν τη ρύπανση, καταπολεμούν την κλιματική αλλαγή και εξασφαλίζουν αξιόπιστη ενέργεια για τις μελλοντικές γενιές. Ωστόσο, αυτή η μετάβαση απαιτεί σημαντικές επενδύσεις και παγκόσμια συνεργασία. Παρά τις προκλήσεις που παραμένουν, όπως η ανάγκη για καλύτερη αποθήκευση ενέργειας και πιο αποδοτική τεχνολογία, η πρόοδος που έχει γίνει μέχρι στιγμής δείχνει ότι η ανανεώσιμη ενέργεια μπορεί να διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στη διαμόρφωση ενός υγιέστερου πλανήτη.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν γνωρίσει ταχεία ανάπτυξη παγκοσμίως τα τελευταία χρόνια. Το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται και οι επενδύσεις σε αυτούς τους πόρους αυξάνονται ραγδαία. Η συνολική παραγωγή ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας έφτασε σε ιστορικά υψηλό επίπεδο το 2022, ξεπερνώντας τα 8.500 TWh, κάτι που είναι πάνω από 600 TWh (περίπου 8%) υψηλότερο από το 2021. Αυτή η αύξηση οφείλεται κυρίως στην ανάπτυξη της παραγωγής αιολικής και ηλιακής φωτοβολταϊκής (PV) ενέργειας, οι οποίες και οι δύο αυξήθηκαν κατά περίπου 270 TWh. Παρόλο που η υδροηλεκτρική ενέργεια, η μεγαλύτερη πηγή ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο, είδε επίσης αύξηση 70 TWh παρά τις συνθήκες ξηρασίας που επηρέασαν την υδροηλεκτρική παραγωγή σε πολλές περιοχές, συμπεριλαμβανομένων της Κίνας, της Ευρώπης και των Ηνωμένων Πολιτειών, το παγκόσμιο μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξήθηκε στο περίπου 30%, σημειώνοντας αύξηση 1,5 ποσοστιαίας μονάδας από το 2021. Από το 2022, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιπροσωπεύουν περίπου το 30% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας⁵⁴.

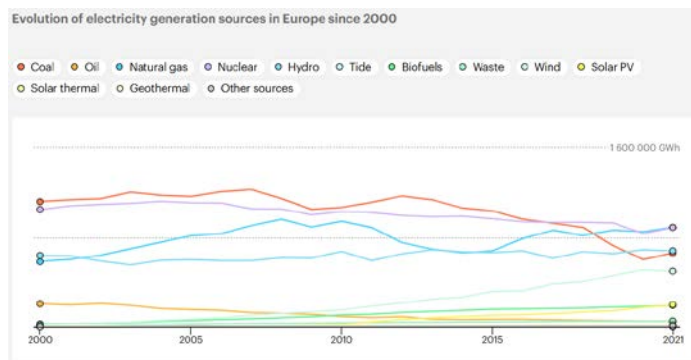
Ειδικότερα, οι επενδύσεις στην ηλιακή και αιολική ενέργεια έχουν πρωτοστατήσει σε αυτή την ανάπτυξη.



Εικόνα 22: Πηγές Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας Παγκοσμίως⁴⁰

5.2. Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ευρώπη

Η Ευρώπη είναι μία από τις κορυφαίες περιοχές στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει στόχο να αντλεί το 32% της ενεργειακής της κατανάλωσης από ανανεώσιμες πηγές έως το 2030⁵⁷. Χώρες όπως η Γερμανία, η Δανία και η Ισπανία είναι παγκόσμιοι ηγέτες στις επενδύσεις σε αιολική και ηλιακή ενέργεια⁵⁷. Οι θετικές επιπτώσεις της ανανεώσιμης ενέργειας στο περιβάλλον, το κλίμα, την οικονομία και τη βιωσιμότητα οδηγούν στην αυξανόμενη υιοθέτηση αυτών των πηγών ενέργειας. Το 2022, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αντιστοιχούσαν στο 41,2% της ακαθάριστης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ, αυξάνοντας κατά 3,4 ποσοστιαίες μονάδες σε σχέση με το 2021, και ξεπερνώντας σημαντικά άλλες πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως η πυρηνική (λιγότερο από 22%), το αέριο (λιγότερο από 20%) ή ο άνθρακας (λιγότερο από 17%). Συνολικά, το ποσοστό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξήθηκε κατά 5,7% από το 2021 έως το 2022. Η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια συνθέτουν πάνω από τα δύο τρίτα της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές (37,5% και 29,9%, αντίστοιχα). Το υπόλοιπο τρίτο προήλθε από την ηλιακή ενέργεια (18,2%), τα στερεά βιοκαύσιμα (6,9%) και άλλες ανανεώσιμες πηγές (7,5%).





Εικόνα 23: Πηγές Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας στην Ευρώπη⁴²

6. ΤΑ ΕΙΔΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

6.1. Ηλιακή Ενέργεια

Ο Ήλιος είναι η κύρια πηγή ζωής στη Γη και μία από τις πιο σημαντικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας⁴⁸. Στην πραγματικότητα, πολλές πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των ορυκτών καυσίμων, τελικά αντλούν την ενέργειά τους είτε άμεσα είτε έμμεσα από τον Ήλιο. Βρίσκεται περίπου 150 εκατομμύρια χιλιόμετρα μακριά και είναι μία τεράστια σφαίρα από υδρογόνο και ήλιο. Παράγει μια τεράστια ποσότητα ενέργειας μέσω πυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης που συμβαίνουν στον πυρήνα του. Σε αυτή τη διαδικασία, τα άτομα υδρογόνου συγχωνεύονται για να σχηματίσουν ήλιο, απελευθερώνοντας μια τεράστια ποσότητα ενέργειας. Αν και μόνο ένα μικρό κλάσμα της ενέργειας που εκπέμπει ο Ήλιος φτάνει στη Γη, αυτή η ποσότητα είναι περισσότερο από αρκετή για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη.

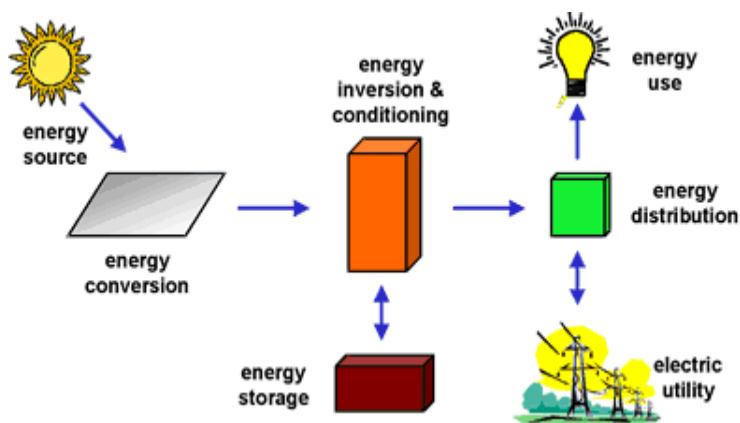


Η ποσότητα ηλιακής ενέργειας που φτάνει στη Γη διαφέρει κατά τη διάρκεια της ημέρας και καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.⁵⁸ Αυτή η μεταβολή οφείλεται κυρίως στη περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της και στην τροχιά της γύρω από τον Ήλιο. Επιπλέον, παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες, η σύνθεση της ατμόσφαιρας και το γεωγραφικό πλάτος επηρεάζουν την ποσότητα ηλιακής ενέργειας που φτάνει στην επιφάνεια.

Εικόνα 24: Οι ηλιακοί συλλέκτες εκμεταλλεύονται την ενέργεια του Ήλιου για να παράξουν καθαρή και ανανεώσιμη ενέργεια.

6.1.1. Μετατροπές Ηλιακής Ενέργειας

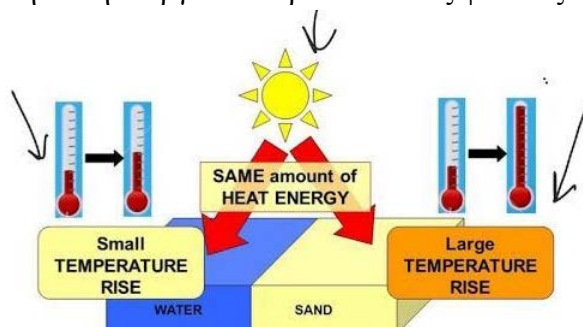
Ένα μέρος της ενέργειας που εκπέμπει ο Ήλιος απορροφάται από την ατμόσφαιρα της Γης, ενώ ένα άλλο μέρος ανακλάται πίσω στο διάστημα⁵⁹. Περίπου το 71% αυτής της ενέργειας απορροφάται από την επιφάνεια της Γης και χρησιμοποιείται σε διάφορες διαδικασίες⁶⁰. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε διάφορες μορφές ενέργειας, είτε μέσω φυσικών διαδικασιών είτε μέσω μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί από τον άνθρωπο.



Σχήμα 25: Η ηλιακή ενέργεια υφίσταται μετατροπή, αποθήκευση και διανομή προτού φτάσει στους τελικούς χρήστες ως ηλεκτρική ενέργεια⁵⁹.

α. Φυσικές Μετατροπές

Η ηλιακή ενέργεια επιτρέπει πολλές φυσικές διαδικασίες, είτε άμεσα είτε έμμεσα⁵⁸:



Εικόνα 26: Διάφορα υλικά απορροφούν τη θερμότητα του ήλιου με διαφορετικό τρόπο, επηρεάζοντας τις αλλαγές θερμοκρασίας στη φύση.

- **Δημιουργία ανέμων και κυμάτων:** Οι διαφορές θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα δημιουργούν ανέμους, οι οποίοι με τη σειρά τους συμβάλλουν στην κίνηση των κυμάτων.



Εικόνα 27: Προηγμένες τεχνολογίες αξιοποιούν την ηλιακή και αιολική ενέργεια για να υποστηρίξουν τόσο τη βιωσιμότητα όσο και την καινοτομία.

- **Θέρμανση του Εδάφους και του Νερού:** Η ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει το έδαφος και το νερό, επηρεάζοντας τη θερμοκρασία του αέρα και τις κλιματικές συνθήκες.
- **Διαδικασία Φωτοσύνθεσης:** Τα φυτά χρησιμοποιούν το ηλιακό φως για να παράγουν τροφή και να απελευθερώνουν οξυγόνο.
- **Κύκλος του Νερού:** Η ηλιακή θερμότητα οδηγεί στην εξάτμιση του νερού, με αποτέλεσμα τη δημιουργία νεφών και βροχοπτώσεις, υποστηρίζοντας τον κύκλο του νερού.

- **Φυσικές δασικές πυρκαγιές:** Κατά τη διάρκεια ξηρών περιόδων, η έντονη ηλιοφάνεια μπορεί να προκαλέσει δασικές πυρκαγιές.

β. Τεχνητές Μετατροπές

Οι άνθρωποι μπορούν να εκμεταλλευτούν την ηλιακή ενέργεια άμεσα ή έμμεσα μέσω διαφόρων τεχνολογιών⁶¹:

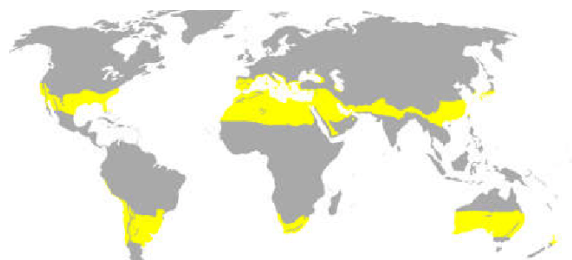
- **Ηλιακοί Συλλέκτες:** Αυτές οι συσκευές συλλέγουν ηλιακή ακτινοβολία και τη χρησιμοποιούν για τη θέρμανση νερού ή άλλων συστημάτων θέρμανσης.

- **Φωτοβολταϊκά Πάνελ:** Αυτά τα πάνελ μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια.
- **Υδροηλεκτρική Ενέργεια:** Η ηλιακή ενέργεια οδηγεί τον κύκλο του νερού, συμβάλλοντας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φράγματα.
- **Ανεμογεννήτριες:** Η αιολική ενέργεια, που δημιουργείται από τις διαφορές θερμοκρασίας που προκαλεί ο Ήλιος, αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- **Ενέργεια Βιομάζας:** Τα φυτά αποθηκεύουν ηλιακή ενέργεια και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοκαυσίμων.
- **Ηλιακή Αρχιτεκτονική:** Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει το σχεδιασμό κτηρίων για τη μέγιστη αποδοτική χρήση ηλιακής ενέργειας.

Αυτές οι διάφορες διαδικασίες μετατροπής της ηλιακής ενέργειας όχι μόνο βοηθούν στη διατήρηση της ισορροπίας των οικοσυστημάτων στη φύση, αλλά παρέχουν και βιώσιμες πηγές ενέργειας για τη χρήση του ανθρώπου.

6.1.2. Η Ηλιακή Ενέργεια Παγκοσμίως

Οι πιο αποδοτικές περιοχές για την αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας βρίσκονται μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 35° Βόρεια και 35° Νότια, γνωστές ως η «Ηλιακή Ζώνη» της Γης⁶². Αυτή η περιοχή παρουσιάζει υψηλές ετήσιες διάρκειες ηλιοφάνειας, και το δυναμικό ηλιακής ενέργειας κυμαίνεται από 3,5 έως 7 kWh/m²⁶³. Χώρες όπως η Ισπανία, η Ιταλία, η Ελλάδα, η Τουρκία, η Αίγυπτος, το Ιράν, η Κίνα, η Ιαπωνία, οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Αυστραλία είναι μεταξύ αυτών που μπορούν να εκμεταλλευτούν περισσότερο την ηλιακή ενέργεια.



Εικόνα 28: Η Ηλιακή Ζώνη μεταξύ 35°B και 35°N προσφέρει τη μεγαλύτερη παγκόσμια δυναμική ηλιακής ενέργειας.

Καθ' όλη τη διάρκεια της ανθρώπινης ιστορίας, η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιήθηκε με διάφορους τρόπους:

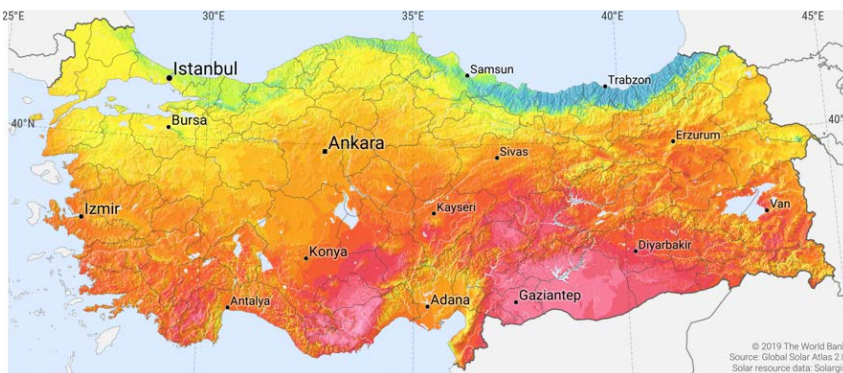
- Στον 4ο αιώνα π.Χ., ο διάσημος φιλόσοφος Σωκράτης πρότεινε να προστεθούν περισσότερα παράθυρα στις νότιες όψεις των σπιτιών για καλύτερη εκμετάλλευση του Ήλιου.
- Στον 17ο αιώνα, ο Γαλιλαίος, ανακαλύπτοντας τους φακούς, πρωτοστάτησε στις προσπάθειες συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας.
- Το 1860, διεξήχθη έρευνα για τη συλλογή ηλιακών ακτίνων χρησιμοποιώντας παραβολικούς καθρέφτες και την χρήση τους σε ατμομηχανές.
- Στη δεκαετία του 1950, τα συστήματα ηλιακής ενέργειας άρχισαν να εξαπλώνονται στις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ιαπωνία, και τα πρώτα φωτοβολταϊκά πάνελ (ηλιακά κύτταρα) παράχθηκαν από τα Bell Telephone Laboratories.
- Στη δεκαετία του 1990, εγκαταστάθηκαν ηλιακοί πύργοι με δυναμικότητα 10 MW στην Καλιφόρνια και 30 MW στην Ιορδανία.
- Στη δεκαετία του 2000, έγιναν σημαντικές πρόοδοι στην τεχνολογία των ηλιακών κυττάρων, και η παγκόσμια παραγωγή ηλιακής ενέργειας αυξήθηκε ραγδαία.

Σήμερα, η ηλιακή ενέργεια παίζει έναν κρίσιμο ρόλο στη μετάβαση προς την παγκόσμια ενεργειακή μετάβαση. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, η απόδοση των ηλιακών πάνελ έχει αυξηθεί, ενώ το κόστος εγκατάστασης έχει μειωθεί. Ως αποτέλεσμα, πολλές χώρες έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούν εκτενώς την ηλιακή ενέργεια⁵⁸.

6.1.3. Η Ηλιακή Ενέργεια στις Χώρες των Εταίρων

6.1.3.1. Η Ηλιακή Ενέργεια στην Τουρκία

Η Τουρκία βρίσκεται εντός της Ηλιακής Ζώνης και έχει κατά μέσο όρο 2.640 ώρες ηλιοφάνειας το χρόνο⁶⁴. Η ετήσια ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται από 2,9 έως 4,0 kWh/m² σε διάφορες περιοχές. Σύμφωνα με τον Χάρτη Ηλιακής Ενέργειας της Τουρκίας (GEPA), οι περιοχές με τη μεγαλύτερη ηλιακή δυναμικότητα είναι



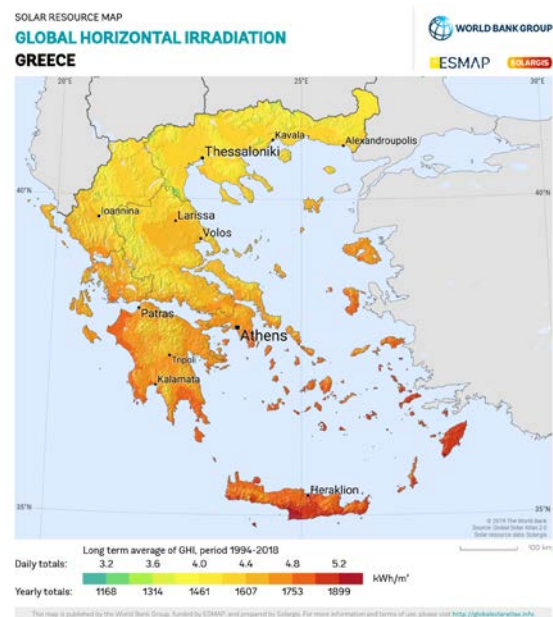
Εικόνα 29: Οι νότιες και ανατολικές περιοχές της Τουρκίας έχουν το μεγαλύτερο δυναμικό ηλιακής ενέργειας.

η Μεσογειακή περιοχή και η περιοχή γύρω από τη λίμνη Βαν, ενώ οι περιοχές με τη χαμηλότερη δυναμικότητα είναι η περιοχή του Εύξεινου Πόντου και η Θάλασσα του Μαρμαρά. Από τον Φεβρουάριο του 2016, η Τουρκία είχε 313 ηλιακούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας με συνολική εγκατεστημένη ικανότητα 313 MW. Ο μεγαλύτερος από αυτούς τους σταθμούς ήταν ο Ηλιακός Σταθμός Παραγωγής Ενέργειας Κόνυα Καρατάι Κιζιόρεν, με δυναμικότητα 18 MW. Εκείνη την περίοδο, υπήρχαν διάφοροι μηχανισμοί κινήτρων και υποστήριξης για την αύξηση της χρήσης ηλιακής ενέργειας στην Τουρκία. Το υπουργείο έχει στόχο για ετήσια αύξηση της ικανότητας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά 5.000 MW μέχρι το 2035. Η ηλιακή ενέργεια της Τουρκίας και η τρέχουσα εγκατεστημένη ικανότητα συμβάλλουν σημαντικά στην ενεργειακή της ανεξαρτησία και στους στόχους βιωσιμότητας.

6.1.3.2. Η ηλιακή Ενέργεια στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, εκμεταλλευόμενη τη θέση της εντός της Ηλιακής Ζώνης, απολαμβάνει υψηλή ηλιακή ακτινοβολία, με τα μέση επίπεδα οριζόντιας παγκόσμιας ακτινοβολίας να ξεπερνούν τα 1.500 kWh/m² ετησίως. Αυτό το ευνοϊκό κλίμα έχει επιταχύνει σημαντικά την ανάπτυξη του τομέα ηλιακής ενέργειας στη χώρα. Το 2023, τα φωτοβολταϊκά παρήγαγαν το 19% της ηλεκτρικής ενέργειας της Ελλάδας, κατατάσσοντας τη χώρα δεύτερη παγκοσμίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακή ενέργεια⁶⁵. Μέχρι το τέλος του 2024, η σωρευτική εγκατεστημένη φωτοβολταϊκή ικανότητα της Ελλάδας έφτασε τα 9,6 GW, σημειώνοντας σημαντική αύξηση από τα 5,3 GW το 2022⁶⁶. Αυτή η ταχεία ανάπτυξη αποδίδεται σε υποστηρικτικές πολιτικές, ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες και ισχυρή δέσμευση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Κοιτάζοντας στο μέλλον, η Ελλάδα στοχεύει να πετύχει μερίδιο 82% από ανανεώσιμες πηγές στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έως το 2030, με την ηλιακή ενέργεια να διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο σε αυτήν τη μετάβαση.

Ένα αξιόλογο παράδειγμα της δέσμευσης της Ελλάδας στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ο μετασχηματισμός της Χάλκης, ενός μικρού νησιού στο Αιγαίο Πέλαγος. Στο πλαίσιο της εθνικής πρωτοβουλίας "GR-eco Islands", η Χάλκη εγκαινίασε το Νοέμβριο του 2021 ένα ηλιακό πάρκο 1 MW, το οποίο παρέχει πλέον καθαρή ενέργεια στους περίπου 300 μόνιμους κατοίκους της. Το έργο περιλάμβανε την κατασκευή του ηλιακού πάρκου και τη δημιουργία μιας ενεργειακής κοινότητας, στην οποία ο δήμος κατέχει το 50% της συμμετοχής. Αυτή η πρωτοβουλία όχι μόνο παρέχει ενεργειακή αυτονομία, αλλά χρησιμεύει επίσης ως πρότυπο για βιώσιμη ανάπτυξη και σε άλλα ελληνικά νησιά. Η πρωτοβουλία "GR-eco Islands" αντικατοπτρίζει τη δέσμευση της ελληνικής κυβέρνησης για την προώθηση της πράσινης και ψηφιακής μετάβασης, στοχεύοντας στην αποάνθρακα των νησιών και στην ενίσχυση της ενεργειακής αυτονομίας μέσω των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των τεχνολογικών καινοτομιών.



Εικόνα 30: Η ισχυρή ηλιακή ακτινοβολία της Ελλάδας υποστηρίζει την ηγεσία της στην παραγωγή ηλιακής ενέργειας.

6.1.3.3. Η Ηλιακή Ενέργεια στην Πορτογαλία



Εικόνα 31: Η Νότια Πορτογαλία λαμβάνει τη μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία, καθιστώντας την ιδανική για έργα ηλιακής ενέργειας μεγάλης κλίμακας.

Ο συνολικός ετήσιος μέσος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας στην Πορτογαλία κυμαίνεται από τουλάχιστον 2200 ώρες στο Βορά έως περισσότερες από 3000 ώρες στο Νότο, κάνοντας τη χώρα κατάλληλη για εκτεταμένη χρήση ηλιακής ενέργειας⁶⁷. Το νότιο τμήμα της χώρας είναι κυρίως επίπεδο, σε αντίθεση με το βόρειο, κάτι που εξηγεί γιατί οι περισσότεροι από τους μεγαλύτερους φωτοβολταϊκούς σταθμούς βρίσκονται στις περιοχές της Ριμπατέζου, Αλεντέζου και Αλγκάρβε⁶⁸. Ένα από τα μεγαλύτερα έργα που άνοιξε το 2023, η "Central da Cerca", που βρίσκεται περίπου 50 χλμ βόρεια της Λισαβόνας, διαθέτει 310.000 διπλής όψης πάνελ και θα παράγει περίπου 330 GWh ετησίως. Αυτή η ενέργεια θα είναι αρκετή για να τροφοδοτήσει 100 χιλιάδες οικογένειες και να αποτρέψει την έκλυση τουλάχιστον 170 χιλιάδων τόνων CO₂ κάθε χρόνο.

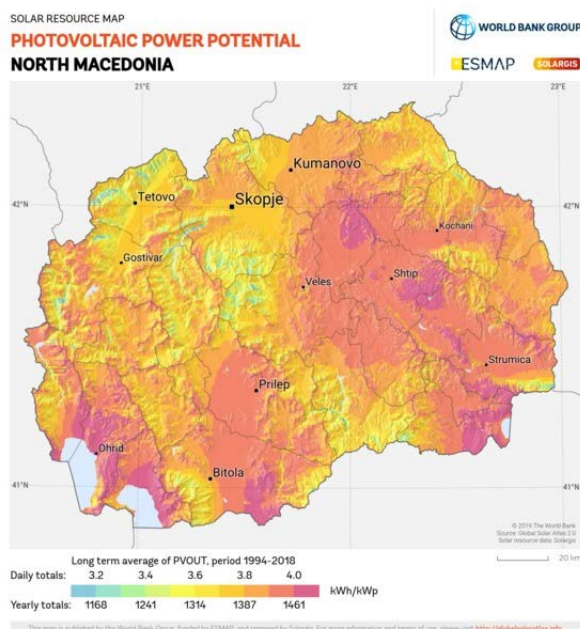
Σύμφωνα με την επίσημη Υπηρεσία Ενέργειας της Πορτογαλίας (DGEG), 5,9 GW από τα 20,8 GW ανανεώσιμης ενέργειας που χρησιμοποιούνται στη χώρα προέρχονται από

φωτοβολταϊκά συστήματα⁶⁹. Αυτή η αξία είναι περισσότερη από διπλάσια από τη δυναμική που είχε εγκατασταθεί μέχρι το τέλος του 2022. Το 2023, προστέθηκαν 1,1 GW νέας ηλιακής ενέργειας στο δίκτυο. Μέχρι το 2026, η ηλιακή ενέργεια θα ξεπεράσει την αιολική ενέργεια για να γίνει η δεύτερη πιο σημαντική πηγή όσον αφορά την εγκατεστημένη δυναμικότητα. Πολλά νέα φωτοβολταϊκά έργα αναπτύσσονται στην Πορτογαλία. Αναμένεται να τεθούν σε λειτουργία μέχρι το τέλος του 2030, με την εγκατεστημένη δυναμική να αυξάνεται στα περίπου 9 GW. Αυτό σημαίνει ότι μέχρι τότε, η ηλιακή ενέργεια θα καταστεί η κύρια τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα.

6.1.3.4. Η Ηλιακή Ενέργεια στη Βόρεια Μακεδονία

Η Βόρεια Μακεδονία, που βρίσκεται στη χερσόνησο των Βαλκανίων, απολαμβάνει ένα ευνοϊκό κλίμα που προσφέρει σημαντικό δυναμικό ηλιακής ενέργειας. Η χώρα δέχεται από 1.500 έως 1.700 kWh/m² ηλιακή ακτινοβολία ετησίως, καθιστώντας την ιδανικό τόπο για ανάπτυξη ηλιακής ενέργειας⁶⁷. Η υψηλότερη ηλιακή ενέργεια παρατηρείται στις νότιες και ανατολικές περιοχές, οι οποίες χαρακτηρίζονται από άφθονο ηλιακό φως καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Από το 2023, ο τομέας ηλιακής ενέργειας της Βόρειας Μακεδονίας έχει σημειώσει εντυπωσιακή πρόοδο. Η εγκατεστημένη ηλιακή ικανότητα της χώρας έχει φτάσει περίπου τα 200 MW, με σημαντικά έργα, όπως το ηλιακό πάρκο Οσλομέι, το οποίο έχει κατασκευαστεί στον χώρο πρώην ανθρακωρυχείου, να διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην προώθηση της μετάβασης της χώρας στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας⁷⁰. Αυτό το έργο, μαζί με άλλα, βοηθά στη μείωση της εξάρτησης της χώρας από τα ορυκτά καύσιμα, ιδιαίτερα τον άνθρακα, και στην αύξηση του ποσοστού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μείγμα της.



Εικόνα 32: Νότια και ανατολική Βόρεια Μακεδονία προσφέρουν τη μεγαλύτερη δυναμική για παραγωγή ηλιακής ενέργειας.

Η κυβέρνηση της Βόρειας Μακεδονίας έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στοχεύοντας σε ποσοστό 38% ανανεώσιμων πηγών στο ενεργειακό της μείγμα μέχρι το 2030⁷¹, με την ηλιακή ενέργεια να παίζει κεντρικό ρόλο σε αυτή τη μετάβαση. Για να το υποστηρίξει αυτό, η κυβέρνηση παρέχει κίνητρα και δημιουργεί ευνοϊκά πολιτικά πλαίσια για να προσελκύσει τόσο επενδύσεις μεγάλης κλίμακας όσο και να ενθαρρύνει τις οικιακές ηλιακές εγκαταστάσεις.

Αξιοσημείωτα παραδείγματα ανάπτυξης ηλιακής ενέργειας στην Βόρεια Μακεδονία περιλαμβάνουν το Στρατηγικό Ηλιακό Πάρκο στα Σκόπια, ένα από τα σημαντικά έργα ηλιακής ενέργειας της χώρας, καθώς και μικρότερες ηλιακές εγκαταστάσεις σε αγροτικές περιοχές⁷². Αυτές οι πρωτοβουλίες όχι μόνο συμβάλλουν στην αύξηση της

ενεργειακής αυτονομίας, αλλά βοηθούν επίσης στη μείωση των εκπομπών CO₂,

ευθυγραμμίζοντας τη Βόρεια Μακεδονία με τους ευρύτερους περιβαλλοντικούς και κλιματικούς στόχους της.

Με τη διαρκή επένδυση στην ηλιακή ενέργεια, η Βόρεια Μακεδονία βρίσκεται σε καλό δρόμο για να γίνει ηγέτης στον τομέα της ανανεώσιμης ενέργειας στη Βαλκανική, διαφοροποιώντας περαιτέρω τις ενεργειακές της πηγές και προωθώντας τη βιωσιμότητα.

6.1.4. Θετικές και Αρνητικές Επιπτώσεις της Ηλιακής Ενέργειας

Πλεονεκτήματα



- Η ηλιακή ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς να εξαντλούνται οι φυσικοί πόροι. Είναι μια βιώσιμη επιλογή για την κάλυψη των μακροπρόθεσμων ενεργειακών αναγκών.

- Η παραγωγή ηλιακής ενέργειας παράγει ελάχιστες έως καθόλου εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, μειώνοντας τη ρύπανση του αέρα και μετριάζοντας την κλιματική αλλαγή.

- Μόλις εγκατασταθούν τα ηλιακά πάνελ, τα κόστη συντήρησης και λειτουργίας είναι σχετικά χαμηλά σε σύγκριση με άλλες πηγές ενέργειας.

- Η ηλιακή ενέργεια μειώνει την εξάρτηση από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα, συμβάλλοντας στην ενεργειακή ασφάλεια και ανεξαρτησία.
- Η αναπτυσσόμενη βιομηχανία ηλιακής ενέργειας προσφέρει ευκαιρίες απασχόλησης στη βιομηχανία παραγωγής, εγκατάστασης και συντήρησης, ωφελώντας την οικονομία.
- Τα ηλιακά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν σε διάφορες ρυθμίσεις, από

οικιακές στέγες μέχρι μεγάλες ηλιακές φάρμες, επιτρέποντας ευελιξία στην παραγωγή.



Μειονεκτήματα

- Η παραγωγή ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να είναι διαλείπουσα και αναξιόπιστη τις συννεφιασμένες ημέρες ή τη νύχτα, απαιτώντας λύσεις αποθήκευσης ή συστήματα εφεδρείας.

- Το αρχικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης ηλιακών πάνελ μπορεί να είναι υψηλό, παρά τις μακροπρόθεσμες

εξοικονομήσεις.

- Οι μεγάλης κλίμακας ηλιακές φάρμες απαιτούν σημαντικές εκτάσεις γης, κάτι που ενδέχεται να επηρεάσει τα οικοσυστήματα ή να ανταγωνιστεί τη γεωργική γη.

- Η αποθήκευση ηλιακής ενέργειας για χρήση κατά τις περιόδους χωρίς ήλιο απαιτεί προηγμένη τεχνολογία μπαταριών, η οποία μπορεί να είναι ακριβή και βρίσκεται ακόμα σε ανάπτυξη.

- Η παραγωγή και διάθεση των ηλιακών πάνελ περιλαμβάνει υλικά που μπορεί να δημιουργούν περιβαλλοντικές προκλήσεις αν δεν διαχειρίζονται σωστά, όπως τα σπάνια γήινα στοιχεία και τα προβλήματα ανακύκλωσης.

Ενώ η ηλιακή ενέργεια έχει μεγάλη δυναμική για ένα βιώσιμο μέλλον, αναμένεται να γίνει πιο διαδεδομένη με τις τεχνολογικές εξελίξεις και τη μείωση του κόστους.



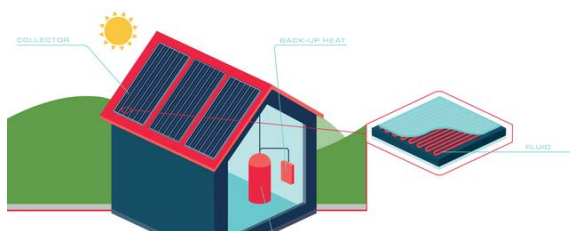
6.1.5. Τεχνολογίες για την Εκμετάλλευση της Ηλιακής Ενέργειας

Οι τεχνολογίες αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες⁵⁸:

- **Ηλιακή Θερμική Ενέργεια:** Αυτές οι τεχνολογίες συλλαμβάνουν το ηλιακό φως και το μετατρέπουν σε θερμική ενέργεια, συνήθως για θέρμανση.
- **Φωτοβολταϊκά Συστήματα:** Αυτά τα συστήματα μετατρέπουν απευθείας το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια.

Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια, έχουν αναπτυχθεί υβριδικές εφαρμογές, όπως τα **Συστήματα Συγκεντρωμένων Φωτοβολταϊκών (CPV)**, που συνδυάζουν στοιχεία τόσο της παραγωγής θερμότητας, όσο και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για πιο αποδοτική παραγωγή ενέργειας.

6.1.5.1. Θερμική Ενέργεια από τον Ήλιο



Εικόνα 33: Οι ηλιακοί συλλέκτες μετατρέπουν το ηλιακό φως σε θερμότητα για θέρμανση νερού σε οικιακή χρήση.

Αυτή η μέθοδος καταγράφει το ηλιακό φως και το μετατρέπει σε θερμική ενέργεια. Οι τομείς εφαρμογής της είναι οι εξής⁷³:

- **Ηλιακοί Συλλέκτες:** Χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση νερού σε κατοικίες και βιομηχανίες.



Εικόνα 34: Οι ηλιακοί θερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούν καθρέφτες για να παράξουν ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλη κλίμακα.

Ηλιακοί Θερμικοί Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας: Συγκεντρώνουν το ηλιακό φως χρησιμοποιώντας καθρέφτες για παραγωγή ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα, κινώντας ατμοστρόβιλους.



Εικόνα 35: Οι ηλιακοί φούρνοι εκμεταλλεύονται τη θερμότητα του Ήλιου για μαγείρεμα, ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες περιοχές.

- **Ηλιακοί Φούρνοι και Μαγειρεία:** Χρησιμοποιούνται για μαγείρεμα σε κατασκηνώσεις και αγροτικές περιοχές.

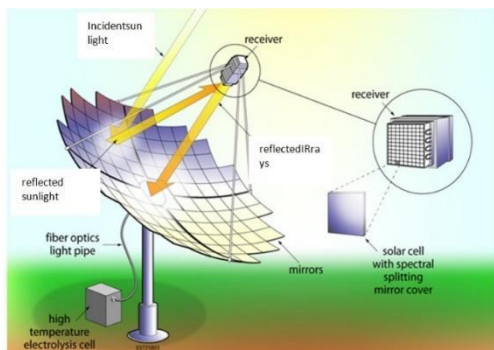
6.1.5.2. Άμεση Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από τον Ήλιο

Αυτή η μέθοδος μετατρέπει το ηλιακό φως απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι πιο κοινές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι:

1. **Φωτοβολταϊκά Πάνελ:** Πάνελ που μετατρέπουν το ηλιακό φως απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Χρησιμοποιούνται σε συστήματα στέγης, αγροτικές περιοχές και βιομηχανία.



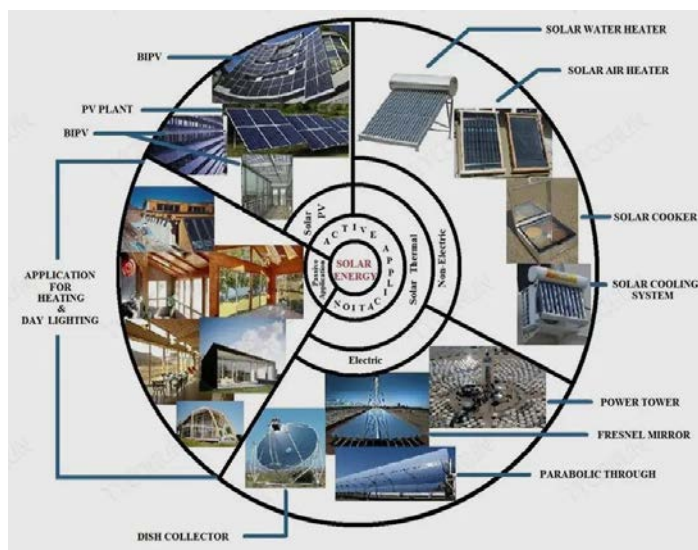
Εικόνα 36: Τα φωτοβολταϊκά πάνελ μετατρέπουν το ηλιακό φως απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια σε στέγες και ανοιχτούς χώρους.



Εικόνα 37: Τα συγκεντρωμένα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούν καθρέφτες ή φακούς για να αυξήσουν την απόδοση της ηλιακής ενέργειας⁷⁴.

- **Συστήματα Συγκεντρωμένων Φωτοβολταϊκών (CPV):** Αυτά τα συστήματα συγκεντρώνουν το ηλιακό φως σε μικρές περιοχές χρησιμοποιώντας φακούς ή καθρέφτες, προσφέροντας υψηλότερη απόδοση⁷⁴.

Οι τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας γίνονται ολοένα και πιο αποδοτικές και οικονομικές, χάρη στις εξελίξεις στη επιστήμη των υλικών και τις τεχνικές παραγωγής.



Εικόνα 38: Οι τεχνολογίες ηλιακής θερμικής ενέργειας που χρησιμοποιείται⁷⁶: εξυπηρετούν διάφορες εφαρμογές, από τη θέρμανση νερού έως την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας⁷⁵.

6.1.5.3. Τεχνολογίες και εφαρμογές ηλιακής θερμικής ενέργειας

Οι τεχνολογίες ηλιακής θερμικής ενέργειας συλλέγουν το ηλιακό φως για να παράγουν ζεστό νερό, να παρέχουν θέρμανση και ακόμη και να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια⁷⁵. Η πιο κοινή εφαρμογή είναι η παραγωγή ζεστού νερού χρησιμοποιώντας ηλιακούς συλλέκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ευρέως σε σπίτια, βιομηχανία και γεωργία. Τα συστήματα θερμικής μετατροπής χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες ανάλογα με τη θερμοκρασία

α. Εφαρμογές Θερμικής Ενέργειας Χαμηλής Θερμοκρασίας ($\leq 100^{\circ}\text{C}$)

Αυτές οι εφαρμογές χρησιμοποιούνται για διαδικασίες που απαιτούν χαμηλές θερμοκρασίες:

- Παραγωγή ζεστού νερού με τη χρήση ηλιακών συλλεκτών επίπεδης επιφάνειας (σπίτια, ξενοδοχεία, αθλητικές εγκαταστάσεις)
- Παραγωγή και αποθήκευση θερμότητας με ηλιακές πισίνες
- Συστήματα απολύμανσης και αφαλάτωσης νερού
- Θέρμανση και ψύξη κτηρίων
- Αποξήρανση γεωργικών προϊόντων (φρούτα, λαχανικά, αποξήρανση σιτηρών)
- Συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων
- Μαγείρεμα με ηλιακούς φούρνους

β. Εφαρμογές Θερμικής Ενέργειας Μεσαίας Θερμοκρασίας ($100\text{--}350^{\circ}\text{C}$)

Αυτές οι εφαρμογές χρησιμοποιούνται για διαδικασίες που απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες:

- Παραγωγή ζεστού νερού και θερμότητας με τη χρήση ηλιακών συλλεκτών σωλήνα κενού
- Συστήματα θέρμανσης βιομηχανικών διεργασιών
- Συστήματα ψύξης με ηλιακή ενέργεια (μηχανήματα ψύξης, κλιματιστικά)

γ. Εφαρμογές Θερμικής Ενέργειας Υψηλής Θερμοκρασίας ($\geq 350^{\circ}\text{C}$)

Αυτές οι εφαρμογές χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και βαριές βιομηχανικές διεργασίες:

- **Ηλιακοί πύργοι:** Συγκεντρώνουν το ηλιακό φως σε ένα σημείο χρησιμοποιώντας μεγάλους καθρέφτες για την παραγωγή ηλεκτρικής

Μέσω αυτών των τεχνολογιών, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά τόσο στην καθημερινή ζωή όσο

ενέργειας μέσω ατμοστρόβιλων.

- **Ηλιακοί φούρνοι:** Επιτρέπουν την επεξεργασία υλικών όπως μέταλλα και κεραμικά σε υψηλές θερμοκρασίες.
- **Διεργασίες τήξης μετάλλων:** Χρησιμοποιούνται στην παραγωγή μετάλλων.

6.1.5.4. Μέθοδοι Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ηλιακή Ενέργεια

Μία από τις κοινώς χρησιμοποιούμενες μεθόδους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακή ενέργεια είναι τα συστήματα Συγκεντρωμένης Ηλιακής Ενέργειας (CSP). Αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν παραβολικά, πύργους και συστήματα πιάτων. Η χρήση ηλιακών συλλεκτών είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη σε χώρες κοντά στον ισημερινό. Χώρες όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ιαπωνία, η Γαλλία, η Ιταλία, η Ελλάδα και το Ισραήλ χρησιμοποιούν ενεργά αυτά τα συστήματα. Ακόμη και σε χώρες όπως η Σουηδία, όπου οι ηλιόλουστες μέρες είναι περιορισμένες, χρησιμοποιούνται ηλιακοί συλλέκτες για την παραγωγή ζεστού νερού⁵⁸.



Εικόνα 39: Τα συστήματα Συγκεντρωμένης Ηλιακής Ενέργειας (CSP) χρησιμοποιούν καθρέφτες για να συγκεντρώσουν το ηλιακό φως και να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια αποδοτικά.



Εικόνα 40: Οι ηλιακοί φούρνοι χρησιμοποιούν παραβολικούς ανακλαστήρες για να συγκεντρώσουν το ηλιακό φως για μαγείρεμα και θέρμανση.

α. Ηλιακοί Φούρνοι

Οι ηλιακοί φούρνοι είναι συσκευές που συλλέγουν το ηλιακό φως χρησιμοποιώντας παραβολικές δομές, το οποίο μετατρέπεται σε θερμότητα. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται συνήθως για μαγείρεμα και θέρμανση νερού. Οι ηλιακοί φούρνοι είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς σε χώρες όπως το Πακιστάν, η Ινδία, η Κίνα και η Κένυα.

β. Ηλιακοί Συλλέκτες

Οι ηλιακοί συλλέκτες, γνωστοί και ως «συλλέκτες», είναι συστήματα που κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες βάσει των κατασκευαστικών τους χαρακτηριστικών:

1. Ηλιακοί συλλέκτες επίπεδης επιφάνειας (flat-plate):

Είναι ο πιο κοινός τύπος ηλιακού συλλέκτη και αποτελείται από μια επίπεδη απορροφητική επιφάνεια που απορροφά το ηλιακό φως και το μετατρέπει σε θερμότητα.

2. **Ηλιακοί συλλέκτες σωλήνων κενού (vacuum tube):** Οι συλλέκτες αυτοί χρησιμοποιούν σωλήνες κενού για την ελαχιστοποίηση της απώλειας θερμότητας, βελτιώνοντας την απόδοση, ειδικά σε ψυχρότερα κλίματα.
3. **Ηλιακοί συλλέκτες χωρίς γυαλί (non-glass):** Αυτά τα συστήματα δεν χρησιμοποιούν γυαλί ως κάλυμμα, αλλά διάφορα υλικά για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας.

Οι συλλέκτες αυτοί σχεδιάζονται με βάση την κυκλοφορία του νερού και μπορούν να είναι είτε με φυσική κυκλοφορία είτε με κυκλοφορία μέσω αντλίας, καθώς και να λειτουργούν με ανοικτά ή κλειστά κυκλώματα.

α. Επίπεδοι Συλλέκτες

Οι επίπεδοι συλλέκτες συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και τη μεταφέρουν σε ένα ρευστό ως θερμότητα. Το ρευστό μπορεί να είναι νερό, αέρας ή κάποιο άλλο υγρό. Οι συλλέκτες αέρα έχουν μεγαλύτερες θερμικές απώλειες σε σύγκριση με τους συλλέκτες υγρών. Γι' αυτό, χρησιμοποιούνται κυρίως για τη θέρμανση κατοικιών και εμπορικών κτηρίων καθώς και σε διαδικασίες αποξήρανσης. Αντίθετα, οι συλλέκτες υγρών προτιμώνται για τη θέρμανση μεγάλων κτηρίων, σε βιομηχανικές θερμικές διεργασίες και για την ψύξη κτηρίων.

Η δομή ενός συλλέκτη επίπεδης επιφάνειας αποτελείται από τρία κύρια μέρη:

- Μια απορροφητική επιφάνεια (πλάκα) με υψηλή ικανότητα απορρόφησης
- Γυάλινο ή πλαστικό κάλυμμα που τοποθετείται μπροστά από την απορροφητική πλάκα
- Κέλυφος συλλέκτη κατασκευασμένο από μέταλλο, εμποτισμένο ξύλο ή πλαστικό



Εικόνα 41: Οι συλλέκτες επίπεδης επιφάνειας απορροφούν την ηλιακή ενέργεια και τη μεταφέρουν σε ένα ρευστό για θέρμανση.



Εικόνα 42: Οι συλλέκτες σωλήνων κενού μειώνουν τις θερμικές απώλειες, αυξάνοντας την απόδοση σε ψυχρότερα κλίματα.

β. Συλλέκτες Σωλήνων Κενού

Οι συλλέκτες σωλήνων κενού είναι συστήματα σχεδιασμένα με τη χρήση γυάλινων σωλήνων κενού. Αποτελούνται από δύο αλληλοσυνδεόμενους σωλήνες, μεταξύ των οποίων έχει αφαιρεθεί ο αέρας ώστε να δημιουργηθεί περιβάλλον κενού. Με αυτόν τον τρόπο, οι θερμικές απώλειες ελαχιστοποιούνται και η ενεργειακή απόδοση αυξάνεται. Οι σωλήνες καλύπτονται με ειδική επιφάνεια που βοηθά στην καλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και στη μετατροπή της σε θερμότητα. Χάρη στη στρογγυλή τους δομή, οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν πάντα κάθετα στην επιφάνεια, γεγονός που προσφέρει μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας σε σύγκριση με τους επίπεδους συλλέκτες.

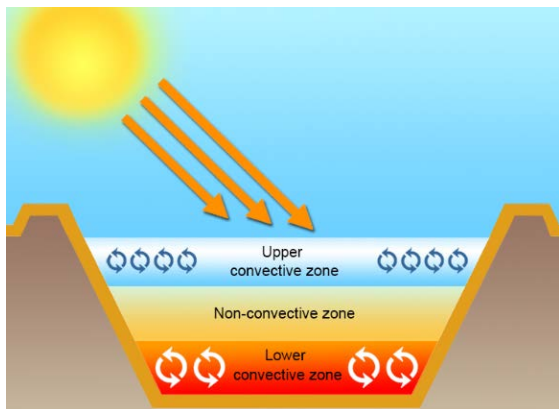
γ. Συλλέκτες Ηλιακής Ενέργειας Χωρίς Γυαλί

Οι ηλιακοί συλλέκτες αέρα χωρίς γυαλί είναι συστήματα θέρμανσης αέρα που διαθέτουν μεταλλική απορροφητική επιφάνεια χωρίς κάλυμμα από γυαλί ή παρόμοιο υλικό. Ο πιο διαδεδομένος τύπος αυτών των συστημάτων, γνωστός και ως **SolarWall**, είναι η εφαρμογή του «Διαρρέοντα Ηλιακού Συλλέκτη Αέρα». Αυτοί οι συλλέκτες χρησιμοποιούνται σε εμπορικά κτήρια, στη βιομηχανία, στον γεωργικό και κτηνοτροφικό τομέα, καθώς και σε βιομηχανικές διεργασίες για τη θέρμανση του απαιτούμενου εξωτερικού αέρα.



Εικόνα 43: Οι συλλέκτες χωρίς γυαλί, όπως το SolarWall, θερμαίνουν άμεσα τον αέρα και χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές.

Συνήθως τοποθετούνται στους εξωτερικούς τοίχους των κτηρίων για να εκμεταλλεύονται καλύτερα τη χαμηλή γωνία του ήλιου κατά τους χειμερινούς μήνες και να ωφελούνται από τις ηλιακές ακτίνες που ανακλώνται από την επιφάνεια του χιονιού.



Εικόνα 44: Οι ηλιακές πισίνες αποθηκεύουν ηλιακή θερμότητα σε νερό με στρώματα αλατιού, φτάνοντας σε θερμοκρασίες έως 90°C.

δ. Ηλιακές Πισίνες

Οι ηλιακές πισίνες είναι συστήματα που συλλέγουν και αποθηκεύουν ηλιακή ενέργεια με τη μορφή θερμότητας⁷⁷. Ο πυθμένας αυτών των πισινών, που συνήθως έχουν βάθος 5-6 μέτρα, είναι βαμμένος μαύρος για να απορροφά καλύτερα τις ηλιακές ακτίνες. Η θερμοκρασία του νερού σε ηλιακές πισίνες μπορεί να φτάσει μέχρι και τους 90°C. Υπάρχουν στρώματα με διαφορετικές αναλογίες αλατιού στην πισίνα.

Ενώ το νερό είναι πιο κρύο στα ανώτερα στρώματα λόγω της χαμηλότερης αναλογίας αλατιού, το νερό παραμένει πιο ζεστό στα κατώτερα στρώματα λόγω της υψηλότερης αναλογίας αλατιού. Το ζεστό νερό στο κατώτερο μέρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άμεσες ανάγκες θέρμανσης ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η απόδοση των ηλιακών πισινών είναι περίπου 20%. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται ευρέως, ειδικά σε χώρες όπως το Ισραήλ, οι ΗΠΑ και η Αυστραλία. Για παράδειγμα, υπάρχουν ηλιακές πισίνες με ικανότητα 150 kW και 5 MW στο Ισραήλ, 400 kW στις ΗΠΑ και 15 kW στην Αυστραλία.

ε. Ηλιακοί Καπναγωγοί (Καμινάδες)

Τα συστήματα ηλιακών καπναγωγών δημιουργούν ρεύματα αέρα χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια και μετατρέπουν αυτή την κίνηση σε ηλεκτρική ενέργεια. Μια μεγάλη δομή καλυμμένη με διαφανείς επιφάνειες απορροφά τις ηλιακές ακτίνες και θερμαίνει τον αέρα μέσα σε αυτή, περισσότερο από τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Ο θερμός αέρας ανέρχεται μέσω μιας κεκλιμένης στέγης και κατευθύνεται στον καπναγωγό. Ο ζεστός αέρας

που φτάνει στον καπναγωγό κινείται με ταχύτητα περίπου 15 m/s και περιστρέφει την ανεμογεννήτρια που έχει τοποθετηθεί εκεί, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια.

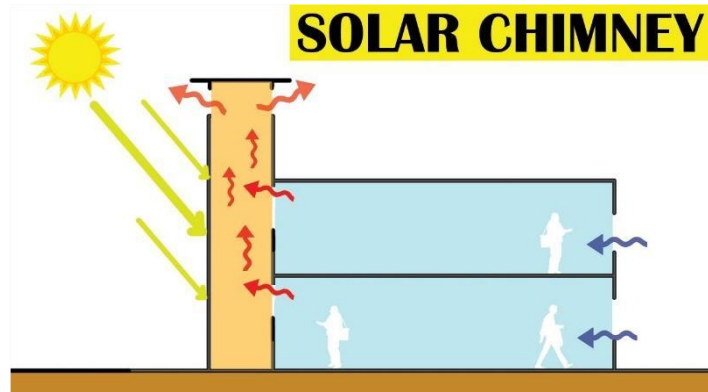
στ. Συστήματα Ηλιακής Απόσταξης Νερού

Η απόκτηση πόσιμου νερού χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια είναι μια φιλική προς το περιβάλλον και οικονομική μέθοδος. Ιδιαίτερα σε παράκτιες περιοχές όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι έντονη, η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα και αποδοτικά. Χρησιμοποιούνται δύο βασικές μέθοδοι για τη μετατροπή του θαλασσινού νερού σε πόσιμο. Στην πρώτη μέθοδο, εφαρμόζονται διαδικασίες εξάτμισης, κατάψυξης, κρυσταλλοποίησης και φιλτραρίσματος για τον διαχωρισμό του αλατιού. Στη δεύτερη μέθοδο, χρησιμοποιούνται τεχνικές

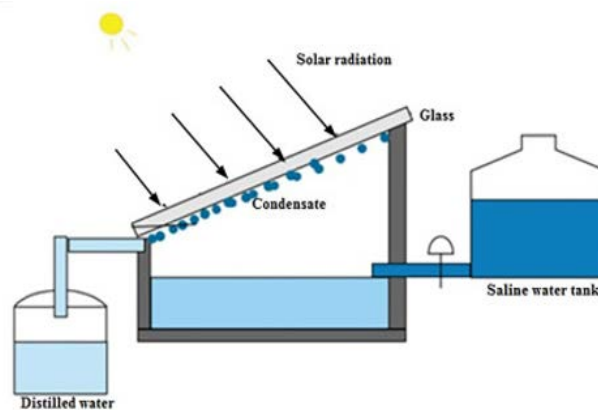
ηλεκτροδιάλυσης, εξαγωγής, ανταλλαγής ιόντων και διάχυσης. Το απλούστερο σύστημα απόσταξης νερού είναι το σύστημα απόσταξης τύπου θερμοκηπίου. Σ' αυτό το σύστημα, ο πυθμένας του αποστακτήρα είναι σχεδιασμένος με μαύρο χρώμα για να απορροφά καλύτερα το ηλιακό φως. Το πάνω μέρος είναι διαμορφωμένο με αεροστεγή τρόπο και κεκλιμένο προς το κανάλι όπου θα συλλεχθεί το φρέσκο νερό. Το ηλιακό φως που περνά μέσω της γυάλινης επιφάνειας θερμαίνει το νερό στον αποστακτήρα και το προκαλεί να εξατμιστεί. Ο ανερχόμενος υδρατμός συμπυκνώνεται στην γυάλινη επιφάνεια και μετατρέπεται σε σταγόνες νερού, οι οποίες κυλούν στην κεκλιμένη επιφάνεια και συσσωρεύονται στο δοχείο συλλογής. Όσο πιο ζεστό είναι το νερό, τόσο υψηλότερη είναι η απόδοση της απόσταξης. Όταν η εξωτερική θερμοκρασία πέφτει, η διαδικασία συμπύκνωσης επιταχύνεται, παράγοντας περισσότερα φρέσκα νερά⁷⁸.

6.1.5.5. Παθητική Θέρμανση και Ψύξη Κατοικιών με τον Ήλιο

Η γωνιακή αλλαγή των ακτίνων του ήλιου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους είναι ένας σημαντικός παράγοντας στον σχεδιασμό κτιρίων⁷⁹. Εφόσον οι ακτίνες του ήλιου είναι πιο κάθετες το καλοκαίρι και πιο οριζόντιες το χειμώνα, έχουν αναπτυχθεί αρχιτεκτονικές λύσεις για να προσαρμοστούν σε αυτήν την κατάσταση. Κατασκευές που αποτρέπουν τις ακτίνες του

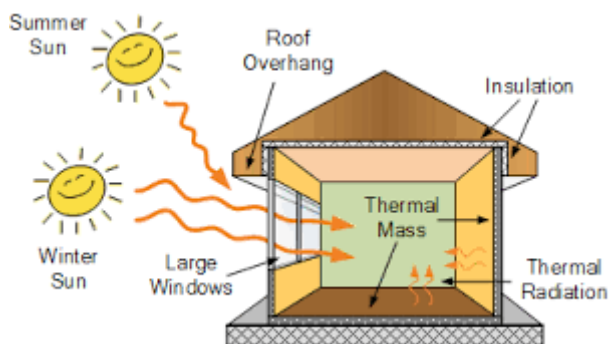


Εικόνα 45: Οι ηλιακοί καπναγωγοί χρησιμοποιούν θερμό αέρα για να κινήσουν τουρμπίνες και να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 46: Τα συστήματα ηλιακής απόσταξης καθαρίζουν το αλμυρό νερό χρησιμοποιώντας τη θερμότητα του ήλιου⁷⁸.

ήλιου από το να εισέλθουν στο εσωτερικό το καλοκαίρι και επιτρέπουν να εισέρχονται στο εσωτερικό στο μέγιστο επίπεδο το χειμώνα αυξάνουν την ενεργειακή απόδοση⁸⁰.



Εικόνα 47: Ο παθητικός ηλιακός σχεδιασμός μεγιστοποιεί το φως του ήλιου το χειμώνα και παρέχει σκίαση το καλοκαίρι για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης⁷⁹.

Αν βρίσκεστε στο βόρειο ημισφαίριο, οι νότιες όψεις των κτιρίων επωφελούνται περισσότερο από την ηλιακή ακτινοβολία κατά τους χειμερινούς μήνες. Συνεπώς, η θέση των παραθύρων και ο σχεδιασμός των συστημάτων σκίασης είναι πολύ σημαντικοί. Επιπλέον, η μέθοδος μόνωσης που ονομάζεται «θερμομόνωση» κρατά τα σπίτια ζεστά μειώνοντας τις θερμικές απώλειες το χειμώνα και τα διατηρεί δροσερά το καλοκαίρι, μειώνοντας την ανάγκη για ψύξη. Τέτοιες παθητικές σχεδιαστικές μέθοδοι συμβάλλουν τόσο στο περιβάλλον όσο και στον προϋπολογισμό μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας.

α. Θέρμανση Θερμοκηπίου με Ηλιακή Ενέργεια

Η ρύθμιση της θερμοκρασίας στη θερμοκηπιακή καλλιέργεια αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την υγιή ανάπτυξη των φυτών και την επίτευξη υψηλών αποδόσεων. Το αυξανόμενο κόστος της θέρμανσης με συμβατικά καύσιμα έχει εντείνει την αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια, η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των θερμοκηπίων έχει γνωρίσει ευρεία εφαρμογή. Οι πλαστικές ή υαλώδεις επενδύσεις των θερμοκηπιακών κατασκευών σχεδιάζονται έτσι ώστε να επιτρέπουν τη μέγιστη δυνατή διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας. Το ηλιακό φως που εισέρχεται απορροφάται από το έδαφος, μετατρέπεται σε θερμότητα και παγιδεύεται εντός του χώρου. Με αυτόν τον τρόπο, διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, δημιουργώντας κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη των φυτών. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας στη θέρμανση των θερμοκηπίων αποτελεί μια οικονομικά αποδοτική και περιβαλλοντικά φιλική λύση.

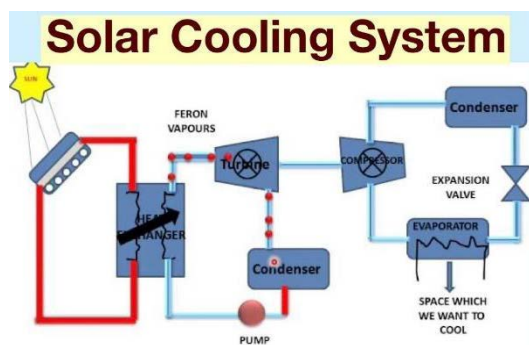


Εικόνα 48: Τα ηλιακά ξηραντήρια χρησιμοποιούν θερμαινόμενο αέρα για την αποδοτική και φυσική ξήρανση γεωργικών προϊόντων.

β. Ξήρανση με Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται ως μία φυσική και οικονομική μέθοδος για την ξήρανση διαφόρων υλικών. Η διαδικασία της ξήρανσης πραγματοποιείται είτε με την έκθεση του προϊόντος απευθείας στην ηλιακή ακτινοβολία (ξηρανση σε ανοιχτό χώρο), είτε με τη διοχέτευση αέρα, θερμαινόμενου από τον ήλιο, επάνω στο προϊόν. Τα συστήματα στα οποία η ξήρανση επιτυγχάνεται μέσω της κίνησης θερμού αέρα από ηλιακή ενέργεια ονομάζονται ηλιακά ξηραντήρια. Τα εν λόγω συστήματα μπορούν να εφαρμοστούν σε ποικίλους τομείς, από τα τρόφιμα έως τα γεωργικά

υλικά. Οι μέθοδοι ηλιακής ξήρανσης προτιμώνται λόγω του χαμηλού κόστους τους και της δυνατότητας που προσφέρουν για ξήρανση με ταυτόχρονη διατήρηση της ποιότητας του προϊόντος.



Εικόνα 49: Τα συστήματα ηλιακής ψύξης προσφέρουν οικολογικές λύσεις για την ψύξη και τον κλιματισμό.

γ. Ψύξη με Ηλιακή Ενέργεια

Τα συστήματα ψύξης με ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιούνται σε τομείς όπως η συντήρηση τροφίμων, η παραγωγή πάγου, η ψύξη κτιρίων και ο κλιματισμός εσωτερικών χώρων. Ψυκτικοί θάλαμοι, τουριστικές εγκαταστάσεις και εξοχικές κατοικίες συγκαταλέγονται στους πιο συνήθεις χώρους εφαρμογής των συστημάτων αυτών. Η ψύξη με ηλιακή ενέργεια μπορεί να υλοποιηθεί μέσω διαφόρων μεθόδων, με πλέον διαδεδομένη την ψύξη μέσω συστημάτων απορρόφησης. Η συγκεκριμένη μέθοδος προτιμάται λόγω της υψηλής

αποδοτικότητάς της και της απλότητας της αρχής λειτουργίας της. Στο σύστημα αυτό, το διάλυμα που θερμαίνεται με ηλιακή ενέργεια εξατμίζεται σε διαδοχικά στάδια και στη συνέχεια υγροποιείται εκ νέου, παρέχοντας έτσι το επιθυμητό ψυκτικό αποτέλεσμα. Τα συστήματα αυτά, που λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια, αποτελούν μια περιβαλλοντικά φιλική εναλλακτική λύση, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα.

6.1.5.6. Συγκεντρωτικά Ηλιακά Συστήματα Παραγωγής Ενέργειας (CSP) και Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Είναι δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακή ενέργεια μέσω θερμικών μεθόδων χάρη στα συγκεντρωτικά συστήματα. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν την επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών συγκεντρώνοντας τις ηλιακές ακτίνες σε ένα συγκεκριμένο σημείο ή γραμμή. Τα συγκεντρωτικά θερμικά συστήματα μπορούν να είναι γραμμικά ή τύπου σημείου και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας ατμοστρόβιλους με τον κύκλο Rankine ή τουρμπίνες αερίου με τους κύκλους Stirling ή Brayton. Η θερμότητα που παράγεται από τον ήλιο μεταφέρεται στο σύστημα παραγωγής ενέργειας είτε άμεσα μέσω παραγωγής ατμού είτε μέσω ουσιών όπως ζεστό λάδι και λιωμένο αλάτι. Δεδομένου ότι οι θερμοκρασίες που μπορούν να επιτευχθούν κυμαίνονται από 200°C έως 1500°C, είναι εφικτή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω θερμοδυναμικών κύκλων ισχύος. Επειδή οι πυρηνικοί και θερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας βασίζονται σε παρόμοιες αρχές, υπάρχει εκτενής εμπειρία στην εφαρμογή των συστημάτων CSP. Επιπλέον, τα συστήματα CSP μπορούν να υποστηριχθούν από ορυκτά καύσιμα, όπως το φυσικό αέριο ή στερεά καύσιμα, όταν η ηλιοφάνεια είναι ανεπαρκής. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων CSP είναι ότι μπορούν να αποθηκεύουν ηλιακή ενέργεια με τη μορφή θερμότητας. Αυτή η δυνατότητα, σε αντίθεση με τα φωτοβολταϊκά (PV) συστήματα, προσφέρει τη δυνατότητα να διασφαλίζεται η αδιάλειπτη τροφοδοσία ενέργειας. Για τον λόγο αυτό, τα συστήματα CSP ονομάζονται επίσης "Ηλιακοί Θερμικοί Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας". Όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να γίνει η εξής κατάταξη για τα συγκεντρωτικά συστήματα:

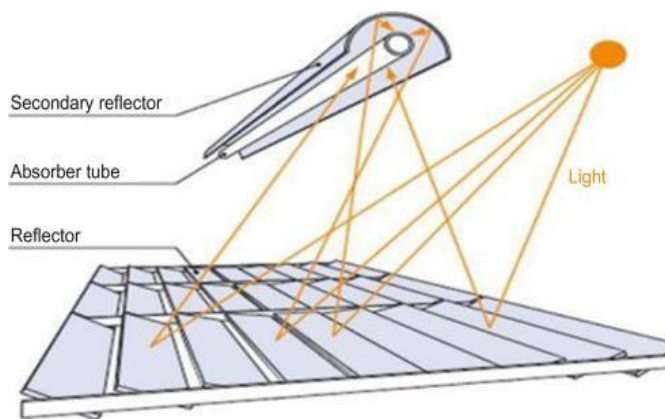
1. Γραμμικοί Συγκεντρωτές

α. Συλλέκτες Παραβολικών Κοιλάδων (Parabolic Trough Collectors)

Οι συλλέκτες παραβολικών κοιλάδων είναι συστήματα που επιτυγχάνουν υψηλές θερμοκρασίες συγκεντρώνοντας τις ηλιακές ακτίνες κατά μήκος μιας γραμμής. Η εσωτερική επιφάνεια των συλλεκτών καλύπτεται με ανακλαστικό υλικό και κατευθύνει τις ακτίνες σε ένα σωλήνα που βρίσκεται στο εστιακό σημείο. Συνήθως χρησιμοποιείται λάδι ως υγρό μεταφοράς θερμότητας στον σωλήνα. Αυτό το υγρό θερμαίνεται στους 350-400°C και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Η αποδοτικότητα αυξάνεται χάρη στα κινητά συστήματα που ακολουθούν τις ηλιακές ακτίνες.



Εικόνα 50: Οι συλλέκτες παραβολικών κοιλάδων συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε έναν κεντρικό σωλήνα για την παραγωγή θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 51: Οι συγκεντρωτές με καθρέπτες Fresnel χρησιμοποιούν επίπεδους, ρυθμιζόμενους καθρέπτες για να κατευθύνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε έναν σωλήνα απορροφητή για την παραγωγή θερμικής ενέργειας⁸¹.

β. Συγκεντρωτές Καθρεπτών Fresnel

Οι συγκεντρωτές καθρεπτών Fresnel είναι ένα σύστημα που συγκεντρώνει τη γραμμική ηλιακή ακτινοβολία για να επιτευχθούν υψηλές θερμοκρασίες⁸¹. Λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με τους συλλέκτες παραβολικών κοιλάδων, αλλά χρησιμοποιούν πολλά μικρά, κινητά κάτοπτρα με επίπεδη επιφάνεια. Αυτά τα κάτοπτρα ακολουθούν τον ήλιο σε έναν άξονα και κατευθύνουν τις ακτίνες στον συλλέκτη στην κορυφή. Θεωρούνται μια οικονομική εναλλακτική λύση λόγω του χαμηλού κόστους παραγωγής τους. Χρησιμοποιούνται στο Nevada Solar One, στο εργοστάσιο SEGS στην Καλιφόρνια και σε διάφορα εργοστάσια στην Ισπανία.

2. Συγκεντρωτές Σημείου



Εικόνα 52: Οι συγκεντρωτές καθρεπτών Fresnel χρησιμοποιούν επίπεδους, ρυθμιζόμενους καθρέπτες για να κατευθύνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε έναν σωλήνα απορροφητή για την παραγωγή θερμικής ενέργειας.

β. Συστήματα Κεντρικών Παραληπτών

Τα συστήματα κεντρικών παραληπτών έχουν μια δομή τύπου πύργου. Το σύστημα βασίζεται σε μεγάλους καθρέπτες (ηλιοστάτες) που κατευθύνονται προς τον πύργο⁸². Αυτοί οι υπολογιστικά ελεγχόμενοι καθρέπτες αντανακλούν συνεχώς τις ηλιακές ακτίνες στον απορροφητή στην κορυφή του πύργου. Τα υγρά μεταφοράς θερμότητας, όπως το λιωμένο αλάτι, στον απορροφητή φτάνουν σε θερμοκρασίες από 350-600°C. Αυτή η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια ατμοστρόβιλων.

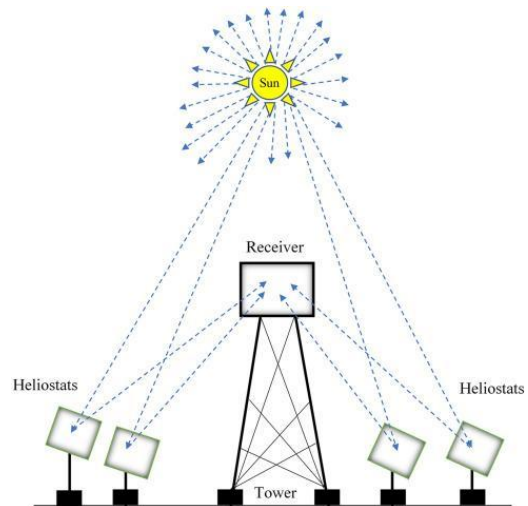
6.1.5.7. Συστήματα και εφαρμογές που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια απευθείας από τις ηλιακές ακτίνες

α. Φωτοβολταϊκά Κύτταρα και Πάνελ

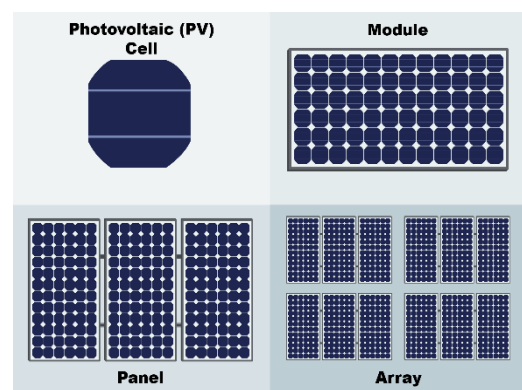
Τα συστήματα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια απευθείας από ηλιακή ενέργεια ονομάζονται **Φωτοβολταϊκά Συστήματα (PV Systems)**⁸³. Τα βασικά δομικά στοιχεία αυτών των συστημάτων είναι τα φωτοβολταϊκά κύτταρα (PV cells). Όταν το φως του ήλιου προσπίπτει στην επιφάνεια των

α. Συστήματα Παραβολικών Πιάτων

Αυτά τα συστήματα αποτελούνται από ανακλαστήρες σε σχήμα πιάτου που ακολουθούν τον ήλιο κατά τη διάρκεια της ημέρας και συγκεντρώνουν τις ακτίνες στο εστιακό σημείο. Οι ακτίνες του ήλιου κατευθύνονται στο εστιακό σημείο με τη βοήθεια υπολογιστικά ελεγχόμενων καθρεπτών, γνωστών ως ηλιοστάτες. Το υγρό στον σωλήνα απορροφητή θερμαίνεται στους 600-700°C. Αυτή η θερμότητα μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω ατμοστρόβιλων.



Εικόνα 53: Τα συστήματα παραβολικών πιάτων ακολουθούν τον ήλιο και συγκεντρώνουν τις ακτίνες του για την παραγωγή θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας για την παραγωγή ενέργειας⁸².

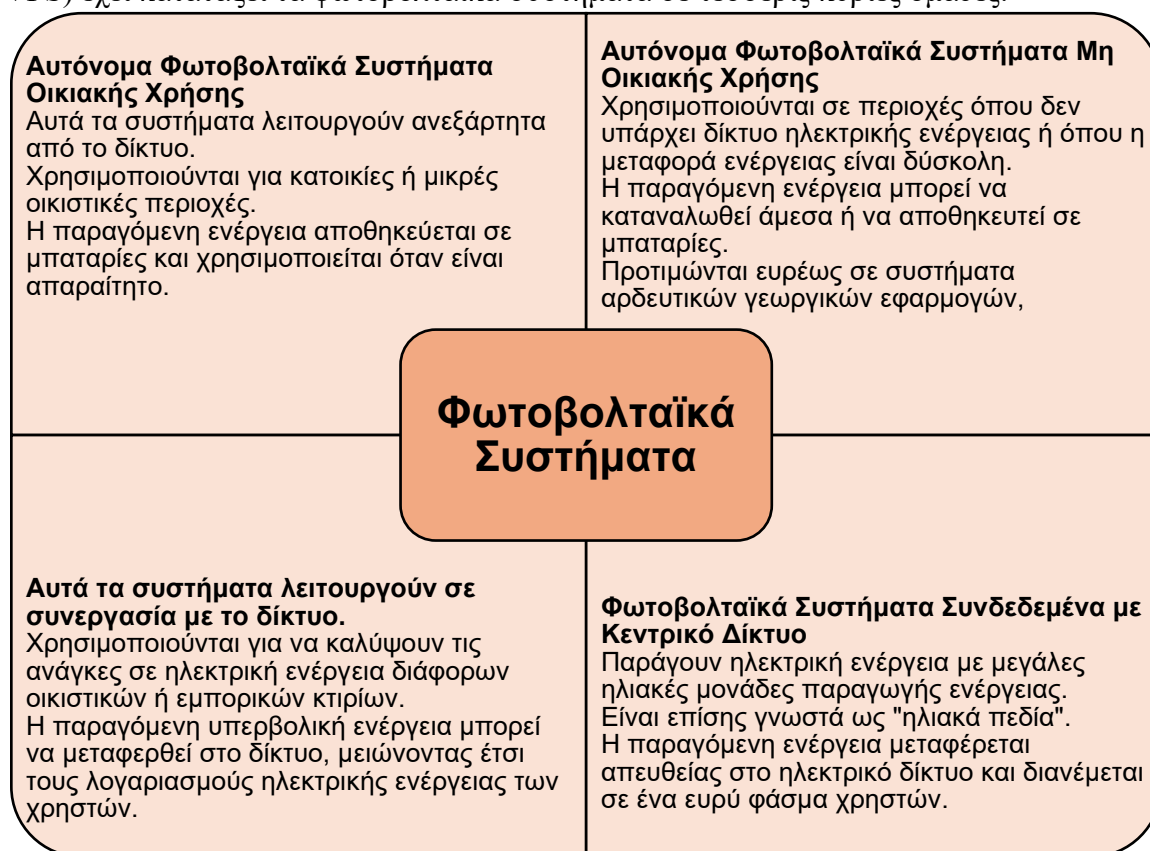


Εικόνα 54: Τα φωτοβολταϊκά συστήματα κατασκευάζονται από φωτοβολταϊκά κύτταρα, τα οποία συνδυάζονται σε μονάδες, πάνελ και συστοιχίες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας⁸³.

φωτοβολταϊκών κυττάρων, παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Ωστόσο, ένα μεμονωμένο κύτταρο μπορεί να παράγει πολύ μικρή ποσότητα συνεχούς ρεύματος (DC). Για μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αυτά τα κύτταρα συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα για να σχηματίσουν φωτοβολταϊκά πάνελ (PV panels)⁸⁴.

Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι τα εξής:

- Είναι ανθεκτικά και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση, καθώς δεν διαθέτουν μηχανικά κινούμενα μέρη.
 - Λειτουργούν αθόρυβα και δεν εκπέμπουν επιβλαβή αέρια στο περιβάλλον.
 - Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.
 - Μπορούν να σχεδιαστούν σε διάφορες ισχύες, από μικρές επιπέδες μικροβάτ μέχρι μεγαβάτ.
- Ωστόσο, απαιτείται μεγάλη έκταση για την εγκατάσταση ενός συστήματος υψηλής απόδοσης. Το Πρόγραμμα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων της Διεθνούς Υπηρεσίας Ενέργειας (IEA-PVPS) έχει κατατάξει τα φωτοβολταϊκά συστήματα σε τέσσερις κύριες ομάδες:



β. Οικιακά Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα είναι συστήματα που καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες των σπιτιών, μετατρέποντας την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Η υπερβολική ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα ηλιακά πάνελ μπορεί να μεταφερθεί στο δίκτυο της πόλης, και η ενέργεια μπορεί να αντληθεί από το δίκτυο όταν είναι απαραίτητο⁸⁵.



Εικόνα 55: Τα οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια, τροφοδοτώντας τα σπίτια και μεταφέροντας την υπερβολική ενέργεια στο δίκτυο.

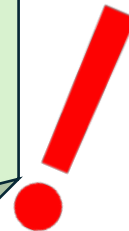
Χαρακτηριστικά:

- Δεν απαιτείται αποθήκευση ενέργειας, καθώς η υπερβολική ενέργεια αποστέλλεται απευθείας στο δίκτυο.
- Η συνεχής (DC) ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα πάνελ μετατρέπεται σε εναλλασσόμενη (AC) με τη βοήθεια αναστροφέων και γίνεται χρησιμοποιήσιμη στο σπίτι.
- Η ισχύς του συστήματος μπορεί να κυμαίνεται από 1 kW έως 50 kW.
- Χρησιμοποιούνται διπλοί μετρητές: Ο ένας μετρά την ηλεκτρική ενέργεια που αντλείται από το δίκτυο, ενώ ο άλλος μετρά την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται στο δίκτυο.
- Ηλεκτρονικές συσκευές ελέγχου παρέχουν ασφάλεια, απενεργοποιώντας το σύστημα σε περίπτωση ενδεχόμενης βλάβης.

Συστατικά των οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων:

- **Ηλιακά πάνελ:** Παρέχουν παραγωγή ενέργειας ανάλογα με τις ανάγκες.
- **Αναστροφέας (Inverter):** Μετατρέπει τη συνεχή (DC) ηλεκτρική ενέργεια σε εναλλασσόμενη (AC), η οποία χρησιμοποιείται στο σπίτι.
- **Ηλεκτρονικές συσκευές ελέγχου:** Εξασφαλίζουν την ασφάλεια του συστήματος και το σταματούν σε περίπτωση βλαβών.
- **Μετρητές:** Παρακολουθούν την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας.

Τα οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα προσφέρουν μια **φίλική προς το περιβάλλον** και οικονομική πηγή ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και προωθώντας τη βιώσιμη χρήση ενέργειας.



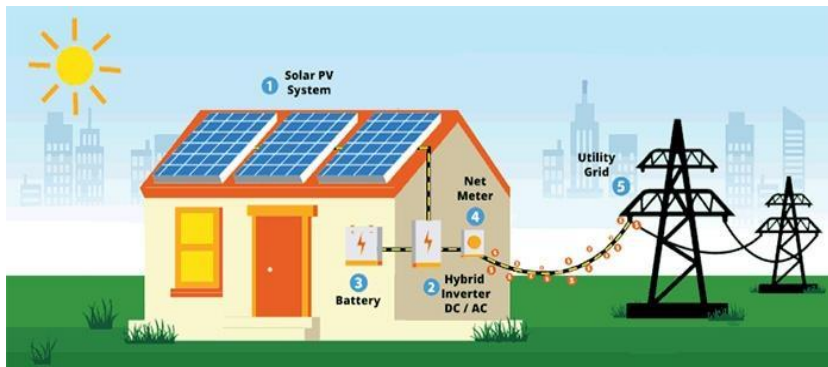
γ. Φωτοβολταϊκά Συστήματα Εκτός Δικτύου (Off-Grid PV Systems)

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα εκτός δικτύου χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε περιοχές όπου η πρόσβαση στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι δύσκολη ή αδύνατη. Αυτά τα συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια και καθιστούν δυνατή την παροχή ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, με λύσεις αποθήκευσης. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται σε μπαταρίες για να χρησιμοποιηθεί όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι ανεπαρκής⁸⁶.

Οι περιοχές χρήσης των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι ιδιαίτερα εκτεταμένες:

- Εσωτερικός και εξωτερικός φωτισμός
- Αγροτικές ραδιοφωνικές, τηλεφωνικές και ασύρματες συσκευές
- Σταθμοί επικοινωνίας
- Προστασία πετρελαιοαγωγών
- Τηλεμετρικές μετρήσεις σε συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και νερού
- Σταθμοί μετεωρολογικών παρατηρήσεων
- Συλλογικά συστήματα αρδευτικών γεωργικών εφαρμογών
- Πύργοι παρακολούθησης δασών

- Συστήματα ψύξης για ιατρικές και εμβολιαστικές εφαρμογές
- Σταθμοί παρατήρησης σεισμών και καιρικών φαινομένων
- Φάροι
- Λειτουργικά συστήματα σε περιοχές απομακρυσμένες από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας
- Συστήματα πρώτων βοηθειών, συναγερμού και ασφαλείας
- Συστήματα προειδοποίησης κυκλοφορίας
- Στρατιωτικά συστήματα
- Ηλεκτρικά οχήματα
- Διαστημικές μελέτες



Εικόνα 56: Τα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα συνδυάζουν ηλιακά πάνελ με μπαταρίες και το δίκτυο για να εξασφαλίσουν συνεχή και αξιόπιστη παροχή ενέργειας.

φωτοβολταϊκά πάνελ. Επιπλέον, μπορεί να υπάρχει ένα σύστημα που παράγει ανανεώσιμη ενέργεια, όπως ένας αιολικός στροβιλοκινητήρας ή ένας ντιζελοκινητήρας, το οποίο παρέχει δευτερεύουσα ενέργεια στο σύστημα.

ε. Φωτοβολταϊκά Κελιά και Πάνελ

Τα φωτοβολταϊκά κελιά είναι ηλιακά κύτταρα κατασκευασμένα από ημιαγώγιμα υλικά που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Μπορούν να είναι τετράγωνα, ορθογώνια ή κυκλικά. Όταν το φως πέφτει πάνω στα ηλιακά κύτταρα, δημιουργείται μια ηλεκτρική τάση στις άκρες τους. Η αποδοτικότητα των κυττάρων μπορεί να κυμαίνεται από 5% έως 32%, ανάλογα με τη δομή τους. Για να παραχθεί μεγαλύτερη ισχύς, τα κύτταρα συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα για να σχηματίσουν ηλιακά πάνελ (ηλιακά μοντέλα). Η ενέργεια που παράγεται από αυτά τα πάνελ μπορεί να κυμαίνεται από μερικά βατ μέχρι μεγαβάτ. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, καθώς μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια και μπορούν να λειτουργούν χωρίς την ανάγκη επιπλέον ηλεκτρονικού κυκλώματος⁸⁷.

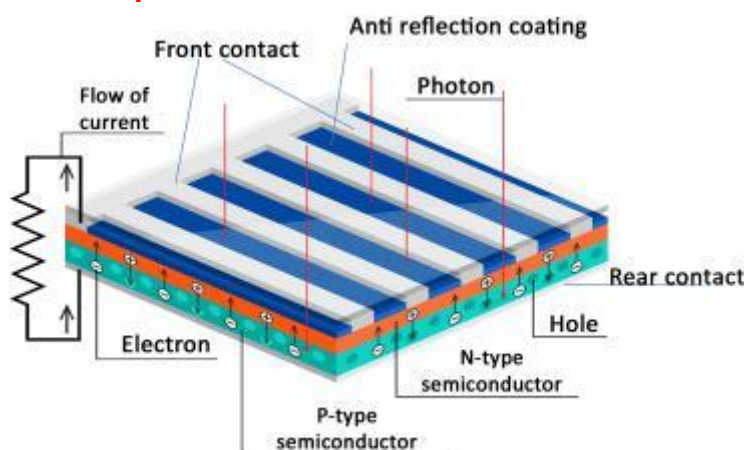
δ. Υβριδικά Συνδεδεμένα Συστήματα

Στα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία ονομάζονται επίσης υβριδικά συνδεδεμένα συστήματα, υπάρχουν και άλλα συστήματα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια εκτός από τα ηλιακά πάνελ. Ο κύριος παραγωγός ενέργειας είναι τα

στ. Υλικά που Χρησιμοποιούνται στα Φωτοβολταϊκά Κελιά

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα κατασκευάζονται από ειδικά υλικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το πιο κοινώς χρησιμοποιούμενο υλικό είναι το κρυσταλλικό πυρίτιο^{88,89}. Τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κύτταρα χωρίζονται σε δύο ομάδες: το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο και το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο. Αυτά τα υλικά παρέχουν αποδοτικότητα μεταξύ 14% και 19% κατά τη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται υλικά όπως το άμορφο πυρίτιο (a-Si), το διχλωρίδιο του καδμίου (CdTe) και το σεληνιούχο χαλκό-ινδίου (CIS). Το άμορφο πυρίτιο χρησιμοποιείται στην τεχνολογία λεπτών φιλμ και η αποδοτικότητά του κυμαίνεται μεταξύ 4% και 8%. Το διχλωρίδιο του καδμίου είναι φθηνότερο και πιο αποδοτικό από άλλα κύτταρα λεπτού φιλμ. Το CIS παρέχει την υψηλότερη αποδοτικότητα μεταξύ των τεχνολογιών λεπτού φιλμ.

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα νέας γενιάς περιλαμβάνουν τα φωτοβολταϊκά κύτταρα συγκεντρωτή και τα οργανικά φωτοβολταϊκά κύτταρα. Στα φωτοβολταϊκά κύτταρα συγκεντρωτή, η ηλιακή ακτινοβολία συλλέγεται με φακούς ή καθρέπτες και ενισχύεται. Τα οργανικά φωτοβολταϊκά κύτταρα παράγονται από ευέλικτα υλικά όπως πλαστικό ή πολυμερές. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα διαθέτουν δύο διαφορετικά στρώματα, το τύπου n και το τύπου p, για την λειτουργία τους. Αυτά τα στρώματα επιτρέπουν τη μετακίνηση των ηλεκτρικών φορτίων. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει πάνω σε αυτό το κύτταρο, δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα μέσα και έτσι παράγεται ενέργεια.



Εικόνα 57: Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας στρώματα ημιαγωγών, όπου τα φωτόνια δημιουργούν ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών και παράγουν ρεύμα⁸⁹.

6.2. Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο. Καθώς οι ακτίνες του ήλιου θερμαίνουν τη Γη, δεν παραδίδουν την ίδια ποσότητα θερμότητας σε κάθε περιοχή⁹⁰. Όταν ο αέρας θερμαίνεται, ανέρχεται και αντικαθίσταται από ψυχρότερο αέρα. Αυτή η κίνηση δημιουργεί διαφορές πίεσης στην ατμόσφαιρα, προκαλώντας τον άνεμο. Ο άνεμος είναι το ρεύμα του αέρα που κινείται από τις περιοχές υψηλής πίεσης προς τις περιοχές χαμηλής πίεσης. Μια πολύ μεγάλη ποσότητα ενέργειας φτάνει στη Γη από τον ήλιο σε μία ώρα, και ένα μικρό μέρος αυτής



Εικόνα 58: Οι ανεμογεννήτριες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του κινούμενου αέρα, που αρχικά προκαλείται από τη θέρμανση της Γης από τον Ήλιο, σε καθαρή, ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια.

μετατρέπεται σε άνεμο. Η αιολική ενέργεια είναι στην πραγματικότητα η ενέργεια του ήλιου που μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια. Η αιολική ενέργεια είναι μια συνεχώς συμβαίνουσα και ανεξάντλητη πηγή ενέργειας που προκύπτει φυσικά. Επιπλέον, δεν εκπέμπει επιβλαβή αέρια όπως τα ορυκτά καύσιμα και είναι φιλική προς το περιβάλλον.

6.2.1. Αιολική Ενέργεια Παγκόσμια

Η παλαιότερη μηχανή που χρησιμοποιεί αιολική ενέργεια είναι ο ανεμόμυλος. Πιστεύεται ότι χρησιμοποιήθηκε στην Αλεξάνδρεια περίπου 3000 χρόνια πριν. Είναι γνωστό ότι οι Τούρκοι ίδρυσαν ανεμόμυλους το 640 και αυτοί διαδόθηκαν στην Ευρώπη με τις Σταυροφορίες. Σύμφωνα με γραπτά έγγραφα, οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν μεταξύ του Αφγανιστάν και του Ιράν το 644 μ.Χ. Οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν στην Κίνα για την άρδευση των ρυζοκαλλιεργειών μεταξύ 750-850 μ.Χ. Ενώ οι ανεμόμυλοι που χρησιμοποιούνταν στην Ανατολή είχαν κατακόρυφο άξονα, αυτοί εξελίχθηκαν με οριζόντιο άξονα στη Δύση. Ο πρώτος ανεμόμυλος με οριζόντιο άξονα χρησιμοποιήθηκε στο Βασίλειο της Νορμανδίας το 1180⁹¹. Οι μηχανές που χρησιμοποιούσαν αιολική ενέργεια αναπτύχθηκαν στις Κάτω Χώρες στις αρχές του 18ου αιώνα και στη Γερμανία στα τέλη του 19ου αιώνα. Το 1850, οι αμερικανικοί ανεμόμυλοι με πολλές πτέρυγες και οδηγούς ανέμου άρχισαν να χρησιμοποιούνται. Η χρήση της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αναπτύχθηκε μετά την ίδρυση του πρώτου εργοστασίου παραγωγής ενέργειας στη Νέα Υόρκη το 1882.



Εικόνα 59: Οι ανεμόμυλοι, οι πρώτοι μηχανισμοί που κινούνται με αιολική ενέργεια, εξελίχθηκαν από τα αρχαία σχέδια κάθετου άξονα στην Ασία σε τουρμπίνες οριζόντιου άξονα στην Ευρώπη, οδηγώντας τελικά στην σύγχρονη αιολική ενέργεια που χρησιμοποιείται παγκοσμίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στη Δανία το 1891. Στη δεκαετία του 1910, η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας έγινε διαδεδομένη στις μεγάλες πόλεις, αλλά η αιολική ενέργεια παρέμεινε στο παρασκήνιο λόγω της οικονομίας των καυσίμων που βασίζονταν στο πετρέλαιο εκείνη την εποχή. Η αιολική ενέργεια άρχισε να αναπτύσσεται ραγδαία τη δεκαετία του 1990 και έγινε διαδεδομένη στην Αμερική και στην Ευρώπη. Για πολλά χρόνια, η Γερμανία ήταν η χώρα με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ικανότητα αιολικής ενέργειας στον κόσμο, αλλά το 2008 οι Ηνωμένες Πολιτείες ξεπέρασαν τη Γερμανία. Το 2010, η Κίνα σημείωσε μια σημαντική πρόοδο και κατέκτησε την πρώτη θέση. Ακολουθούν η Αμερική, η Γερμανία, η Ινδία, η Ισπανία, η Αγγλία, η Γαλλία, ο Καναδάς και η Δανία.

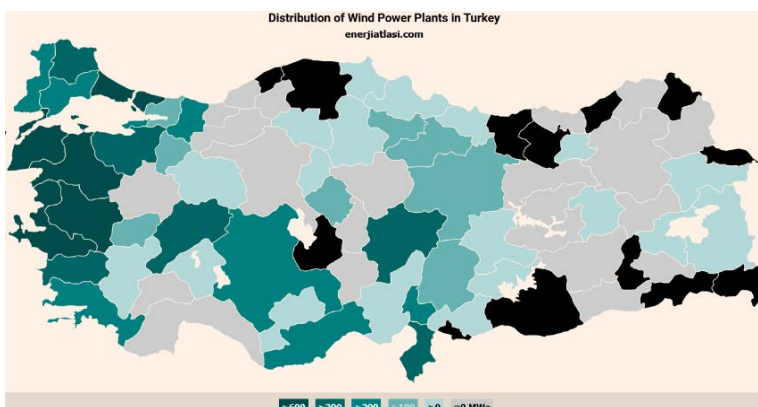
6.2.2. Η Αιολική Ενέργεια στις Χώρες των Εταίρων

6.2.2.1. Η Αιολική Ενέργεια στην Τουρκία

Αν και η Τουρκία δεν ανήκει στις κορυφαίες χώρες του κόσμου σε όρους ικανότητας αιολικής ενέργειας, είναι μία από τις ηγετικές χώρες σε όρους δυναμικού. Βρίσκεται ανάμεσα στις κορυφαίες χώρες όσον αφορά το δυναμικό αιολικής ενέργειας, ιδιαίτερα στην Ευρώπη. Το δυναμικό αιολικής ενέργειας της Τουρκίας έχει υπολογιστεί σε 48.000 MW, λαμβάνοντας υπόψη περιοχές όπου οι άνεμοι ξεπερνούν τα 7,5 m/s σε ύψος 50 μέτρων από το έδαφος. Οι πρώτες μελέτες για την αιολική ενέργεια στην Τουρκία ξεκίνησαν με ακαδημαϊκή έρευνα. Το Πανεπιστήμιο της Άγκυρας το 1960, το METU και το Πανεπιστήμιο Αιγαίου το 1970, και το TÜBİTAK-MAM το 1980 πραγματοποίησαν μελέτες στον τομέα αυτό. Η Διοίκηση Ερευνών Ηλεκτρικών Πόρων (ΕΙΕ) που υπάγεται στο Υπουργείο Ενέργειας και Φυσικών Πόρων ξεκίνησε τις εργασίες της για την αιολική ενέργεια το 1981, και ένα υποκατάστημα δημιουργήθηκε στον τομέα αυτό το 1989. Στο πλαίσιο του Έργου Τουρκικού Άτλαντα Αιολικής Ενέργειας, ιδρύθηκαν σταθμοί παρατήρησης σε διάφορες περιοχές και συντάχθηκε ο χάρτης αιολικής ενέργειας της Τουρκίας.

Οι περιοχές με το υψηλότερο δυναμικό αιολικής ενέργειας στην Τουρκία είναι οι εξής:

1. Περιοχή Μαρμαρά
2. Περιοχή Αιγαίου
3. Περιοχή Δυτικής Μαύρης Θάλασσας
4. Περιοχή Κεντρικής Ανατολίας
5. Περιοχή Νοτιοανατολικής Ανατολίας
6. Περιοχή Ανατολικής Ανατολίας



Εικόνα 60: Χάρτης που δείχνει την κατανομή των αιολικών σταθμών παραγωγής ενέργειας στην Τουρκία σύμφωνα με τη εγκατεστημένη ικανότητα (MW).

Ένα σημαντικό βήμα στην αιολική ενέργεια στην Τουρκία ήταν η ίδρυση του πρώτου αιολικού πάρκου στο χωριό Γκερμινιάν της επαρχίας Τσεσμέ στην περιοχή της Σμύρνης το 1998. Αυτός ο σταθμός παραγωγής ενέργειας, ο οποίος περιλαμβάνει τρεις ανεμογεννήτριες με ικανότητα 500 kW η καθεμία, έχει συνολική ισχύ 1,5 MW. Πολλοί αιολικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας έχουν τεθεί σε λειτουργία από τη δεκαετία του 2000 και μετά. Σύμφωνα με τους στόχους του Υπουργείου Ενέργειας και Φυσικών Πόρων για το 2023, προβλέπεται η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος στην αιολική ενέργεια σε 20.000 MW, στην ηλιακή ενέργεια σε 5.000 MW και στην γεωθερμική ενέργεια σε 1.000 MW. Αυτοί οι στόχοι δείχνουν ότι η αιολική ενέργεια είναι ένας από

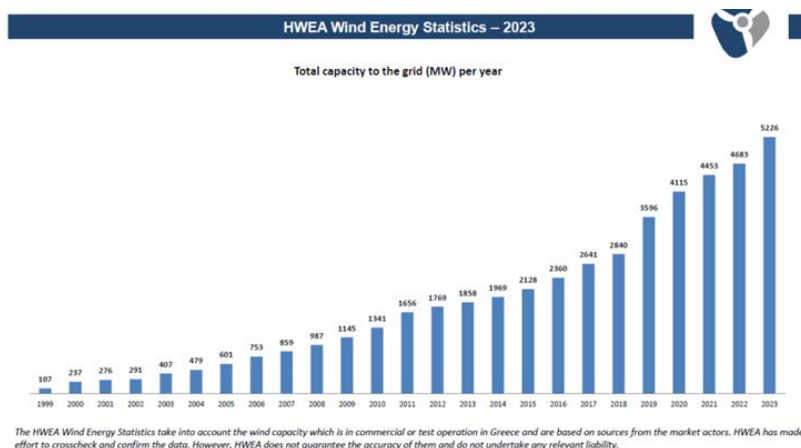


Figure 61: Wind turbines generate electricity from kinetic wind energy, offering a clean and renewable energy source.

τους πιο αναπτυγμένους τομείς μεταξύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Τουρκία. Στα έργα που πραγματοποιούνται για την επίτευξη αυτών των στόχων περιλαμβάνεται το έργο Κέντρο Παρακολούθησης και Πρόβλεψης Αιολικής Ενέργειας, το οποίο εκτελείται από κοινού από το Υπουργείο Ενέργειας και Φυσικών Πόρων και την Γενική Διεύθυνση Διαστήματος και Μετεωρολογίας του TÜBİTAK. Το σύστημα που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο αυτού του έργου προγραμματίζεται να εφαρμοστεί σε ευρύτερη περιοχή.

6.2.2.2. Η Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα

Η Ελλάδα έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, με την εγκατεστημένη ικανότητα αιολικής ενέργειας να φτάνει τα 5.226 MW μέχρι το τέλος του 2023, από 1.000 MW το 2010. Αυτή η ανάπτυξη αντικατοπτρίζει τη δέσμευση της χώρας στην επέκταση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι περιοχές με το υψηλότερο δυναμικό αιολικής ενέργειας περιλαμβάνουν την Κεντρική Ελλάδα, ιδιαίτερα την περιφέρεια της Εύβοιας, η οποία είχε εγκατεστημένη ικανότητα 548 MW μέχρι το τέλος του 2012, αντιπροσωπεύοντας το 31,3% της συνολικής αιολικής ενέργειας της χώρας εκείνη την εποχή. Επιπλέον, τα νησιά του Αιγαίου και μέρη της Βόρειας Ελλάδας έχουν αναγνωριστεί ως περιοχές με σημαντικούς αιολικούς πόρους⁹².



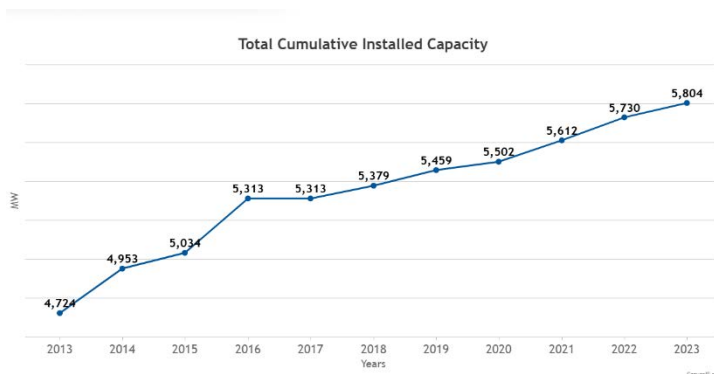
Εικόνα 62: Το γράφημα δείχνει την ετήσια ανάπτυξη της ικανότητας αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα από το 1999 έως το 2023, φτάνοντας συνολικά τα 5.226 MW⁹².

πηγών ενέργειας στο ενεργειακό της μείγμα, συμβάλλοντας στην ενεργειακή ασφάλεια και στη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος⁹³.

Επιπλέον, η Ελλάδα συμμετέχει ενεργά σε περιφερειακές συνεργασίες για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το 2023, εγκαταστάθηκαν συνολικά 153 αιολικοί στύλοι σε όλη την Ελλάδα, 85 περισσότερα από τον αριθμό που εγκαταστάθηκε την προηγούμενη χρονιά. Τον Σεπτέμβριο του 2024, η Ελλάδα, μαζί με άλλες οκτώ χώρες μέλη της Νότιας Ευρωπαϊκής Ένωσης, δεσμεύτηκαν να μετατρέψουν την περιοχή της Μεσογείου σε έναν κόμβο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, επικεντρώνοντας σε έργα θαλάσσιας αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Αυτή η πρωτοβουλία υπογραμμίζει τη δέσμευση της Ελλάδας να εκμεταλλευτεί τα γεωγραφικά της πλεονεκτήματα για την ανάπτυξη βιώσιμων πηγών ενέργειας.

Κοιτάζοντας μπροστά, η Ελλάδα σκοπεύει να ενισχύσει περαιτέρω την ικανότητα αιολικής ενέργειας, με προβλέψεις που δείχνουν ότι η ετήσια προσθήκη χερσαίας αιολικής ικανότητας θα είναι περίπου 400 MW από το 2024 έως το 2030. Αυτή η προγραμματισμένη επέκταση ευθυγραμμίζεται με τη συνολική στρατηγική της χώρας για την αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων

6.2.2.3. Η Αιολική Ενέργεια στην Πορτογαλία



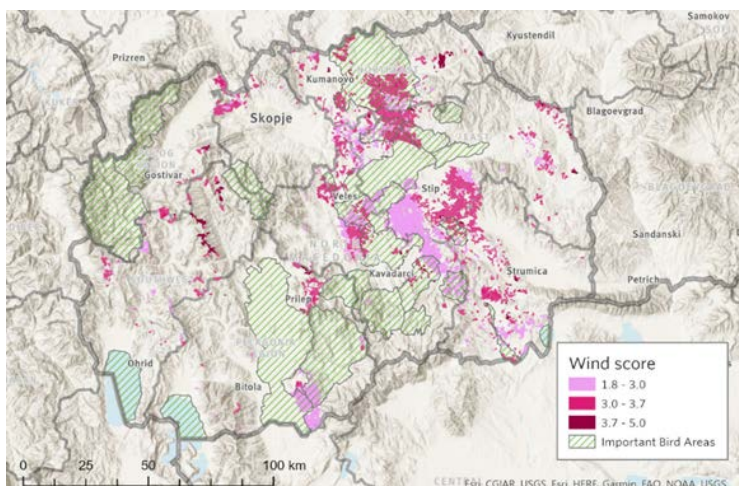
Εικόνα 63: Η ικανότητα αιολικής ενέργειας της Πορτογαλίας αυξήθηκε σταθερά, φτάνοντας τα 5,8 GW έως το 2023, με περαιτέρω ανάπτυξη να αναμένεται έως το 2030.

Η αιολική ενέργεια σημείωσε εξαιρετική ανάπτυξη στην Πορτογαλία από το 2000 έως το 2015, φτάνοντας σε εγκατεστημένη ισχύ άνω των 5 GW. Από το 2015 και μετά, οι επενδύσεις σε αιολικά πάρκα επιβραδύνθηκαν. Στο τέλος του 2023, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ανήλθε σε 5,9 GW, κυρίως σε χερσαίες εγκαταστάσεις. Ήταν η δεύτερη πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μόλις κάτω από την υδροηλεκτρική ενέργεια, με εγκατεστημένη ισχύ 8,2 GW. Τον

Απρίλιο του 2024, υπήρχαν σε λειτουργία 267 αιολικά πάρκα και 2.908 αιολικοί στύλοι. Σύμφωνα με την τελευταία έκδοση του Εθνικού Προγράμματος για την Ενέργεια και το Κλίμα (PNEC), μέχρι το 2030, η εγκατεστημένη ισχύς από χερσαία αιολικά πάρκα θα πρέπει να ξεπερνά τα 4,1 GW, ενώ από θαλάσσια έργα (offshore) να φτάσει τα 2 GW. Η Πορτογαλική Ατλαντική Ακτή διαθέτει τεράστιο δυναμικό για θαλάσσιες εγκαταστάσεις, γεγονός που οδηγεί σε σχέδια για εγκατάσταση έως και 10 GW σε μεσοπρόθεσμο χρονικό διάστημα. Ως ενδιαφέρον στοιχείο, το έργο WindFloat Atlantic ήταν το πρώτο πλωτό αιολικό πάρκο ημι-βυθισμένης τεχνολογίας στον κόσμο που άρχισε να λειτουργεί. Βασίστηκε στο πρωτότυπο WindFloat1 των 2 MW, το οποίο λειτούργησε επιτυχώς από το 2011 έως το 2016 κοντά στην Πόβοα ντε Βαρζίμ (στη βόρεια Πορτογαλία). Το 2024, η αιολική ενέργεια κάλυπτε σχεδόν το 40% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγονταν στην Πορτογαλία⁹⁴.

6.2.2.4. Η Αιολική Ενέργεια στη Βόρεια Μακεδονία

Η Βόρεια Μακεδονία, μια χώρα που επιδιώκει μια βιώσιμη μετάβαση στην ενέργεια, αναπτύσσει ενεργά τον τομέα της αιολικής ενέργειας στο πλαίσιο της ευρύτερης δέσμευσής της για μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Παρά την ιστορική εξάρτησή της από τον άνθρακα, η κυβέρνηση έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο 50% έως το 2030 και για σταδιακή απομάκρυνση από τον άνθρακα μέχρι το 2035. Στο πλαίσιο αυτών των προσπαθειών, η αιολική ενέργεια αναδεικνύεται ως ένας κρίσιμος πυλώνας της στρατηγικής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της χώρας⁹⁵.



Σχήμα 64: Ο πίνακας αποτελεσμάτων αιολικής ενέργειας της Βόρειας Μακεδονίας επισημαίνει περιοχές με ισχυρό αιολικό δυναμικό, υποστηρίζοντας τη μετάβαση της χώρας σε καθαρές πηγές ενέργειας⁹⁵

Το πρώτο και πιο σημαντικό έργο αιολικής ενέργειας της χώρας, το Αιολικό Πάρκο Μπογκντάντσι, σηματοδότησε την αρχή της εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα⁹⁶. Βρίσκεται στη νοτιοανατολική περιοχή της Βόρειας Μακεδονίας, το Αιολικό Πάρκο Μπογκντάντσι επιλέχθηκε λόγω των σταθερών ταχυτήτων του ανέμου, οι οποίες κατά μέσο όρο φτάνουν τα 7 μέτρα ανά δευτερόλεπτο σε ύψος 100 μέτρων. Το έργο ξεκίνησε από την Elektrani na Severna Makedonija (ESM), την κρατική ενεργειακή εταιρεία και

υποστηρίχθηκε μέσω χρηματοδότησης από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Ανασυγκρότησης και Ανάπτυξης (EBRD)

Αιολικό Πάρκο Μπογκντάντσι – Ένα Ορόσημο για την Πράσινη Ενέργεια

Η πρώτη φάση του Αιολικού Πάρκου Μπογκντάντσι τέθηκε σε λειτουργία το 2014 και περιλάμβανε 16 ανεμογεννήτριες με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 36,8 MW. Το πάρκο παράγει περίπου 100 GWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως, καλύπτοντας τις ανάγκες άνω των 16.000 νοικοκυριών.

Αναγνωρίζοντας την επιτυχία του έργου, προγραμματίστηκε δεύτερη φάση με στόχο την προσθήκη επιπλέον 14 MW, ανεβάζοντας τη συνολική ισχύ στα 50 MW.

Η επιτυχία του Μπογκντάντσι απέδειξε τη βιωσιμότητα της αιολικής ενέργειας στη χώρα και άνοιξε τον δρόμο για περαιτέρω επενδύσεις και νέα έργα.

Βασιζόμενη σε αυτή τη δυναμική, η Βόρεια Μακεδονία έχει ξεκινήσει αρκετά νέα έργα αιολικής ενέργειας που θα αυξήσουν σημαντικά τη συνολική ισχύ τα επόμενα χρόνια. Το πιο σημαντικό έργο που αξίζει να τονιστεί είναι το επερχόμενο Αιολικό Πάρκο των 400 MW της Alcazar Energy – Το Μεγαλύτερο στα Βαλκάνια (Προγραμματισμένο, Εθνικό Επίπεδο):

- **Ισχύς:** 400 MW
- **Επένδυση:** Πάνω από 500 εκατομμύρια δολάρια
- **Ανάδοχος:** Alcazar Energy, μεγάλη εταιρεία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- **Έναρξη:** Αναμένεται το 2025
- **Αντίκτυπος:** Πάνω από διπλασιασμός της αιολικής ισχύος της χώρας, μετατρέποντας τη Βόρεια Μακεδονία σε περιφερειακό ηγέτη στην αιολική ενέργεια

Αυτό το τεράστιο έργο των 400 MW θα είναι η μεγαλύτερη ανάπτυξη αιολικής ενέργειας στα Δυτικά Βαλκάνια και εναρμονίζεται με τον μακροπρόθεσμο στόχο της Βόρειας Μακεδονίας για ενεργειακή ανεξαρτησία και ουδετερότητα άνθρακα.

Η ποικιλόμορφη τοπογραφία και η γεωγραφική θέση της Βόρειας Μακεδονίας δημιουργούν ιδανικές συνθήκες για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας σε αρκετές βασικές περιοχές:

- **Περιοχή Νοτιοανατολικής Μακεδονίας** – Ισχυρά ρεύματα ανέμου σε Μπογκντάντσι, Γευγελή και Βαλάντοβο
- **Περιοχή Βορειοανατολικής Μακεδονίας** – Υποσχόμενες ταχύτητες ανέμου σε Κρίβα

Παλάνκα και Κουμάνοβο

– **Περιοχή Πελαγονίας** – Υψηλό δυναμικό αιολικής ενέργειας κοντά σε Μπίτολα και Πρίλεπ. Οι ταχύτητες ανέμου στις παραπάνω περιοχές κυμαίνονται μεταξύ 5,5 και 8,5 m/s, προσφέροντας ιδανικές συνθήκες για συνεχή παραγωγή ενέργειας.

6.2.3. Θετικές και Αρνητικές Επιπτώσεις της Αιολικής Ενέργειας

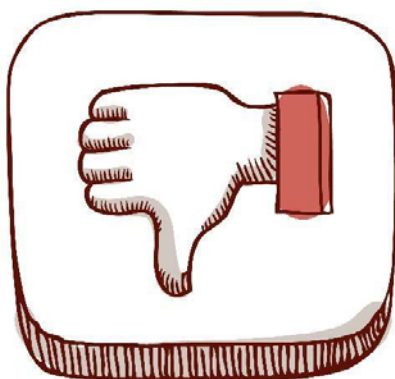
Συζητούνται τόσο οι θετικές όσο και οι αρνητικές επιπτώσεις της χρήσης αιολικής ενέργειας. Αν και οι ανεμογεννήτριες προκαλούν ορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, γενικά θεωρούνται μια ωφέλιμη και βιώσιμη πηγή ενέργειας για το περιβάλλον⁹⁷.

Πλεονεκτήματα



- Είναι ανανεώσιμη και καθαρή. Ο άνεμος είναι μια φυσική και συνεχώς διαθέσιμη πηγή ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες δεν εκπέμπουν αέρια κατά τη λειτουργία τους, δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον και αποτρέπουν την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου που εντείνουν την παγκόσμια υπερθέρμανση.
- Δεν απαιτεί πρώτες ύλες. Ο άνεμος είναι ελεύθερα διαθέσιμος στην ατμόσφαιρα και δεν δημιουργεί εξωτερική εξάρτηση.
- Προσφέρει οικονομικό πλεονέκτημα. Αν και το κόστος εγκατάστασης είναι υψηλό, αποτελεί οικονομική λύση μακροπρόθεσμα λόγω χαμηλών λειτουργικών και συντηρητικών εξόδων. Σήμερα είναι ανταγωνιστική με άλλες πηγές ενέργειας.
- Καταλαμβάνει λίγο χώρο. Οι ανεμογεννήτριες δεν απαιτούν μεγάλες εκτάσεις. Επιπλέον, τα εδάφη όπου εγκαθίστανται μπορούν να χρησιμοποιούνται για γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες.
- Ο χρόνος εγκατάστασης είναι σύντομος. Τα αιολικά πάρκα μπορούν να τεθούν σε λειτουργία σε μικρότερο χρόνο από τα παραδοσιακά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας.
- Μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικές κλίμακες. Μπορούν να εγκατασταθούν συστήματα διαφόρων μεγεθών, από μικρές ανεξάρτητες ανεμογεννήτριες έως μεγάλα αιολικά πάρκα.

Μειονεκτήματα



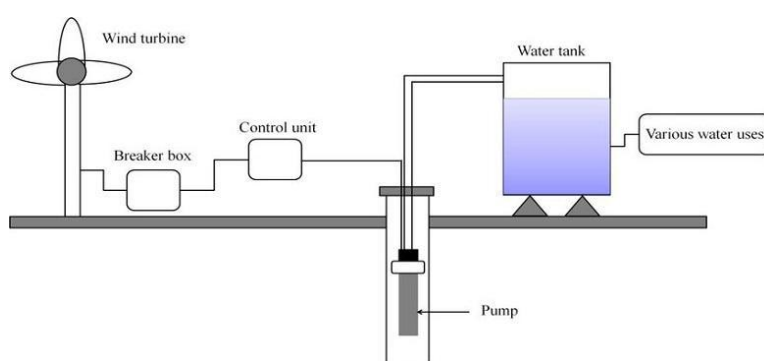
- Το αρχικό κόστος επένδυσης είναι υψηλό. Απαιτούνται υψηλά έξοδα για την κατασκευή, τη μεταφορά και την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών.
- Η παραγωγή ενέργειας είναι ακανόνιστη. Επειδή η ταχύτητα του ανέμου δεν είναι σταθερή, η ποσότητα ενέργειας που παράγεται μεταβάλλεται. Ανεπαρκής άνεμος κατά τις ώρες υψηλής ζήτησης ή, αντίθετα, υπερβολική παραγωγή ενέργειας μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα.
- Μπορεί να προκαλέσει ηχορύπανση. Οι ήχοι που παράγονται από τις ανεμογεννήτριες κατά τη λειτουργία τους μπορεί να είναι ενοχλητικοί, ειδικά σε περιοχές κοντά κατοικίες.

σε

- Μπορεί να είναι επικίνδυνο για τα πουλιά και άλλους ζωντανούς οργανισμούς. Τα πτερύγια των ανεμογεννητριών μπορούν να αποτελέσουν κίνδυνο για αποδημητικά πουλιά και ορισμένα άγρια ζώα.
- Μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Οι ανεμογεννήτριες μπορεί να επηρεάσουν ορισμένα ραντάρ και να διαταράξουν τα ραδιοφωνικά και τηλεοπτικά σήματα.
- Μπορεί να προκύψουν προβλήματα με τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Τα αιολικά πάρκα εγκαθίστανται συνήθως σε περιοχές με ισχυρούς ανέμους αλλά αδύναμες γραμμές μεταφοράς, γεγονός που μπορεί να δυσκολεύει τη μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας.

6.2.4. Περιοχές Χρήσης Αιολικής Ενέργειας

Η αιολική ενέργεια έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές περιοχές καθ' όλη τη διάρκεια της ιστορίας, από γεωργικές δραστηριότητες έως την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας^{52,98}. Γενικά, η αιολική ενέργεια έχει τρεις κύριες περιοχές χρήσης. Στις μηχανικές εφαρμογές, η αιολική ενέργεια έχει χρησιμοποιηθεί σε διαδικασίες



Σχήμα 65: Το διάγραμμα αυτό απεικονίζει τη χρήση της αιολικής ενέργειας για άντληση νερού, αναδεικνύοντας την εφαρμογή της στην άρδευση καλλιεργειών και την υδροδότηση αγροτικών περιοχών⁹⁸.

όπως η αντλία νερού (ιδιαίτερα για αρδευτικά συστήματα γεωργίας), η άλεση σιτηρών και η επεξεργασία γεωργικών προϊόντων (όπως η κοπή, η χλόη, η εξαγωγή ελαίου). Στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αξιολογείται με δύο διαφορετικούς τρόπους: τα συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο και τα ανεξάρτητα από το δίκτυο. Ενώ η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μεγάλης κλίμακας αιολικά πάρκα μπορεί να μεταφερθεί στο εθνικό δίκτυο, η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παρασχεθεί από μικρές ανεμογεννήτριες σε αγροτικές περιοχές όπου δεν υπάρχει δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Στην παραγωγή θερμικής ενέργειας, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα θέρμανσης ή εξαερισμού. Επιπλέον, η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς, τόσο εντός όσο και εκτός κτιρίων. Ενώ χρησιμοποιείται σε αρδευτικά συστήματα γεωργίας, φάρους θάλασσας, φώτα διαδρόμων αεροδρομίων και άλλα συστήματα σήμανσης εκτός κτιρίων, η ατομική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να παρέχεται από συστήματα εξαερισμού και ψύξης εντός κτιρίων και ανεμογεννήτριες σε στέγες.

6.2.5. Ανεμογεννήτριες

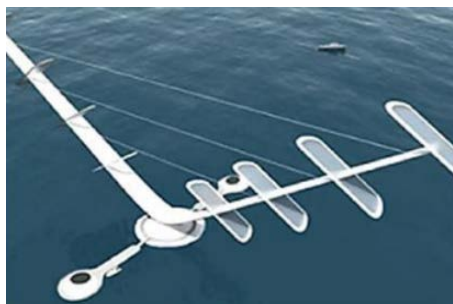
Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η διαδικασία αυτής της μετατροπής ξεκινά με τον άνεμο που περιστρέφει τις λεπίδες της ανεμογεννήτριας, παράγοντας μηχανική ενέργεια. Οι λεπίδες μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια σε περιστροφική κίνηση, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια από τη γεννήτρια⁹⁹.



Εικόνα 66: Οι ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος τύπος, ιδανικές για μεγάλης κλίμακας αιολικά πάρκα και υψηλή παραγωγή ενέργειας.

Οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε τρεις ομάδες σύμφωνα με τη θέση των αξόνων περιστροφής τους σε σχέση με το έδαφος. Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα είναι οι πιο συνηθισμένες και έχουν τον κύριο άξονα παράλληλο προς το έδαφος. Συνήθως προτιμώνται σε αιολικά πάρκα μεγάλης κλίμακας.

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα έχουν τον κύριο άξονα κάθετο προς το έδαφος και μπορούν να χρησιμοποιούν άνεμο από οποιαδήποτε κατεύθυνση. Είναι πιο κοινές σε εφαρμογές μικρής κλίμακας και σε αστικές περιοχές.



Εικόνα 68: Οι ανεμογεννήτριες κεκλιμένου άξονα είναι ένας υβριδικός σχεδιασμός που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των οριζόντιων και κατακόρυφων συστημάτων, χρησιμοποιούνται συχνά σε πειραματικές εγκαταστάσεις ανοικτής θάλασσας.

Οι ανεμογεννήτριες κεκλιμένου άξονα συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα, αλλά είναι ένας σπάνιος τύπος σχεδίασης. Επιπλέον, οι ανεμογεννήτριες



Εικόνα 67: Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα μπορούν να συλλαμβάνουν τον άνεμο από οποιαδήποτε κατεύθυνση και είναι κατάλληλες για αστικές ή μικρής κλίμακας εφαρμογές.

κατατάσσονται σύμφωνα με την ταχύτητά τους, την ικανότητα ισχύος, τον αριθμό των περυγίων, την επίδραση του ανέμου, τους μηχανισμούς μετάδοσης κίνησης και τον τόπο εγκατάστασης. Η επιλογή της ανεμογεννήτριας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του ανέμου στην περιοχή και τον σκοπό χρήσης.

6.2.5.1. Ανεμογεννήτριες Ανοικτής Θάλασσας

Η αποδοτική χρήση της αιολικής ενέργειας ανοικτής θάλασσας έχει μεγάλη σημασία για την αγορά αιολικής ενέργειας. Αν και οι ανεμογεννήτριες που τοποθετούνται στον πυθμένα της θάλασσας προτιμώνται γενικά σε περιοχές κοντά στην ακτή, αυτά τα συστήματα μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα όπως η ηχορύπανση, η οπτική ρύπανση και η επίδραση στη

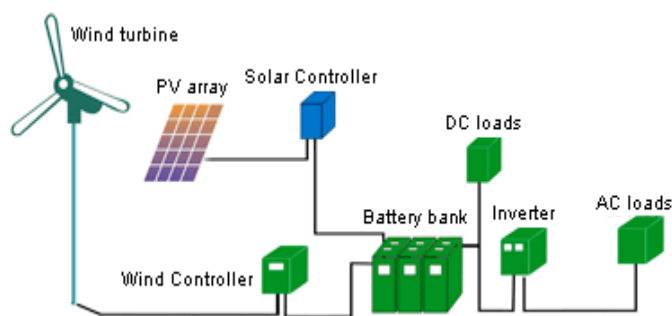
ναυσιπλοΐα. Για αυτόν τον λόγο, οι μελέτες για ανεμογεννήτριες σε πλωτές πλατφόρμες αυξάνονται¹⁰⁰.



Εικόνα 69: Οι αιολικές τουρμπίνες ανοικτής θάλασσας εγκαθίστανται σε θαλάσσια περιβάλλοντα για να εκμεταλλευτούν τους ισχυρότερους και πιο σταθερούς ανέμους, αυξάνοντας σημαντικά την ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι άνεμοι ανοικτής θάλασσας έχουν λιγότερους παραγμούς από τους ανέμους ξηράς. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου, επιτρέποντας την παραγωγή περισσότερης ηλεκτρικής ενέργειας. Δεδομένου ότι η παραγόμενη ενέργεια αυξάνεται ως τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου, η ικανότητα παραγωγής αυξάνεται σημαντικά ακόμα και όταν η απόσταση από την ακτή είναι μόνο μερικά χιλιόμετρα. Για παράδειγμα, σε μια περιοχή όπου η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι 28 χλμ/ώρα, είναι δυνατό να παραχθεί 60% περισσότερη ενέργεια από ό,τι σε μια περιοχή όπου η ταχύτητα είναι 22 χλμ/ώρα. Αυτό δείχνει τη κρίσιμη σημασία του παράγοντα ταχύτητας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την αιολική ενέργεια.

Σήμερα, οι αιολικές τουρμπίνες ανοικτής θάλασσας προσαρμόζονται από τις χερσαίες τουρμπίνες και κατασκευάζονται ανθεκτικές στις θαλάσσιες συνθήκες. Στη διαδικασία αυτή, η ανθεκτικότητα των τουρμπινών αυξάνεται με το σχεδιασμό πύργων ανθεκτικών στις φορτίσεις των κυμάτων. Επιπλέον, το σύστημα ταχυτήτων και τα ηλεκτρικά εξαρτήματα ενισχύονται με ειδικές μεθόδους προστασίας από τις διαβρωτικές επιδράσεις του θαλασσινού νερού. Προστίθενται ειδικά συστήματα πρόσβασης για να εξασφαλιστεί η εύκολη πρόσβαση στην πλατφόρμα για το προσωπικό συντήρησης, ενώ τα μέτρα ασφαλείας αυξάνονται με διακόπτες έκτακτης ανάγκης. Οι εξωτερικές επιφάνειες των τουρμπινών καλύπτονται με ειδικές βαφές ανθεκτικές στο θαλασσινό νερό για να τις καταστήσουν ανθεκτικές, ενώ χρησιμοποιούνται φώτα προειδοποίησης και έντονα χρώματα για τα αεροσκάφη. Επιπλέον, λαμβάνονται επιπρόσθετα μέτρα ασφαλείας για να εξασφαλιστεί ότι τα θαλάσσια σκάφη θα μπορούν να εντοπίσουν τις τουρμπίνες σε ομιχλώδη καιρικές συνθήκες.



Εικόνα 70: Τα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν την ηλιακή και την αιολική ενέργεια για να παρέχουν πιο σταθερή και συνεχιζόμενη παραγωγή ενέργειας, ιδιαίτερα σε περιοχές εκτός δικτύου με μεταβλητές καιρικές συνθήκες.

6.2.5.2. Ηλιακά και Αιολικά Υβριδικά Συστήματα

Σήμερα, τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα και τα αιολικά συστήματα που λειτουργούν ανεξάρτητα από το δίκτυο χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο σε μεγαλύτερη κλίμακα. Ιδιαίτερα σε περιοχές όπου η πρόσβαση στο δίκτυο είναι δύσκολη ή οικονομικά μη βιώσιμη, τα ανεξάρτητα ηλιακά και αιολικά συστήματα προσφέρουν μια σημαντική λύση¹⁰¹. Ωστόσο, η αιολική και η ηλιακή ενέργεια είναι πηγές

ενέργειας που ποικίλλουν καθημερινά, μηνιαία και ετησίως. Λόγω της χαμηλής ενεργειακής τους πυκνότητας, ενδέχεται να μην είναι επαρκείς για να παρέχουν συνεχές και αδιάλειπτο ρεύμα. Για παράδειγμα, τα ηλιακά συστήματα ενέργειας μπορεί να μην είναι σε θέση να παράγουν αρκετό ρεύμα τις συννεφιασμένες μέρες, ενώ τα αιολικά συστήματα ενέργειας δεν μπορούν να παρέχουν συνεχές ρεύμα λόγω της μεταβαλλόμενης ταχύτητας του ανέμου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αυτή η κατάσταση καθιστά τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας απαραίτητα για να εξασφαλιστεί η συνέχεια της παραγωγής ενέργειας. Η αιολική ενέργεια λειτουργεί με υψηλότερη απόδοση τους χειμερινούς μήνες, ενώ η ηλιακή ενέργεια λειτουργεί με υψηλότερη απόδοση τους καλοκαιρινούς μήνες. Ο κίνδυνος έλλειψης ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται το καλοκαίρι όταν χρησιμοποιείται μόνο η αιολική ενέργεια και το χειμώνα όταν χρησιμοποιείται μόνο η ηλιακή ενέργεια. Για το λόγο αυτό, τα υβριδικά συστήματα όπου χρησιμοποιούνται μαζί η ηλιακή και η αιολική ενέργεια παρέχουν πιο σταθερή παραγωγή ενέργειας από ότι όταν χρησιμοποιούνται μεμονωμένα. Επιπλέον, η συμπληρωματική λειτουργία αυτών των δύο πηγών ενέργειας μειώνει την ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας και βοηθά το σύστημα να γίνει πιο αποδοτικό.

6.3. Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μία από τις παλαιότερες και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μορφές ενέργειας ανάμεσα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας⁶². Η υδροηλεκτρική ενέργεια, η οποία είναι πηγή ενέργειας από τον ήλιο, σχηματίζεται ως αποτέλεσμα του φυσικού υδρολογικού κύκλου. Το νερό στους ποταμούς, τις λίμνες και τις θάλασσες εξατμίζεται με τη θερμότητα του ήλιου, κινείται με τη δράση του ανέμου και συμπυκνώνεται στην ατμόσφαιρα, επιστρέφοντας στη γη ως βροχή ή χιόνι. Αυτές οι κατακρημνίσεις παρέχουν τροφή στα ρέματα, με αποτέλεσμα το κινούμενο νερό να είναι μια συνεχής πηγή ενέργειας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια παράγεται με τη μετατροπή της κινητικής και δυναμικής ενέργειας του νερού που ρέει από ένα συγκεκριμένο ύψος σε μηχανική ενέργεια μέσω των τουρμπινών και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των γεννητριών²⁸. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας όχι μόνο παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα, αλλά διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο σε πολλούς τομείς, όπως η παροχή πόσιμου νερού, η γεωργική άρδευση, η μείωση του κινδύνου πλημμυρών και η ιχθυοκαλλιέργεια.



Εικόνα 71: Η υδροηλεκτρική ενέργεια μετατρέπει την ενέργεια του κινούμενου νερού σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω τουρμπινών και γεννητριών, συνεισφέροντας τόσο στην παραγωγή ενέργειας όσο και στη διαχείριση των υδάτων.

6.3.1. Ταξινόμηση Υδροηλεκτρικών Σταθμών Παραγωγής Ενέργειας

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας ταξινομούνται ανάλογα με τη δυναμικότητα εγκατεστημένης ισχύος, το ύψος πτώσης, τα χαρακτηριστικά παραγωγής ενέργειας, τις μεθόδους κατασκευής και τα χαρακτηριστικά της υδάτινης πηγής στην οποία εγκαθίστανται¹⁰². Υπάρχουν ταξινομήσεις που διαφέρουν από χώρα σε χώρα, ειδικά για τα μικρά και μικροϋδροηλεκτρικά εργοστάσια. Γενικά, ως μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικοί σταθμοί θεωρούνται οι μονάδες που παράγουν έως και 10 MW ισχύος.

Πίνακας 1: Τύποι σταθμών παραγωγής ενέργειας ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ

Τύπος Σταθμού Παραγωγής Ενέργειας	Εγκατεστημένη Ισχύς (kW)
Micro	0.1 – 100
Mini	101 – 1000
Small	1001 – 10000
Large	Μεγαλύτερη από 10000 kW

Ενώ τα μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια συγκαταλέγονται στις κλασικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τα μικρά υδροηλεκτρικά εργοστάσια θεωρούνται μέρος των νέων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το όριο μεγέθους των μικρών υδροηλεκτρικών εργοστασίων μπορεί να διαφέρει από χώρα σε χώρα. Για παράδειγμα, ενώ το ανώτατο όριο των μικρών υδροηλεκτρικών εργοστασίων στον Καναδά και τις ΗΠΑ είναι τα 50 MW, στην Ευρώπη έχει οριστεί στα 10 MW.

Άλλες ταξινομήσεις των υδροηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας:

1. Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί Ανάλογα με το Ύψος Πτώσης

- Σταθμοί χαμηλής πτώσης: Πρόκειται για σταθμούς με ύψος πτώσης μικρότερο από 15 μέτρα. Συνήθως εγκαθίστανται σε επίπεδες ή με μικρή κλίση περιοχές, σε ποτάμια με μεγάλη παροχή νερού. Χρησιμοποιούνται τουρμπίνες τύπου Kaplan.

- Σταθμοί μέσης πτώσης: Το ύψος πτώσης κυμαίνεται μεταξύ 15-50 μέτρων.

Χρησιμοποιούνται τουρμπίνες Kaplan ή Francis.

- Σταθμοί υψηλής πτώσης: Πρόκειται για σταθμούς με ύψος πτώσης άνω των 50 μέτρων.

Βρίσκονται κυρίως σε ορεινές και ανώμαλες περιοχές. Χρησιμοποιούνται τουρμπίνες τύπου Francis ή Pelton.

2. Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί Ανάλογα με την Ενέργεια που Παράγουν

- Σταθμοί συνεχούς παραγωγής ενέργειας (Βασικοί σταθμοί): Παράγουν ενέργεια χωρίς διακοπή.

- Σταθμοί που λειτουργούν τις ώρες μέγιστης ζήτησης (Σταθμοί αιχμής): Τίθενται σε λειτουργία όταν η ζήτηση ενέργειας είναι υψηλή.

3. Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί Ανάλογα με τις Μεθόδους Κατασκευής

- Υπόγειοι σταθμοί
- Ημιυπόγειοι σταθμοί
- Σταθμοί υπέργειοι

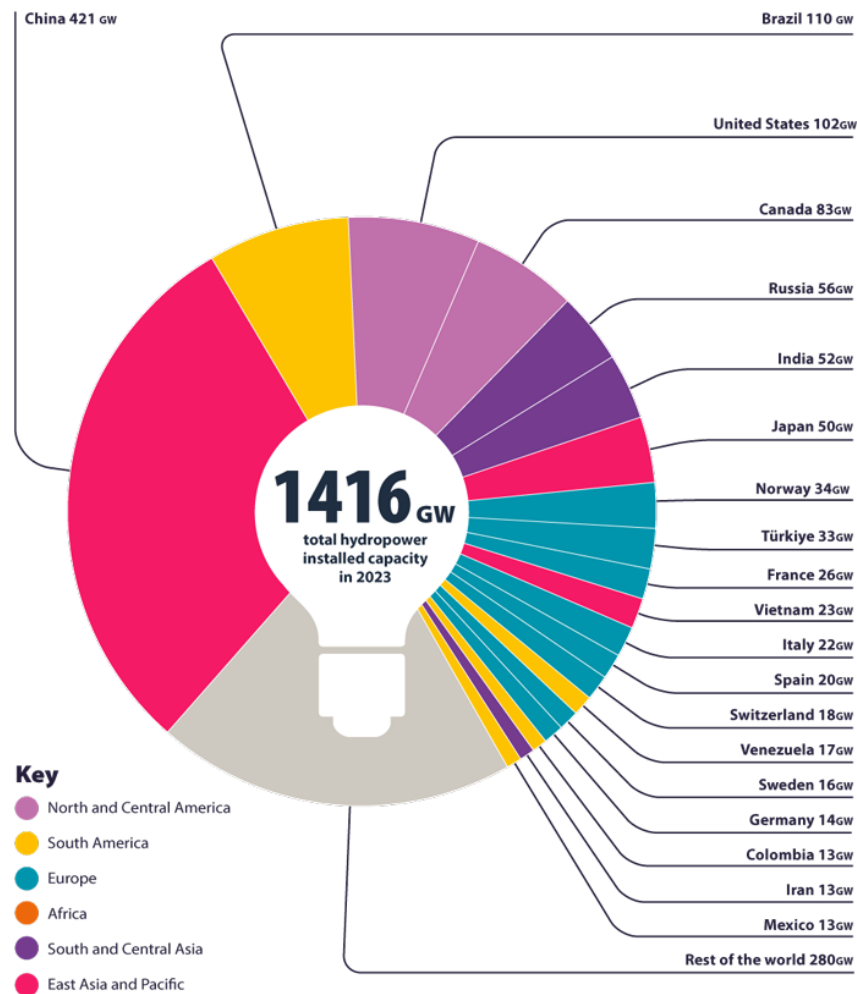
4. Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί Ανάλογα με την Πηγή Νερού όπου Εγκαθίστανται

- Σταθμοί ποταμών
- Σταθμοί καναλιών

- Σταθμοί φραγμάτων
- Σταθμοί αντλησιοταμίευσης

6.3.2. Υδροηλεκτρική Ενέργεια Παγκοσμίως

Η υδροηλεκτρική ενέργεια θεωρείται μία από τις πιο σημαντικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παγκοσμίως¹⁰³. Η ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 119 χιλιάδες km³, το 60% από την οποία εξατμίζεται και το 40% φτάνει σε λίμνες και θάλασσες μέσω ρεμάτων. Συνολικά, περίπου το 19% (9 χιλιάδες km³) των 47 χιλιάδων km³ νερού είναι οικονομικά και τεχνικά αξιοποιήσιμο.



Εικόνα 72: Η συνολική εγκατεστημένη ικανότητα υδροηλεκτρικής ενέργειας έφτασε τα 1416 GW το 2023, με επικεφαλής την Κίνα (421 GW), τη Βραζιλία (110 GW) και τις Ηνωμένες Πολιτείες (102 GW), υπογραμμίζοντας τη παγκόσμια στρόφη προς την αειφόρο ενέργεια¹⁰³.

Ωστόσο, μόνο ένα μικρό ποσοστό της υδροηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται αποτελεσματικά παγκοσμίως. Η πλειονότητα του μη χρησιμοποιούμενου δυναμικού βρίσκεται στη Λατινική Αμερική, την Ασία και την Αφρική. Ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες, στόχος είναι η πιο αποδοτική αξιοποίηση αυτού του δυναμικού με την εγκατάσταση νέων υδροηλεκτρικών εργοστασίων.

6.3.3. Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια στις Χώρες των Εταίρων

6.3.3.1. Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια στην Τουρκία

Η ενέργεια που παράγεται σε μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς στην Τουρκία διαφέρει ανάλογα με το μοτίβο βροχόπτωσης. Η ποσότητα βροχόπτωσης στη χώρα μας ποικίλλει ανάλογα με τις περιοχές και τις εποχές. Αν και η Τουρκία δεν είναι πλούσια σε υδροηλεκτρικό δυναμικό, ανήκει στις χώρες που μπορούν να είναι αυτάρκειες χρησιμοποιώντας αποτελεσματικά τους υδάτινους πόρους τους. Η κατασκευή φραγμάτων στην Τουρκία χρονολογείται από την προϊστορική εποχή. Τα πρώτα φράγματα κατασκευάστηκαν από τους Χετταίους το 1300 π.Χ. και τους Ουράρτιους το 1000 π.Χ. Στην περίοδο της Δημοκρατίας, το πρώτο φράγμα ήταν το φράγμα του Çubuk, που κατασκευάστηκε το 1930 για να καλύψει τις ανάγκες πόσιμου νερού της Άγκυρας¹⁰⁴. Η Διοίκηση Έρευνας Πόρων Ηλεκτρικής Ενέργειας ιδρύθηκε το 1932 για να προσδιορίσει και να ερευνήσει κατάλληλους ενεργειακούς πόρους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το 1950, η εγκατεστημένη ισχύς της Τουρκίας ήταν 408 MW και η υδροηλεκτρική της ικανότητα ήταν μόλις 18 MW. Ωστόσο, επιτεύχθηκε σημαντική αύξηση στον αριθμό των υδροηλεκτρικών σταθμών μέχρι τη δεκαετία του 1970. Η ανάπτυξη της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην Τουρκία πήρε ώθηση με την ίδρυση της Τουρκικής Αρχής Ηλεκτρισμού το 1970. Με την ΤΑΗ, η κατασκευή εργοστασίων από επίσημους οργανισμούς και δήμους σταμάτησε και πραγματοποιήθηκε μετάβαση σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα σε όλη τη χώρα. Κατά την ίδια περίοδο, ο ιδιωτικός τομέας συμμετείχε στην κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών. Με τον νόμο που θεσπίστηκε το 1984, η συμμετοχή του ιδιωτικού τομέα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενθαρρύνθηκε μέσω του μοντέλου Κατασκευή-Λειτουργία-Μεταφορά.



Εικόνα 73: Υδροηλεκτρική Ενέργεια στην Τουρκία (2024).

Για τη ρύθμιση της αγοράς υδροηλεκτρικής ενέργειας, ιδρύθηκε η Αρχή Ρυθμιστικής Αγοράς Ενέργειας το 2001 και οι αρμοδιότητες για την παραγωγή, μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας μεταφέρθηκαν σε αυτήν την υπηρεσία. Μετά το 2003, δημοσιεύθηκε ο "Κανονισμός Χρήσης Υδάτων" για την ενίσχυση των επενδύσεων του ιδιωτικού τομέα, ενώ ο Νόμος για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ψηφίστηκε το 2005. Με τους κανονισμούς που εκδόθηκαν το

2011, διευκολύνθηκε η εγκατάσταση μικρής κλίμακας μικρο και mini υδροηλεκτρικών σταθμών. Η Τουρκία έχει τη δυνατότητα να κατασκευάσει όλα τα είδη υδροηλεκτρικών σταθμών όσον αφορά την τεχνολογία. Ένα από τα καλύτερα παραδείγματα αυτής της δυνατότητας είναι το Φράγμα και Υδροηλεκτρικός Σταθμός Ατατούρκ, το οποίο κατασκευάστηκε σε μεγάλο βαθμό από εγχώριες εταιρείες.

Η χώρα μας διαθέτει την αναγκαία τεχνολογία και το επενδυτικό δυναμικό για την εγκατάσταση μικρών και μεσαίων υδροηλεκτρικών σταθμών. Ιδιαίτερα σε σύγκριση με τους μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, τα έργα μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών, τα οποία μπορούν να κατασκευαστούν ταχύτερα και έχουν λιγότερες νομικές/οικονομικές υποχρεώσεις, προσελκύουν περισσότερο το ενδιαφέρον του ιδιωτικού τομέα. Σήμερα, ο αριθμός των έργων υδροηλεκτρικών σταθμών που πραγματοποιούνται από τον ιδιωτικό τομέα στο πλαίσιο του Νόμου για την Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας Αρ. 4628 είναι περίπου 1.595. Ωστόσο, η αύξηση των επενδύσεων του ιδιωτικού τομέα έχει φέρει και κάποια προβλήματα. Η ανεξέλεγκτη μεταβίβαση πολλών ρεμάτων στον ιδιωτικό τομέα μέσω των "Συμβάσεων Χρησιμοποίησης Υδάτων" έχει δημιουργήσει κινδύνους που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε υποβάθμιση της ποιότητας του νερού και αύξηση των τιμών του νερού. Επομένως, είναι σημαντικό να αναπτυχθούν πιο ισχυρές πολιτικές για τη χρήση της υδροηλεκτρικής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τη βιωσιμότητα και το δημόσιο συμφέρον. Στο τέλος του 2024, η συνολική εγκατεστημένη ικανότητα της Τουρκίας έχει φτάσει τα 115.975 MW, εκ των οποίων τα 32.203 MW προέρχονται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Αυτή η τιμή αντιστοιχεί περίπου στο 27,8% της συνολικής εγκατεστημένης ικανότητας. Ο αριθμός των υδροηλεκτρικών σταθμών είναι επίσης εντυπωσιακός. Στο τέλος Δεκεμβρίου 2024, υπάρχουν συνολικά 784 υδροηλεκτρικοί σταθμοί στην Τουρκία: 617 από αυτούς είναι τύπου ποταμού και 147 είναι τύπου φράγματος.

6.3.3.2. Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια στην Ελλάδα

Country	Electricity Generation			
	Hydro [GWh]	Total [GWh]	Hydro/Total %	Main Energy Source
European Union (28)	38,018	3,253,125	12%	Nuclear, Coal, Gas
Albania	7782	7782	100%	Hydro
Norway	144,005	149,333	96%	Hydro
Iceland	13,471	1855	73%	Hydro
Austria	42,919	68,336	63%	Hydro
Switzerland	36,689	63,172	58%	Hydro, Nuclear
Sweden	62,137	156,01	40%	Nuclear, Hydro
North Macedonia	1897	5629	34%	Coal, Hydro
Bosnia and Herzegovina	5641	17,767	32%	Coal, Hydro
Serbia	11,521	39,342	29%	Coal, Hydro
Portugal	16,909	60,28	28%	Hydro, Coal, Gas, Wind
Romania	18,536	65,103	28%	Hydro, Coal, Nuclear, Gas
Turkey	67,231	273,695	25%	Coal, Gas, Hydro
Slovak Republic	4606	26,934	17%	Nuclear, Hydro, Coal
Russia	18,664	1,090,973	17%	Gas, Nuclear, Coal, Hydro
Spain	39,865	274,671	15%	Nuclear, Gas, Wind
Italy	44,257	289,032	15%	Gas, Hydro, Coal
France	64,889	555,621	12%	Nuclear
Greece	5565	54,438	10%	Coal, Gas
Bulgaria	4568	45,243	10%	Coal, Nuclear
Ukraine	9304	164,494	6%	Nuclear, Coal
Germany	26,135	647,231	4%	Coal, Gas, Nuclear, Wind
United Kingdom	8354	339,399	2%	Gas, Nuclear
Poland	2322	166,568	2%	Coal
Hungary	259	37,781	1%	Nuclear

Εικόνα 74: Υδροηλεκτρική Ενέργεια στην Ελλάδα.

συνολικής παραγωγής ενέργειας, φτάνοντας τα 3.427 MW. Παρά το δυναμικό της, η παραγωγή διαφέρει λόγω εποχικών και κλιματικών διακυμάνσεων, όπως ξηρασίες και άνισης

Το ορεινό ανάγλυφο της Ελλάδας και οι πολυάριθμοι ποταμοί δημιουργούν ιδανικές συνθήκες για την υδροηλεκτρική ενέργεια. Με εκτιμώμενο ετήσιο δυναμικό 80 TWh, η χώρα χρησιμοποιεί τους υδατικούς πόρους εδώ και πολύ καιρό, με την ανάπτυξη της σύγχρονης υδροηλεκτρικής ενέργειας να ξεκινά στις αρχές του 20ού αιώνα. Από το 2023, η υδροηλεκτρική ενέργεια αντιπροσωπεύει το 13% της εγκατεστημένης ισχύος στην Ελλάδα και το 10% της

βροχοπτώσεις. Η Ελλάδα έχει σημειώσει μεγάλα βήματα στην ανάπτυξη της υδροηλεκτρικής ενέργειας τα τελευταία χρόνια. Η ίδρυση της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) τη δεκαετία του 1950 διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο στην επέκταση του ενεργειακού τομέα της χώρας, με την υδροηλεκτρική ενέργεια να είναι στον πυρήνα αυτής της ανάπτυξης. Στη συνέχεια, η Ελλάδα συνέχισε να επενδύει σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με την υδροηλεκτρική ενέργεια να είναι σημαντικός συντελεστής του ενεργειακού μείγματος¹⁰⁵. Ωστόσο, καθώς η ζήτηση ενέργειας αυξανόταν, η χώρα διαφοροποίησε το ενεργειακό της μείγμα, αυξάνοντας την εξάρτησή της από το φυσικό αέριο και επεκτείνοντας τη χρήση αιολικής και ηλιακής ενέργειας.

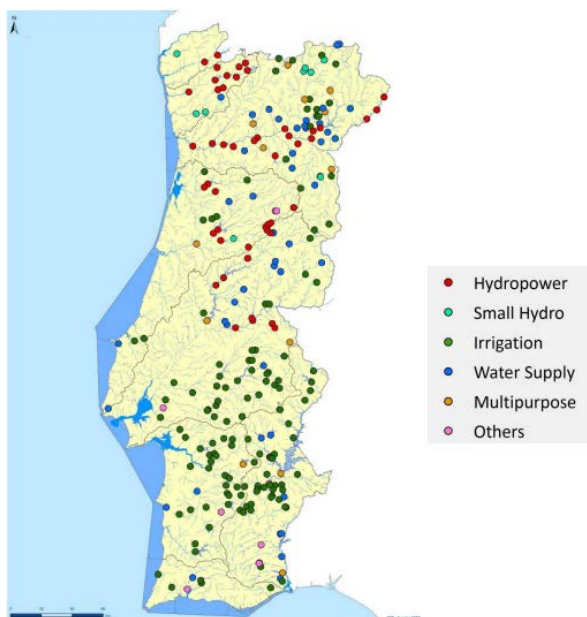
Τα τελευταία χρόνια, η Ελλάδα έχει προωθήσει την ανάπτυξη μικρών και μεσαίων υδροηλεκτρικών έργων για την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας. Η απελευθέρωση της αγοράς και η ρυθμιστική υποστήριξη έχουν ενισχύσει τις ιδιωτικές επενδύσεις, ιδίως σε απομακρυσμένες ορεινές περιοχές. Ωστόσο, παραμένουν ανησυχίες για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα των ποταμών, τη βιοποικιλότητα και τις τοπικές κοινότητες. Από το 2024, η εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα ανέρχεται περίπου στα 18.000 MW, με την υδροηλεκτρική ενέργεια να συνεισφέρει 3.427 MW από περίπου 250 σταθμούς. Παρά τη σημασία της υδροηλεκτρικής ενέργειας, η κυβέρνηση στοχεύει να ισορροπήσει την ανάπτυξη της ενέργειας με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, διαχειριζόμενη τους πόρους για να καλύψει τις μελλοντικές ανάγκες, ενώ προστατεύει τα υδατικά συστήματα.

6.3.3.3. Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια στην Πορτογαλία

Στην Πορτογαλία, όπως και σε πολλές χώρες, μικρές υδροηλεκτρικές δομές για τη μετατροπή της κίνησης ή του δυναμικού της νερού σε χρήσιμη ενέργεια χρησιμοποιούνται για χιλιάδες χρόνια.

Η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων για τον έλεγχο της ροής του νερού και/ή για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας άρχισε στα τέλη του 19ου αιώνα, αλλά έγινε σημαντική στα μέσα του 20ου αιώνα. Το 2007, η Πορτογαλία λάνσαρε το Εθνικό Πρόγραμμα για τα Φράγματα με Υψηλό Υδροηλεκτρικό Δυναμικό (PNBEPH), το οποίο οδήγησε σε σημαντική αύξηση της εγκατεστημένης ικανότητας της χώρας.

Ακόμα κι αν η χώρα διαθέτει 260 μεγάλα φράγματα (πάνω από 15 μέτρα ύψος ή 10-15 μέτρα ύψος και 1 hm³ χωρητικότητα), τα περισσότερα από αυτά είναι αφιερωμένα στη γεωργία, τη ρύθμιση του νερού και άλλες δραστηριότητες. Στην πραγματικότητα, η Πορτογαλία διαθέτει 42 υδροηλεκτρικούς σταθμούς (> 10 MW) και περίπου 8,2 GW συνολική εγκατεστημένη ικανότητα, από τους οποίους το ένα τρίτο περίπου προέρχεται από συστήματα αντλησιοταμίευσης. Λόγω των ισχυρών ασυμμετριών στη γεωμορφολογία και τα πρότυπα βροχοπτώσεων μεταξύ του Βορρά και του Νότου της Πορτογαλίας, τα φράγματα για υδροηλεκτρική χρήση βρίσκονται κυρίως στο βόρειο τμήμα της χώρας. Με την εκρηκτική ανάπτυξη άλλων μορφών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τα τελευταία 20 χρόνια, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί απέκτησαν ακόμα μεγαλύτερη σημασία, καθώς μπορούν να



Εικόνα 75: Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια στην Πορτογαλία (2024).

συμβάλουν στη σταθεροποίηση του ηλεκτρικού δικτύου, ιδίως μετά το κλείσιμο όλων των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με άνθρακα στην Πορτογαλία.

Αν και η συνολική συνεισφορά της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας εξαρτάται, κάθε χρόνο, από τις μετεωρολογικές συνθήκες, αντιπροσωπεύει περίπου το 30% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Πορτογαλία.

Ένα από τα μεγαλύτερα φράγματα στην Πορτογαλία είναι το φράγμα Αλκβέβα (εικόνα), που κατασκευάστηκε στον ποταμό Γκουαδιάνα και εγκαινιάστηκε το 2004. Δημιούργησε τη μεγαλύτερη τεχνητή λίμνη στην Ευρώπη και επιτρέπει την άρδευση τεράστιων γεωργικών

εκτάσεων στο νότο της Πορτογαλίας. Διαθέτει εγκατεστημένη υδροηλεκτρική ισχύ 240 MW. Το μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο στην Πορτογαλία είναι το φράγμα Γκουβές, στον ποταμό Τόρνο, στη λεκάνη του ποταμού Ντούρο, με εγκατεστημένη ισχύ 880 MW. Αν και η συνολική συνεισφορά της υδροηλεκτρικής ενέργειας στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας εξαρτάται, κάθε χρόνο, από τις μετεωρολογικές συνθήκες, αντιπροσωπεύει περίπου το 30% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Πορτογαλία. Ένα από τα μεγαλύτερα φράγματα στην Πορτογαλία είναι το φράγμα Αλκβέβα (εικόνα), που κατασκευάστηκε στον ποταμό Γκουαδιάνα και εγκαινιάστηκε το 2004. Δημιούργησε τη μεγαλύτερη τεχνητή λίμνη στην Ευρώπη και επιτρέπει την άρδευση τεράστιων γεωργικών εκτάσεων στο νότο της Πορτογαλίας. Διαθέτει εγκατεστημένη υδροηλεκτρική ισχύ 240 MW. Το μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό εργοστάσιο στην Πορτογαλία είναι το φράγμα Γκουβές, στον ποταμό Τόρνο, στη λεκάνη του ποταμού Ντούρο, με εγκατεστημένη ισχύ 880 MW.



Σχήμα 76: Φράγμα Αλκβέβα, Πορτογαλία – Ένα από τα μεγαλύτερα φράγματα στην Ευρώπη, που παράγει υδροηλεκτρική ενέργεια και υποστηρίζει την άρδευση.

6.3.3.4. Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια στη Βόρεια Μακεδονία

Το ορεινό έδαφος και οι ποταμοί της Βόρειας Μακεδονίας προσφέρουν ισχυρό δυναμικό για υδροηλεκτρική ενέργεια, με εκτιμώμενους θεωρητικούς πόρους περίπου 8,863 TWh ετησίως. Ωστόσο, η τρέχουσα παραγωγή είναι περίπου 1,2 TWh, υποδεικνύοντας σημαντική ανεκμετάλλευτη ικανότητα.

Η ανάπτυξη της υδροηλεκτρικής ενέργειας στη Βόρεια Μακεδονία περιλαμβάνει το σύστημα

υδροηλεκτρικής ενέργειας Μάβροβο, ένα από τα μεγαλύτερα στη χώρα. Αποτελείται από τρία εργοστάσια — τα Βρούτοκ, Βρμπέν και Ράβεν — με συνολική ικανότητα 200 MW και ετήσια παραγωγή περίπου 445 GWh. Ένα άλλο σημαντικό εργοστάσιο είναι το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο Τίκβες στον ποταμό Κρνά. Λειτουργεί από το 1968, έχει ισχύ 113 MW και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην υδροηλεκτρική παραγωγή της χώρας.



Εικόνα 77: Κύρια Υδροηλεκτρικά Εργοστάσια στη Βόρεια Μακεδονία – Χάρτης που δείχνει σημαντικές εγκαταστάσεις όπως η Τίκβες, Βρούτοκ και Γκλομπότσιτσα¹⁰⁶.

Η Βόρεια Μακεδονία εκσυγχρονίζει τις υδροηλεκτρικές της υποδομές, με συμφωνίες χρηματοδότησης ύψους €36,2 εκατομμυρίων που υπογράφηκαν τον Φεβρουάριο του 2023 για την ανακαίνιση έξι μεγάλων εργοστασίων: Βρούτοκ, Βέρμπεν, Ράβεν, Τίκβες, Γκλομπότσιτσα και Σπίλιε¹⁰⁶. Αυτά τα εργοστάσια αντιπροσωπεύουν περίπου το 85% της υδροηλεκτρικής ικανότητας της χώρας και συνεισφέρουν το 20% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η κυβέρνηση έχει επίσης παραχωρήσει άδεια για τον Υδροηλεκτρικό Σταθμό Čebren, μια μονάδα αντλησιοταμίευσης ισχύος 333 MW στον ποταμό Crna. Αυτό το έργο στοχεύει στην ενίσχυση της δυναμικότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στη βελτίωση της ευελιξίας αποθήκευσης και διανομής ενέργειας.

Από το 2010, πάνω από 100 μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί έχουν τεθεί σε λειτουργία στη Βόρεια Μακεδονία, γεγονός που υπογραμμίζει τη δέσμευση της χώρας για διαφοροποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η κυβέρνηση ενθαρρύνει τις επενδύσεις στον ενεργειακό τομέα, ιδιαίτερα στον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία νέων υδροηλεκτρικών σταθμών. Αυτή η στρατηγική υποστηρίζει τους στόχους της Βόρειας Μακεδονίας για βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας, μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και επίτευξη στόχων για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Συμπερασματικά, η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί βασικό στοιχείο της ενεργειακής στρατηγικής της Βόρειας Μακεδονίας. Μέσω του εκσυγχρονισμού των υφιστάμενων εγκαταστάσεων και της ανάπτυξης νέων έργων, η χώρα επιδιώκει να αξιοποιήσει πλήρως το υδροηλεκτρικό της δυναμικό, διασφαλίζοντας ένα βιώσιμο και ανθεκτικό ενεργειακό μέλλον.

6.3.4. Θετικές και Αρνητικές Επιπτώσεις της Χρήσης Υδροηλεκτρικής Ενέργειας

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις των υδροηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ενέργειας είναι ότι δεν παράγουν ρύπους που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα, όπως οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί συγκαταλέγονται στις καθαρές πηγές ενέργειας, καθώς κατά τη λειτουργία τους δεν απελευθερώνουν απόβλητα ή επιβλαβή αέρια¹⁰⁷. Επιπλέον, χάρη στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας:



Πλεονεκτήματα

- Μπορεί να εξασφαλιστεί η άρδευση των γεωργικών εκτάσεων,
- Μπορεί να αποτραπούν πλημμύρες,
- Οι υδάτινοι πόροι μπορούν να διαχειριστούν πιο αποτελεσματικά,
- Μπορεί να βελτιωθεί η ποιότητα του νερού στην περιοχή,
- Μπορούν να δημιουργηθούν αισθητικές λίμνες και ταμιευτήρες νερού.

Ωστόσο, τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια έχουν επίσης ορισμένες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η κατασκευή φραγμάτων μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στα οικοσυστήματα λόγω της κατάκλυσης μεγάλων εκτάσεων. Αυτό μπορεί να επηρεάσει τη βλάστηση και την πανίδα της περιοχής. Επιπλέον:



Μειονεκτήματα

- Τα μεγάλης κλίμακας φράγματα μπορούν να αλλάξουν το κλίμα της περιοχής και να δημιουργήσουν μικροκλίματα,
- Η αλλαγή της κατεύθυνσης των ρευμάτων μπορεί να μειώσει τη γονιμότητα των γεωργικών εκτάσεων,
- Μπορεί να προκαλέσει προβλήματα όπως η διάβρωση των ακτών και η εξάντληση των υδατικών πόρων.



Για αυτούς τους λόγους, οι φιλικοί προς το περιβάλλον Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί (Μ.Υ.Η.Σ) προτιμώνται περισσότερο από τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα. Οι Μ.Υ.Η.Σ:

- Έχει χαμηλότερα κόστη επένδυσης,
- Μπορεί να κατασκευαστεί σε σύντομο χρονικό διάστημα,
- Έχει χαμηλότερα κόστη συντήρησης και λειτουργίας,
- Έχει περιορισμένο περιβαλλοντικό αντίκτυπο σε σύγκριση με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα,
- Συμβάλλει στην τοπική οικονομία καλύπτοντας τις

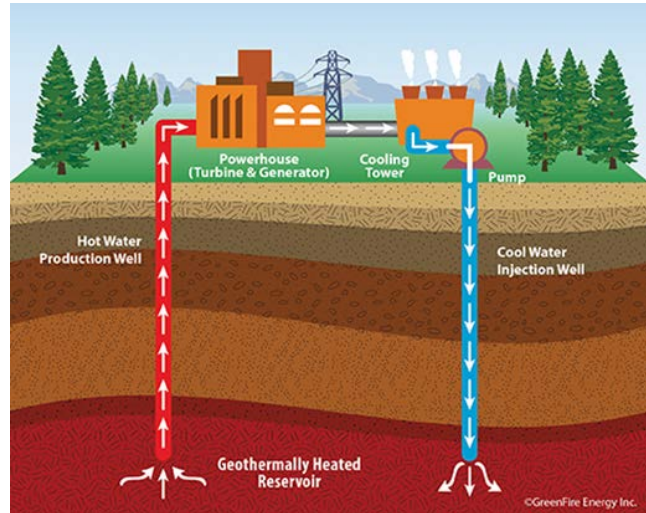
ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια σε αγροτικές περιοχές.

Ωστόσο, οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί μπορούν επίσης να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα. Για τον λόγο αυτό, είναι εξαιρετικά σημαντικό τα έργα να σχεδιάζονται και να υλοποιούνται με τρόπο που να μην διαταράσσουν την φυσική ισορροπία.

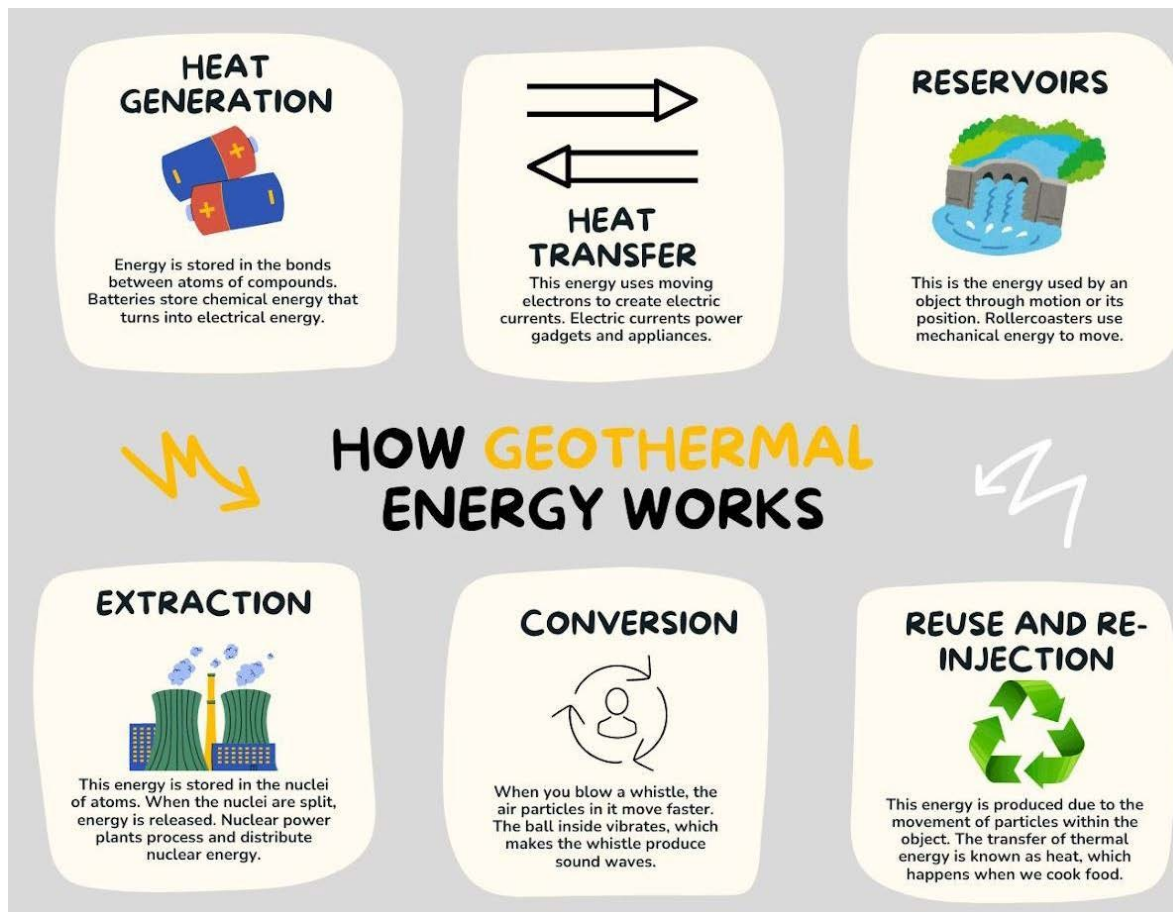


6.4. Γεωθερμική Ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις γη (geo) και θερμότητα (therme) και σημαίνει "θερμότητα της γης"¹⁰⁸. Αυτή η πηγή ενέργειας βρίσκεται με τη μορφή ζεστού νερού, ατμού ή μεταλλικών ρευστών που σχηματίζονται από την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών στα εσωτερικά στρώματα της γης σε διάφορα βάθη του φλοιού της γης⁷³. Στην εσωτερική δομή της γης επικρατούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες, ιδιαίτερα στο στρώμα του μάγματος. Χάρη στην αγωγιμότητα της θερμότητας, η θερμοκρασία αυξάνεται καθώς προχωρά κανείς προς τα κατώτερα στρώματα του γήινου φλοιού. Αυτή η φυσική πηγή θερμότητας προκαλεί τη θέρμανση του υπόγειου νερού και τον σχηματισμό διαφόρων γεωθερμικών περιοχών. Η γεωθερμική ενέργεια αποκτάται με άμεση ή έμμεση χρήση ζεστού νερού ή ατμού. Ορισμένες γεωθερμικές πηγές δεν περιέχουν νερό ή ατμό· αντί γι' αυτό, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας πετρώματα υψηλής θερμοκρασίας που ονομάζονται ξηρά θερμά πετρώματα. Για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας των γεωθερμικών συστημάτων μακροπρόθεσμα εφαρμόζεται μια διαδικασία που ονομάζεται επανεισαγωγή. Με αυτή τη μέθοδο, το νερό ή ο ατμός που εξάγεται από το υπέδαφος αντλείται πίσω στο υπέδαφος και διατηρείται ο φυσικός κύκλος. Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα άμεσης θέρμανσης, σε βιομηχανικές διεργασίες και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας^{24,109}.



Εικόνα 78: Οι γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας εξάγουν θερμότητα από υπόγεια αποθέματα, χρησιμοποιώντας ζεστό νερό ή ατμό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και επανεισάγοντας το ψυχρό νερό για να διατηρηθεί ο κύκλος¹⁰⁸.



Εικόνα 79: Αυτό το γράφημα εξηγεί τη γεωθερμική ενέργεια από την εξαγωγή θερμότητας έως τη μετατροπή, την επαναχρησιμοποίηση και την επανεισαγωγή, αναδεικνύοντας τον βιώσιμο και ανανεώσιμο χαρακτήρα της¹⁰⁹.

6.4.1. Γεωθερμική Ενέργεια Παγκόσμια

Υπάρχουν πολλές γεωθερμικές περιοχές σε όλο τον κόσμο και αυτές οι περιοχές ονομάζονται γεωθερμικές ζώνες. Οι γεωθερμικές ζώνες βρίσκονται γενικά σε περιοχές όπου οι τεκτονικές κινήσεις είναι έντονες και παρατηρείται ηφαιστειακή δραστηριότητα¹¹⁰. Οι σημαντικότερες γεωθερμικές ζώνες είναι:



Figure 80: Geothermal energy is produced in volcanic and tectonic zones worldwide, with major plants in the U.S., Indonesia, and the Philippines.

• **Ικανικός Ηφαιστειακή Ζώνη:** Αργεντινή, Χιλή, Βολιβία, Περού, Εκουαδόρ, Κολομβία και Βενεζουέλα

• **Ζώνη Άλπεϊ-Ιμαλαΐων:** Ταϊλάνδη, Μπούρμα, Κίνα, Θιβέτ, Ινδία, Πακιστάν, Ιράν, Τουρκία, Ελλάδα, Γιουγκοσλαβία και Ιταλία

• **Σύστημα Ρήγματος Ανατολικής Αφρικής:** Τζιμπουτί, Αιθιοπία, Κένυα, Ουγκάντα, Τανζανία, Μαλάουι και Ζάμπια.

• **Κεντρική Αμερικανική Ηφαιστειακή Ζώνη:** Παναμάς,

Κόστα Ρίκα, Νικαράγουα, Ελ Σαλβαδόρ και Γουατεμάλα

Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται από τις πιο πρώιμες εποχές της ανθρώπινης ιστορίας. Κατά την αρχαία ρωμαϊκή περίοδο, οι γεωθερμικοί πόροι χρησιμοποιούνταν σε λουτρά και συστήματα θέρμανσης¹¹⁰. Η πρώτη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιήθηκε στην Ιταλία το 1904. Ο πρώτος εμπορικός γεωθερμικός σταθμός παραγωγής ενέργειας στον κόσμο ιδρύθηκε στην Ιταλία το 1911. Μετά από αρκετό καιρό, ο δεύτερος βιομηχανικός γεωθερμικός σταθμός παραγωγής ενέργειας τέθηκε σε λειτουργία στη Νέα Ζηλανδία το 1958.

Από τη δεκαετία του 1950 έως τη δεκαετία του 2000, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμική ενέργεια αυξήθηκε κατά 17% και η θερμική (θέρμανση) χρήση κατά 87%. Σήμερα, η αξιολόγηση των γεωθερμικών πόρων γίνεται όλο και πιο διαδεδομένη και πολλές χώρες προσπαθούν να χρησιμοποιήσουν αυτή την καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας πιο αποτελεσματικά.

Από το 2024, η παγκόσμια ικανότητα παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας έχει φτάσει συνολικά τα 16.873 MW. Αυτή η ικανότητα επιτεύχθηκε με τη συμβολή 35 χωρών. Με την έναρξη λειτουργίας 14 νέων εγκαταστάσεων και την επέκταση των υφιστάμενων ικανοτήτων κατά τη διάρκεια του έτους, επιτεύχθηκε συνολική αύξηση 389 MW. Οι 10 κορυφαίες χώρες σε ό,τι αφορά την εγκατεστημένη ικανότητα γεωθερμικής ενέργειας καταγράφηκαν ως οι Ηνωμένες Πολιτείες (3.937 MW), η Ινδονησία (2.653 MW), οι Φιλιππίνες (1.984 MW), η Τουρκία (1.734 MW), η Νέα Ζηλανδία (1.207 MW), η Κένυα (985 MW), το Μεξικό (976 MW), η Ιταλία (944 MW), η Ισλανδία (755 MW) και η Ιαπωνία (740 MW).

6.4.2. Η Γεωθερμική Ενέργεια στις Χώρες των Εταίρων

6.4.2.1. Γεωθερμική Ενέργεια στην Τουρκία

Η Τουρκία είναι μια χώρα πλούσια σε γεωθερμικούς πόρους, καθώς βρίσκεται στη ζώνη Άλπης-Ιμαλαΐων. Το συνολικό γεωθερμικό δυναμικό της χώρας μας εκτιμάται σε περίπου 62.000 MW. Από αυτό το δυναμικό, τα 31.500 MW είναι κατάλληλα για άμεση χρήση και τα 1.734 MW για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η Τουρκία κατατάσσεται πρώτη στην Ευρώπη και τέταρτη στον κόσμο με αυτήν την ικανότητα.

Η πρώτη χρήση θερμικής ενέργειας με τη χρήση γεωθερμικών πόρων στην Τουρκία ξεκίνησε το 1964 με τη θέρμανση του Park Hotel στο Μπαλίκεσιρ-Γκιονέν¹¹¹. Σήμερα, σχεδόν 15.000 σπίτια στην Σμύρνη θερμαίνονται με γεωθερμική ενέργεια. Μετά το 2000, οι μελέτες για τη γεωθερμική ενέργεια στην Τουρκία επιταχύνθηκαν και οι περιοχές άμεσης χρήσης, όπως ο θερμικός τουρισμός, η καλλιέργεια σε θερμοκήπια και η κεντρική θέρμανση των σπιτιών, έχουν εξαπλωθεί.

Υπάρχουν σχεδόν 1.000 γεωθερμικοί πόροι στη χώρα μας και 11 περιοχές ξεχωρίζουν ως αποδοτικές όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας:

- Αϊδίνιο-Γκερμέντζικ (232 °C)
- Μανίσα-Σαλίχλι Γκιομπεκλί (182 °C)
- Τσανάκκαλε-Τούζλα (174 °C)
- Αϊδίνιο-Σαλαβάτλι (171 °C)
- Κιουτάχεια-Σιμάβ (162 °C)
- Σμύρνη-Σεφερίχισαρ (153 °C)

- **Μανίσα-Σαλίχλι Τσαφέρμπεϊ (150 °C)**
- **Αϊδίνιο-Γιλμάζκιοϊ (142 °C)**
- **Σμύρνη-Μπαλτζόβα (136 °C)**
- **Σμύρνη-Ντικίλι (130 °C)**

Η Τουρκία διαθέτει σημαντικό δυναμικό στη γεωθερμική ενέργεια και κατατάσσεται 4η στον κόσμο με εγκατεστημένη ικανότητα 1.734 MW από το 2024. Υπάρχουν περίπου 1.000 γεωθερμικοί πόροι στη χώρα με τη μορφή φυσικών εκροών και σε διάφορες θερμοκρασίες, και το συνολικό ανακαλυφθέν γεωθερμικό δυναμικό υπολογίζεται σε 62.000 MW. Η Τουρκία στοχεύει να αυξήσει το μερίδιο της γεωθερμικής ενέργειας στη συνολική εγκατεστημένη ικανότητα ηλεκτρικής ενέργειας στο 8% μέχρι το 2053 και να καλύψει όλες τις ανάγκες θέρμανσης των κατοικιών με γεωθερμική ενέργεια.

6.4.2.2. Η Γεωθερμική Ενέργεια στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, που βρίσκεται στη Μεσογειακή-Ηφαιστειακή Ζώνη, είναι πλούσια σε γεωθερμικούς πόρους, με εκτιμώμενο συνολικό γεωθερμικό δυναμικό περίπου 5.000 MW. Αυτοί οι πόροι είναι συγκεντρωμένοι σε περιοχές με ηφαιστειακή δραστηριότητα και τεκτονική κίνηση, όπως τα νησιά του Αιγαίου και τμήματα της ηπειρωτικής χώρας. Παρά αυτό το σημαντικό δυναμικό, η Ελλάδα δεν έχει εκμεταλλευτεί πλήρως τους γεωθερμικούς της πόρους σε σύγκριση με άλλες χώρες με παρόμοιες γεωλογικές συνθήκες¹¹². Η χρήση γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα ξεκίνησε τη δεκαετία του 1980, με την εγκατάσταση συστημάτων κεντρικής θέρμανσης σε περιοχές όπως το νησί της Λέσβου και ο Άγιος Νικόλαος στην Κρήτη. Με την πάροδο των ετών, οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας επεκτάθηκαν για να περιλαμβάνουν θέρμανση κατοικιών, γεωργικές διαδικασίες (όπως η καλλιέργεια σε θερμοκήπια) και θερμικό τουρισμό. Σήμερα, η Ελλάδα διαθέτει περίπου 50 γνωστά γεωθερμικά πεδία, με σημαντικούς πόρους σε νησιά όπως η Μήλος, η Νίσυρος και η Σαντορίνη, καθώς και σε βόρειες και κεντρικές περιοχές της ηπειρωτικής χώρας. Σημαντικά, το πεδίο της Μήλου μπορεί να φτάσει θερμοκρασίες έως 300 °C, ενώ το πεδίο της Νισύρου είναι σημαντικός πόρος τόσο για άμεσες εφαρμογές όσο και για πιθανή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Από το 2023, η εγκατεστημένη γεωθερμική ικανότητα της Ελλάδας είναι περίπου 160 MW, με το μεγαλύτερο μέρος να χρησιμοποιείται για άμεσες εφαρμογές, όπως η θέρμανση. Ενώ η Ελλάδα είναι πρωτοπόρος στην άμεση χρήση γεωθερμικής ενέργειας στην Ευρώπη, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμική ενέργεια παραμένει περιορισμένη. Ωστόσο, η χώρα εξετάζει ενεργά το δυναμικό για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμική ενέργεια, ιδιαίτερα σε περιοχές υψηλών θερμοκρασιών. Η ελληνική κυβέρνηση έχει αναγνωρίσει τη γεωθερμική ενέργεια ως κρίσιμο στοιχείο της στρατηγικής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και στοχεύει σε σημαντική αύξηση της συνεισφοράς της στο εθνικό ενεργειακό μείγμα. Αυτό περιλαμβάνει σχέδια για νέους γεωθερμικούς σταθμούς και επέκταση της υποδομής γεωθερμικής θέρμανσης.

Μέχρι το 2030, η Ελλάδα σκοπεύει να ενισχύσει το μερίδιο της γεωθερμικής ενέργειας στη συνολική ενεργειακή της ικανότητα, συνεισφέροντας στην αποανθρακοποίηση του ενεργειακού της τομέα και ενισχύοντας την ενεργειακή ασφάλεια. Παρά το σημαντικό γεωθερμικό δυναμικό, υπάρχει ακόμη σημαντικός χώρος για ανάπτυξη στην αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, και η χώρα εργάζεται για να

αξιοποιήσει καλύτερα αυτόν τον πόρο στο πλαίσιο του βιώσιμου ενεργειακού της μέλλοντος.



Εικόνα 82: Η Ελλάδα διαθέτει περίπου 5.000 MW γεωθερμικό δυναμικό, με 160 MW εγκατεστημένη ικανότητα—κυρίως για θέρμανση—ενώ εξετάζει έργα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

6.4.2.3. Η Γεωθερμική Ενέργεια στην Πορτογαλία

Στην ηπειρωτική Πορτογαλία, η γεωθερμική ενέργεια είναι ευρέως κατανοημένη, χρησιμοποιούμενη κυρίως για εφαρμογές χαμηλής ενθαλπίας (<150°C), όπως η θαλασσοθεραπεία, η θέρμανση χώρων και θερμοκηπίων, η ξήρανση ξύλου, φρούτων, λαχανικών και υδατοκαλλιέργειας. Ωστόσο, το αρχιπέλαγος των Αζορών, μια ομάδα εννέα ηφαιστειακών νησιών, είναι η κύρια περιοχή όπου η γεωθερμική ενέργεια είναι πιο αναπτυγμένη λόγω της ηφαιστειακής του προέλευσης και της θέσης του στα όρια των τεκτονικών πλακών, προσφέροντας μεγάλο γεωθερμικό δυναμικό.

Το νησί Σάο Μιγκέλ είναι ιδιαίτερα διάσημο για τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας σε τοπικές δραστηριότητες, όπως το μαγείρεμα του παραδοσιακού πιάτου "Cozido das Furnas" σε γεωθερμικά θερμαινόμενους λάκκους. Πέρα από τις ψυχαγωγικές δραστηριότητες, η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται επίσης για εμπορικούς σκοπούς. Οι γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας στα νησιά Σάο



Εικόνα 83: Στην Πορτογαλία, η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση στην ηπειρωτική χώρα, ενώ στα Αζόρες παρέχει το 25% της ηλεκτρικής ενέργειας των νησιών.

Μιγκέλ και Τερθείρα καλύπτουν περίπου το 25% της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στο αρχιπέλαγος. Ο πρώτος πειραματικός γεωθερμικός σταθμός παραγωγής ενέργειας κατασκευάστηκε το 1980 στο Πίκο Βερμέλιο στο νησί Σάο Μιγκέλ. Οι μεγαλύτεροι σταθμοί περιλαμβάνουν το Πίκο Βερμέλιο (13 MW), τη Ριμπέιρα Γκράντε (16,6 MW) και το Πίκο Άλτο (4,7 MW) στο νησί Τερθείρα. Υπάρχει σε εξέλιξη σχέδιο επέκτασης στο Πίκο Βερμέλιο για διπλασιασμό της ικανότητάς του στα 24 MW μέσω της αξιοποίησης νέων γεωθερμικών πηγών.

Η πορτογαλική κυβέρνηση έχει εισαγάγει το "Στρατηγικό Σχέδιο για τη Γεωθερμική Ενέργεια", με στόχο την αύξηση του αριθμού των γεωθερμικών συστημάτων στην ηπειρωτική χώρα κατά

δέκα φορές μέχρι το 2033 και την πενταπλασιασμό της ποσότητας γεωθερμικής ενέργειας που εξάγεται μέχρι τότε.

6.4.2.4. Γεωθερμική Ενέργεια στη Βόρεια Μακεδονία

Η Βόρεια Μακεδονία, η οποία βρίσκεται κατά μήκος της γεωθερμικής ζώνης που εκτείνεται από την Ουγγαρία έως την Ιταλία και την Ελλάδα, διαθέτει σημαντικό γεωθερμικό δυναμικό, ιδιαίτερα με τα συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας. Πόροι μέσης και υψηλής θερμοκρασίας παραμένουν σε μεγάλο βαθμό ανεξερεύνητοι. Ιστορικά, η χώρα έχει αξιοποιήσει τη γεωθερμική ενέργεια για κεντρική θέρμανση, καλλιέργεια σε θερμοκήπια και θερμαλιστικό τουρισμό. Για παράδειγμα, η κοιλάδα του Κότσανι, γνωστή για τις θερμές πηγές της με θερμοκρασίες νερού από 70-80°C, υποστηρίζει τη τοπική γεωργία και τη θέρμανση. Ωστόσο, η ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας έχει σταματήσει τις τελευταίες τρεις δεκαετίες λόγω έλλειψης επενδύσεων και διαφορών σχετικά με τα δικαιώματα ιδιοκτησίας των γεωθερμικών πόρων. Η γεωθερμική ενέργεια στη Βόρεια Μακεδονία έχει τη δυνατότητα να συνεισφέρει περίπου 10 MW στο εθνικό ενεργειακό μείγμα, αλλά αυτό το δυναμικό παραμένει σε μεγάλο βαθμό ανεκμετάλλευτο, με τις περισσότερες τρέχουσες χρήσεις να επικεντρώνονται σε άμεσες εφαρμογές και όχι στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας^{14,115}.



Εικόνα 84: Η Βόρεια Μακεδονία διαθέτει πλούσιους γεωθερμικούς πόρους χαμηλής θερμοκρασίας που χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση, γεωργία και θερμαλιστικό τουρισμό, ενώ η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παραμένει ανεκμετάλλευτη¹¹⁵.

Η υποεκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας στη Βόρεια Μακεδονία προσφέρει μια πολύτιμη ευκαιρία για διαφοροποίηση των πηγών ενέργειας της χώρας και βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας. Με επενδύσεις στην εξερεύνηση και ανάπτυξη γεωθερμικών πόρων, η Βόρεια Μακεδονία θα μπορούσε να μειώσει την εξάρτησή της από τα ορυκτά καύσιμα και να υιοθετήσει πιο βιώσιμες ενεργειακές πρακτικές. Επιπλέον, η αναζωογόνηση του τομέα του θερμαλιστικού τουρισμού, ο οποίος έχει αντιμετωπίσει μείωση λόγω υποεπένδυσης, θα μπορούσε να ενισχύσει την οικονομική ανάπτυξη και να προσελκύσει διεθνείς επισκέπτες. Συμπερασματικά, ενώ η Βόρεια Μακεδονία διαθέτει σημαντικό γεωθερμικό δυναμικό, η αξιοποίηση αυτής της δυνατότητας απαιτεί στρατηγικές επενδύσεις, υποστήριξη από πολιτικές και τεχνολογικές εξελίξεις. Αντιμετωπίζοντας αυτές τις προκλήσεις, η χώρα μπορεί να

αξιοποιήσει αποτελεσματικά τη γεωθερμική ενέργεια για θέρμανση, γεωργία και ενδεχομένως παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ανοίγοντας το δρόμο για ένα πιο βιώσιμο και διαφοροποιημένο ενεργειακό μέλλον.

6.4.3. Θετικές Επιπτώσεις της Γεωθερμικής Ενέργειας

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται ως μια βιώσιμη και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας μέσω της μεθόδου επανεισαγωγής. Έχει σημαντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα¹¹⁶.

Πλεονεκτήματα



- Παρέχει κατάλληλες συνθήκες για θερμικές εφαρμογές στον τομέα και είναι μια καθαρή πηγή ενέργειας.
- Είναι μια πηγή που μειώνει την εξάρτηση από εξωτερικές ενεργειακές πηγές.
- Είναι χαμηλότερου κόστους από τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας και είναι έτοιμη προς χρήση.
- Είναι εύκολο να εγκατασταθούν παραγωγικές μονάδες στην περιοχή όπου βρίσκεται η πηγή και η ανάγκη για χώρο εγκατάστασης είναι χαμηλή.
- Η συνεχιζόμενη παραγωγή ενέργειας είναι εφικτή

ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες.

- Δεν υπάρχει κίνδυνος έκρηξης ή πυρκαγιάς.
- Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τους γεωθερμικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας είναι αρκετά χαμηλές.



Μειονεκτήματα

- Τα μέταλλα που περιέχονται στο γεωθερμικό υγρό μπορεί να προκαλέσουν ρύπανση του νερού και του εδάφους.
- Αν δεν ληφθούν κατάλληλες προφυλάξεις, μπορεί να προκαλέσει περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως αλλαγές θερμοκρασίας και θόρυβο.
- Αν τα χημικά συστατικά που περιέχονται στο γεωθερμικό υγρό δεν διαχειριστούν σωστά, μπορεί να βλάψουν το περιβάλλον.
- Η γεωθερμική ενέργεια είναι δύσκολο να

μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις και συνήθως μπορεί να μεταδοθεί μέχρι ένα μέγιστο των 100 χλμ.

6.4.4. Περιοχές Χρήσης της Γεωθερμικής Ενέργειας

Οι γεωθερμικοί πόροι χωρίζονται σε τρεις ομάδες σύμφωνα με τη θερμοκρασία τους:

- Πεδία χαμηλής θερμοκρασίας (20-70 °C)
- Πεδία μέσης θερμοκρασίας (70-150 °C)
- Πεδία υψηλής θερμοκρασίας (150 °C και άνω)

Ενώ οι γεωθερμικοί πόροι χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται γενικά για θερμικές εφαρμογές, οι πόροι υψηλής θερμοκρασίας αξιοποιούνται με ολοκληρωμένο τρόπο τόσο για την παραγωγή ηλεκτρισμού όσο και για θερμικές εφαρμογές. Η παραγωγή ηλεκτρισμού είναι επίσης δυνατή από μέσο θερμοκρασιακό υγρό.

6.4.5. Τύποι Χρήσης Γεωθερμικής Ενέργειας

Οι περιοχές χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας εξετάζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: ¹¹⁷:



Εικόνα 85: Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται άμεσα για θέρμανση, γεωργία και τουρισμό και έμμεσα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με τη θερμοκρασία της πηγής.¹¹⁷.

Άμεση Χρήση: • Συστήματα κεντρικής θέρμανσης (θέρμανση πόλεων, θερμοκήπια, θέρμανση κατοικιών)

- Θερμικός τουρισμός (ιαματικές πηγές, κέντρα σπα, κέντρα υγειονομικής φροντίδας)
- Ξήρανση αγροτικών προϊόντων
- Θερμό υδατοκαλλιέργεια ψαριών
- Λιώσιμο χιονιού και πάγου (σε δρόμους και αεροδρόμια)
- Παραγωγή ορυκτών και μετάλλων

Έμμεση Χρήση:

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Οι περιοχές χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας διαφέρουν ανάλογα με τη θερμοκρασία της πηγής. Σήμερα, οι γεωθερμικοί πόροι χρησιμοποιούνται

παγκοσμίως για σκοπούς θερμικού τουρισμού. Ιαματικές πηγές, κέντρα σπα, λουτρά και κολυμβητικές εγκαταστάσεις είναι από τις πιο κοινές εφαρμογές. Επίσης, η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση χιονιού και πάγου από δρόμους και αεροδρόμια σε χώρες όπως οι ΗΠΑ, η Ελβετία, η Ιαπωνία, η Ισλανδία και η Αργεντινή. Οι γεωθερμικοί πόροι χρησιμοποιούνται επίσης σε γεωργική παραγωγή και βιομηχανικούς τομείς.

Άμεση Χρήση: • Συστήματα κεντρικής θέρμανσης (θέρμανση πόλεων, θερμοκήπια, θέρμανση κατοικιών)

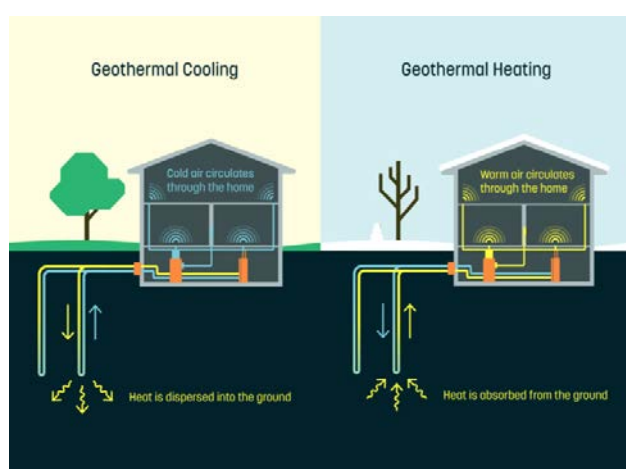
- Θερμικός τουρισμός (ιαματικές πηγές, κέντρα σπα, κέντρα υγειονομικής φροντίδας)
- Ξήρανση αγροτικών προϊόντων
- Θερμό υδατοκαλλιέργεια ψαριών

- Λιώσιμο χιονιού και πάγου (σε δρόμους και αεροδρόμια)
- Παραγωγή ορυκτών και μετάλλων

Έμμεση Χρήση:

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Οι περιοχές χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας διαφέρουν ανάλογα με τη θερμοκρασία της πηγής. Σήμερα, οι γεωθερμικοί πόροι χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για σκοπούς θερμικού τουρισμού. Ιαματικές πηγές, κέντρα σπα, λουτρά και κολυμβητικές εγκαταστάσεις είναι από τις πιο κοινές εφαρμογές. Επίσης, η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση χιονιού και πάγου από δρόμους και αεροδρόμια σε χώρες όπως οι ΗΠΑ, η Ελβετία, η Ιαπωνία, η Ισλανδία και η Αργεντινή. Οι γεωθερμικοί πόροι χρησιμοποιούνται επίσης σε γεωργική παραγωγή και βιομηχανικούς τομείς.



Εικόνα 86: Η γεωθερμική κεντρική θέρμανση χρησιμοποιεί τη θερμότητα από το υπέδαφος για να ζεστάνει τα σπίτια αποτελεσματικά, με ελάχιστη απώλεια θερμότητας και βιώσιμα συστήματα επανεισπρόής..

της κύριας γραμμής. Εδώ, η θερμότητα του γεωθερμικού υγρού μεταφέρεται στο νερό κυκλοφορίας που κυκλοφορεί στα κτίρια μέσω εναλλάκτων θερμότητας. Το γεωθερμικό υγρό, του οποίου η θερμότητα έχει ληφθεί, επανεισπράττεται στο υπέδαφος, εξασφαλίζοντας τη βιώσιμη χρήση.

6.4.6. Εφαρμογές Γεωθερμικής Ενέργειας 6.4.6.1 Θέρμανση Κατοικιών (Σύστημα Κεντρικής Θέρμανσης)

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη πηγή ενέργειας για τη θέρμανση των σπιτιών¹¹⁹. Ανάλογα με τις οικονομικές συνθήκες, το γεωθερμικό υγρό μεταφέρεται στα κτίρια μέσω συστημάτων κεντρικής θέρμανσης. Όταν μεταφέρεται χρησιμοποιώντας ειδικά μονωμένους αγωγούς, η απώλεια θερμότητας είναι αρκετά χαμηλή (περίπου 0,1–0,3 °C/χλμ). Στα συστήματα κεντρικής θέρμανσης όπου χρησιμοποιείται γεωθερμικό υγρό, το ζεστό νερό ή ατμός που αντλείται από γεωτρήσεις μεταφέρεται στο κέντρο θέρμανσης μέσω

6.4.6.2. Αντλία Θερμότητας Εδάφους και Νερού

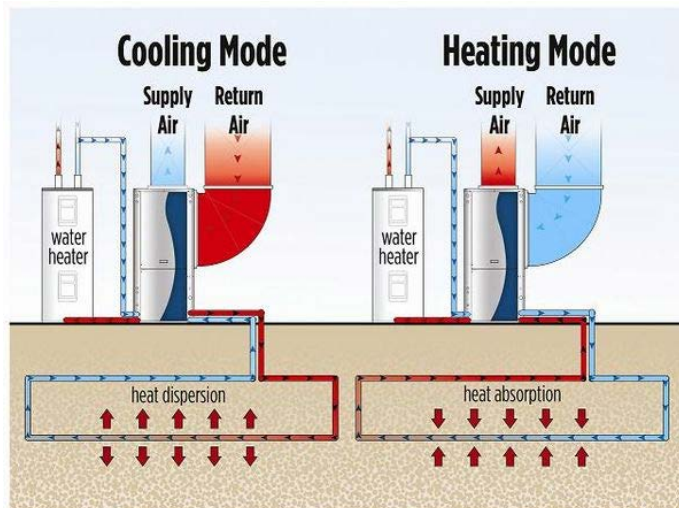
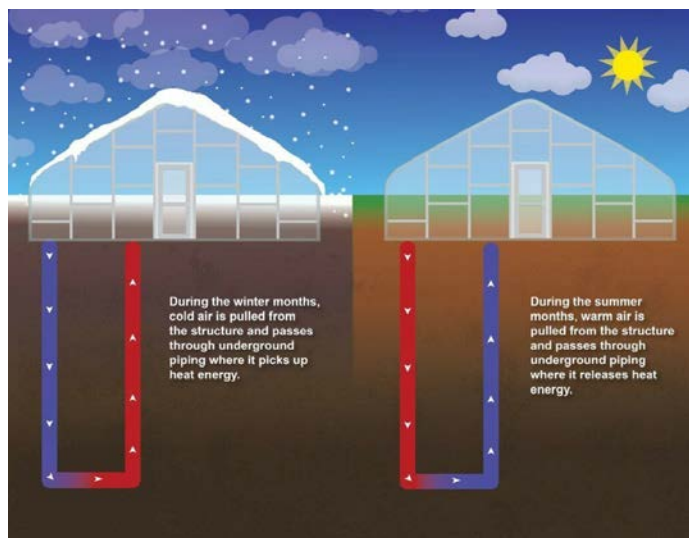


Figure 87: Ground and water source heat pumps use stable underground temperatures for efficient year-round heating and cooling¹²⁰.

νερού, η θέρμανση και ψύξη χώρων. Είναι ιδιαίτερα προτιμώμενα για εξοικονόμηση ενέργειας σε κατοικίες, εμπορικά κτίρια και βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

6.4.6.3. Θέρμανση Θερμοκηπίου



Εικόνα 88: Η γεωθερμική ενέργεια παρέχει αποδοτική, φιλική προς το περιβάλλον θέρμανση για θερμοκήπια, αυξάνοντας την απόδοση των καλλιεργειών καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

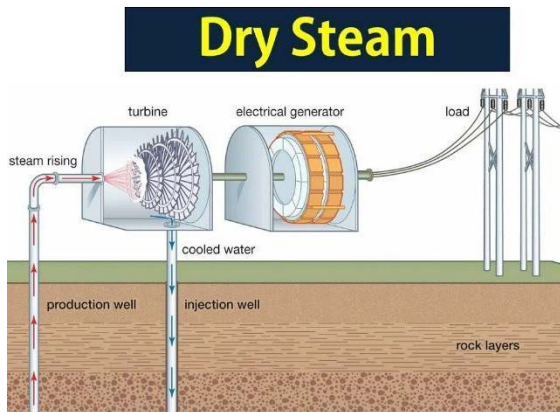
θερμοκήπια, αυξάνει την παραγωγικότητα των φυτών και προσφέρει περιβαλλοντικά οφέλη μειώνοντας την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων.

Οι αντλίες θερμότητας γεωθερμικής ενέργειας βασίζονται στην αρχή ότι η θερμοκρασία στα κατώτερα στρώματα της γήινης κρούστας είναι σχετικά σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους¹²⁰. Σε αυτά τα συστήματα, το γεωθερμικό υγρό χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται ως φορέας θερμότητας ή, σε περιοχές με περιορισμένο υπόγειο νερό, εκμεταλλεύεται η θερμότητα των πετρωμάτων¹²¹. Για τις αντλίες θερμότητας εδάφους και νερού, οι γεωτρήσεις συνήθως γίνονται σε βάθος 100-200 μέτρων. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς, όπως η παροχή ζεστού

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τη θέρμανση θερμοκηπίων. Τα συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων διαφέρουν ανάλογα με την τεχνική θέρμανσης που χρησιμοποιείται¹²². Οι καταλληλότερες πηγές για τη θέρμανση θερμοκηπίων με γεωθερμική ενέργεια είναι οι ρηχές, επιφανειακές γεωθερμικές πηγές με θερμοκρασία 25-60°C. Τέτοιες πηγές προσφέρουν μια οικονομική επιλογή, καθώς το κόστος εκσκαφής, λειτουργίας, άντλησης και συντήρησης είναι χαμηλότερο. Η γεωθερμική θέρμανση βελτιώνει τον έλεγχο της θερμοκρασίας στα

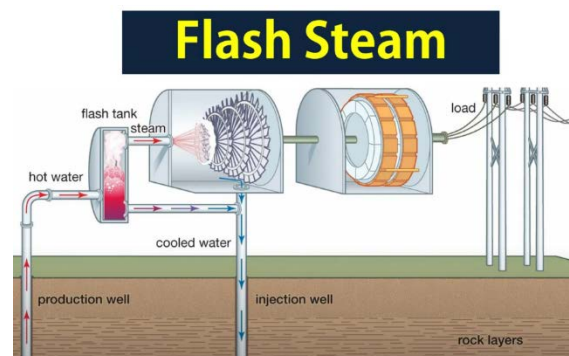
6.4.6.4. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Γεωθερμική Ενέργεια

Οι γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας τουρμπίνες ατμού, όπως και στους θερμικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Ανάλογα με τη θερμοκρασία και τη σύνθεση του γεωθερμικού υγρού, η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται μέσω τριών διαφορετικών συστημάτων¹²³:

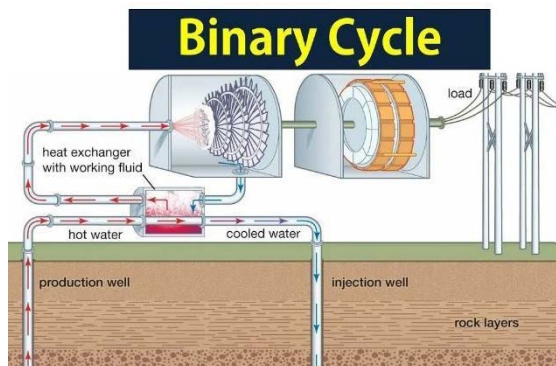


Εικόνα 89: Οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας με ξηρό ατμό χρησιμοποιούν άμεσα τον υπόγειο ατμό για να κινήσουν τουρμπίνες και να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.

2. **Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας με Ατμό Εκτόνωσης:** Η πίεση του ζεστού υγρού που εξάγεται από την πηγή μειώνεται μέσω διαχωριστών και το νερό και ο ατμός διαχωρίζονται. Ο ατμός που παράγεται χρησιμοποιείται στις τουρμπίνες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ ένα μέρος του νερού επαναφέρεται στο υπέδαφος¹²³.



Εικόνα 90: Στα συστήματα ατμού εκτόνωσης, το ζεστό νερό υψηλής πίεσης αποπροσωποποιείται για να παραχθεί ατμός που κινεί την τουρμπίνη.



Εικόνα 91: Οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας με διπλό κύκλο μεταφέρουν θερμότητα από το γεωθερμικό υγρό σε ένα δευτερεύον υγρό με χαμηλότερο σημείο βρασμού, το οποίο ατμοποιείται και κινεί την τουρμπίνη.

3. **Σταθμοί Παραγωγής Ενέργειας με Διπλό Κύκλο:** Είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για να επωφεληθούμε από γεωθερμικές πηγές χαμηλής θερμοκρασίας. Σε αυτό το σύστημα, το ζεστό γεωθερμικό υγρό θερμαίνει ένα δεύτερο υγρό και το ατμοποιεί, και ο ατμός του δεύτερου υγρού χρησιμοποιείται στις τουρμπίνες¹²³.

Σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας με ξηρό ατμό, το υγρό που εξάγεται από το υπέδαφος είναι συνήθως μείγμα κορεσμένου ατμού και υγρού. Αν η αναλογία του ατμού είναι υψηλή, ο ατμός διαχωρίζεται και κατευθύνεται απευθείας στις τουρμπίνες. Αν η αναλογία του ατμού είναι χαμηλή, η πίεση μειώνεται (με τη μέθοδο ψεκασμού) και ένα μέρος του υγρού ατμοποιείται, παράγοντας έτσι ηλεκτρική ενέργεια.



6.5. Ενέργεια από Θάλασσα-Ωκεανό

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την απόκτηση ενέργειας από τις θάλασσες και τους ωκεανούς^{124,125}. Αυτές οι μέθοδοι είναι:



- Ενέργεια από εξάτμιση της επιφάνειας
- Ενέργεια από τα ρεύματα
- Ενέργεια από το βαθμωτό αλάτι
- Ενέργεια από τη θερμοκρασιακή διαφορά
- Ενέργεια από τις παλίρροιες
- Ενέργεια από τα κύματα

Εικόνα 92: Τα συστήματα ενέργειας από τον ωκεανό εκμεταλλεύονται την ενέργεια από τα κύματα, τις παλίρροιες και τα ρεύματα για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, χρησιμοποιώντας υποθαλάσσια καλώδια για να την μεταφέρουν στην ακτή¹²⁵.

αποδοτικό τρόπο από τις θαλάσσιες ενέργειες εκτός από την ενέργεια από τα κύματα και τις παλίρροιες¹²⁶. Επομένως, οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι πόροι ανάμεσα στις θαλάσσιες-ωκεάνιες ενέργειες είναι η ενέργεια από τα κύματα και η ενέργεια από τις παλίρροιες.

Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη την τεχνολογία και τις οικονομικές συνθήκες της σημερινής εποχής, δεν είναι δυνατόν να παραχθεί ενέργεια με



Εικόνα 93: Ο Σταθμός Παραγωγής Ενέργειας από Παλίρροιες Rance στη Γαλλία, με χωρητικότητα 240 MW, είναι ένα από τα πρώτα και μεγαλύτερα έργα ενέργειας από παλίρροιες στον κόσμο, λειτουργώντας με φράγμα μήκους 750 μέτρων.

6.5.1. Ενέργειες από Θάλασσα-Ωκεανό στον Κόσμο

Η χρήση των θαλάσσιων και ωκεάνιων ενεργειών χρονολογείται από την αρχαιότητα. Ο πρώτος γνωστός μύλος παλίρροιας λειτουργούσε από τους Ρωμαίους το 537 μ.Χ. Οι σύγχρονοι σταθμοί παραγωγής ενέργειας από παλίρροιες βασίζονται στις αρχές του νόμου της βαρύτητας, όπως εξήγησε ο Νεύτωνας τον 17ο αιώνα.

Για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια από την κίνηση των παλίρροιας, κατασκευάζονται φράγματα σε περιοχές όπου η amplitude των παλίρροιας είναι υψηλή. Ένα από τα πιο σημαντικά παραδείγματα αυτού του συστήματος είναι ο Σταθμός Παραγωγής Ενέργειας από Παλίρροιες Rance στη Γαλλία. Αυτός ο σταθμός έχει ισχύ 240 MW και φράγμα μήκους 750 μέτρων.

Ένας άλλος μεγάλης κλίμακας σταθμός είναι ο Σταθμός Παραγωγής Ενέργειας Sihwa Lake στην Νότια Κορέα, ο οποίος ολοκληρώθηκε το 2011 με ισχύ 254 MW. Η ιδέα της χρήσης της ενέργειας των κυμάτων για την παραγωγή ηλεκτρισμού συζητείται από τον 18ο αιώνα. Ωστόσο, τον 20ο αιώνα, η ενέργεια των κυμάτων χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στην παραγωγή ηλεκτρισμού στο Σαν Φρανσίσκο και στην Καλιφόρνια, ΗΠΑ.

Ο πρώτος μεγάλης κλίμακας σταθμός παραγωγής ενέργειας που κατασκευάστηκε με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών ενέργειας από κύματα, κατασκευάστηκε στο νησί Islay, ανοιχτά της δυτικής ακτής της Σκωτίας, με χωρητικότητα 500 kW. Από το 2023, η συνολική εγκατεστημένη ικανότητα των παγκόσμιων έργων θαλάσσιας ενέργειας ανέρχεται σε 527 MW. Περίπου το 50% αυτών των έργων βρίσκονται στην Ασία και το 45% στην Ευρώπη.

Για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια από την κίνηση των παλίρροιων, κατασκευάζονται φράγματα σε περιοχές όπου η amplitude των παλίρροιων είναι υψηλή. Ένα από τα πιο σημαντικά παραδείγματα αυτού του συστήματος είναι ο Σταθμός Παραγωγής Ενέργειας από Παλίρροιας Rance στη Γαλλία. Αυτός ο σταθμός έχει ισχύ 240 MW και φράγμα μήκους 750 μέτρων.

Ένας άλλος μεγάλης κλίμακας σταθμός είναι ο Σταθμός Παραγωγής Ενέργειας Sihwa Lake στην Νότια Κορέα, ο οποίος ολοκληρώθηκε το 2011 με ισχύ 254 MW. Η ιδέα της χρήσης της ενέργειας των κυμάτων για την παραγωγή ηλεκτρισμού συζητείται από τον 18ο αιώνα. Ωστόσο, τον 20ο αιώνα, η ενέργεια των κυμάτων χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στην παραγωγή ηλεκτρισμού στο Σαν Φρανσίσκο και στην Καλιφόρνια, ΗΠΑ.



Ο πρώτος μεγάλης κλίμακας σταθμός παραγωγής ενέργειας που κατασκευάστηκε με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών ενέργειας από κύματα, κατασκευάστηκε στο νησί Islay, ανοιχτά της δυτικής ακτής της Σκωτίας, με χωρητικότητα 500 kW. Από το 2023, η συνολική εγκατεστημένη ικανότητα των παγκόσμιων έργων θαλάσσιας ενέργειας ανέρχεται σε 527 MW. Περίπου το 50% αυτών των έργων βρίσκονται στην Ασία και το 45% στην Ευρώπη.

Εικόνα 94: Η Σιχουά Λέικ Τσιντρική Ενεργειακή Μονάδα, που βρίσκεται στη Νότια Κορέα, είναι η μεγαλύτερη μονάδα ενέργειας παλίρροιας στον κόσμο με ισχύ 254 MW, και ολοκληρώθηκε το 2011.

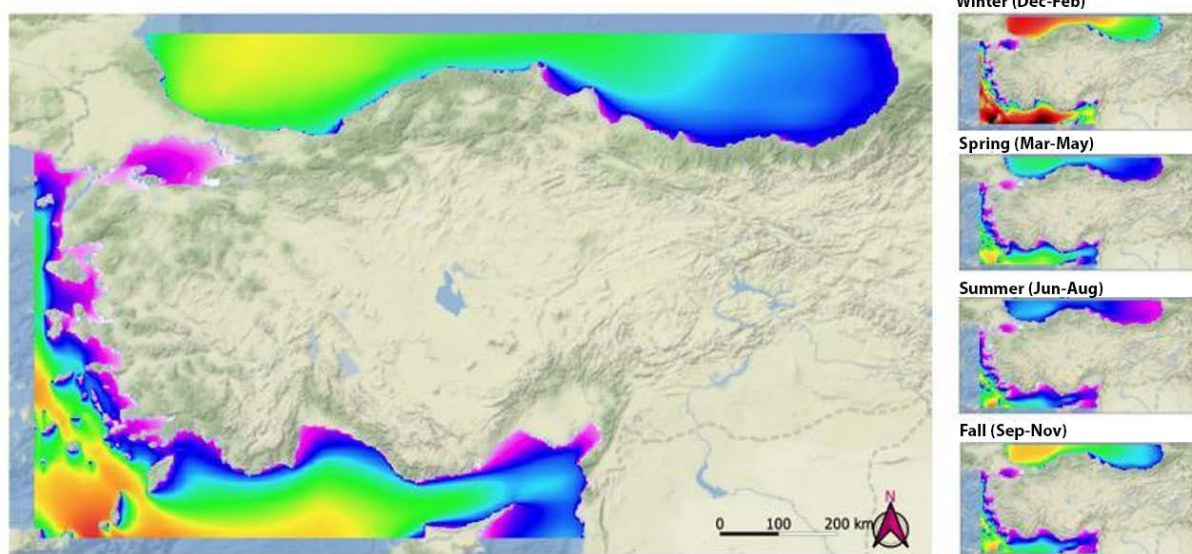
6.5.2. Ενέργειες Θάλασσας-Ωκεανών σε Χώρες Συνεργάτες

6.5.2.1. Ενέργειες Θάλασσας-Ωκεανών στην Τουρκία

Η Τουρκία διαθέτει σημαντικό δυναμικό όσον αφορά τις θαλάσσιες και ωκεάνιες μορφές ενέργειας. Η κυματική ενέργεια, συγκεκριμένα, ξεχωρίζει ως ένας σημαντικός πόρος για την ενίσχυση της ενεργειακής ποικιλομορφίας της χώρας. Σύμφωνα με μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στις θάλασσες της Τουρκίας, το ετήσιο τεχνικό δυναμικό κυματικής ενέργειας εκτιμάται περίπου στις 50 TWh. Οι περιοχές με το υψηλότερο δυναμικό εντοπίζονται κυρίως κατά μήκος της ακτογραμμής μεταξύ της Σμύρνης και της Αττάλειας. Ως εκ τούτου, οι περιοχές μεταξύ Αττάλειας και Σμύρνης (Φοινίκη-Δάλαμαν) θεωρούνται οι πιο κατάλληλες

για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από κυματική ενέργεια. Παράλληλα, έχουν επιταχυνθεί και οι μελέτες για έργα υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στην Τουρκία.

Türkiye Wave Atlas: Long-term average wave power [kW/m]



Εικόνα 95: Η δυναμική της κυματικής ενέργειας είναι υψηλότερο μεταξύ İzmir και Antalya.

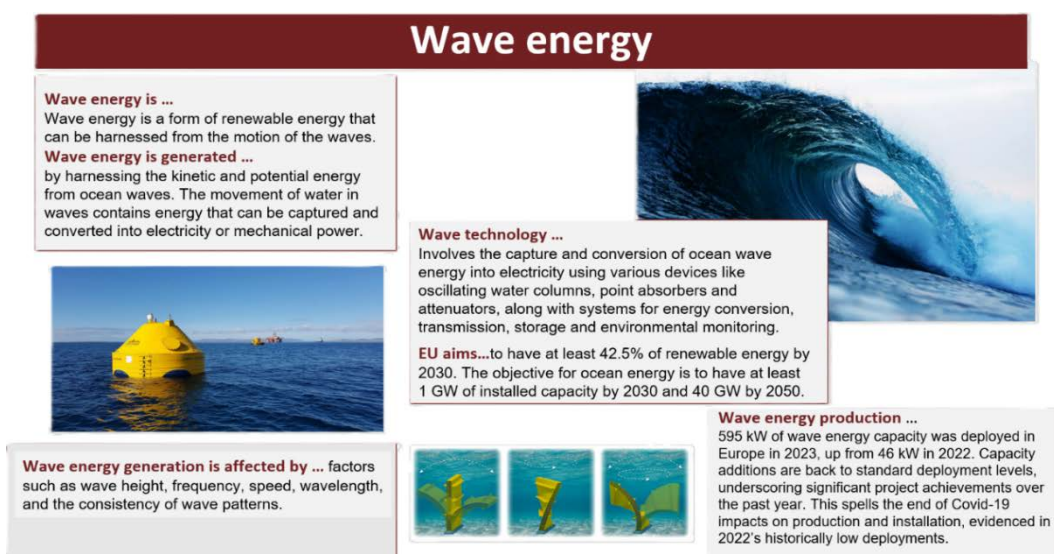
Σύμφωνα με την έκθεση «Οδικός Χάρτης Υπεράκτιας Αιολικής Ενέργειας της Τουρκίας» που εκπονήθηκε από την Παγκόσμια Τράπεζα, το συνολικό τεχνικό δυναμικό υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στα χωρικά ύδατα της Τουρκίας εκτιμάται σε 75 GW. Η έκθεση προβλέπει ότι μέχρι το 2040 μπορεί να επιτευχθεί εγκατεστημένη υπεράκτια αιολική ισχύς της τάξης των 7 GW¹²⁸. Αν και τα εμπορικά έργα που σχετίζονται με τη θαλάσσια ενέργεια είναι ακόμη περιορισμένα στην Τουρκία, διάφορα ερευνητικά και πιλοτικά έργα διεξάγονται σε ακαδημαϊκό επίπεδο. Συγκεκριμένα, σε ένα έργο που πραγματοποιήθηκε από το Υπουργείο Ενέργειας και Φυσικών Πόρων το 2007 σχετικά με την ενέργεια από κύματα, χρησιμοποιήθηκαν πλωτές πλατφόρμες όπου η κάθετη κίνηση των κυμάτων μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννητριών, και παρήχθησαν 5 kWh ηλεκτρικής ενέργειας με αυτό το σύστημα, καλύπτοντας τις ενεργειακές ανάγκες δύο κατοικιών. Ως αποτέλεσμα, διάφορες μελέτες διεξάγονται τόσο από δημόσιους φορείς όσο και από τον ιδιωτικό τομέα για την αξιολόγηση του δυναμικού θαλάσσιας και ωκεάνιας ενέργειας της Τουρκίας. Η έναρξη τεχνικών μελετών για υπεράκτια αιολικά έργα το 2024, ειδικότερα, θα αποτελέσει ένα σημαντικό βήμα για τη διαφοροποίηση των ανανεώσιμων ενεργειακών πηγών της χώρας μας και την ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού.

6.5.2.2. Ενέργειες Θάλασσας-Ωκεανών στην Ελλάδα

Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικό δυναμικό για την ανάπτυξη ενέργειας από τη θάλασσα και τον ωκεανό, ιδιαίτερα στην κυματική ενέργεια και την υπεράκτια αιολική ενέργεια. Το μεγάλο μήκος των ακτογραμμών της και οι ευνοϊκές γεωγραφικές συνθήκες καθιστούν τη χώρα ιδανική για έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από τη θάλασσα. Το δυναμικό κυματικής ενέργειας της Ελλάδας είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτο, με μελέτες να εκτιμούν την ετήσια τεχνική δυνατότητα στα περίπου 35 TWh. Το Αιγαίο Πέλαγος, ιδίως γύρω από τις Κυκλάδες και τη νότια Πελοπόννησο, παρουσιάζει το μεγαλύτερο κυματικό δυναμικό, καθιστώντας αυτές

τις περιοχές κατάλληλες για την ανάπτυξη κυματικής ενέργειας προς υποστήριξη της ηλεκτροπαραγωγής και των στόχων της Ελλάδας για τις ΑΠΕ.

Η υπεράκτια αιολική ενέργεια κερδίζει επίσης έδαφος, με την Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη (ΑΟΖ) της Ελλάδας στο Αιγαίο και το Ιόνιο να προσφέρει εξαιρετικές συνθήκες για αιολικά πάρκα. Το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας εκτιμά το δυναμικό υπεράκτιας αιολικής ενέργειας της χώρας έως και 22 GW. Τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί διάφορα έργα υπεράκτιας αιολικής ενέργειας, με την κυβέρνηση να παραχωρεί περιοχές στο Αιγαίο για την ανάπτυξή τους. Αυτά τα έργα είναι κρίσιμα για την επίτευξη των στόχων της χώρας στις ΑΠΕ και τη βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας. Η κυβέρνηση έχει επίσης θεσπίσει ρυθμιστικές μεταρρυθμίσεις για την απλοποίηση των αδειοδοτήσεων και την προσέλκυση ιδιωτικών επενδύσεων στον τομέα της θαλάσσιας ενέργειας.



Σχήμα 96: Η Ελλάδα διαθέτει υψηλό δυναμικό κυματικής ενέργειας, ιδιαίτερα στο Αιγαίο Πέλαγος και στοχεύει στην ανάπτυξη θαλάσσιων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η κυματική και η υπεράκτια αιολική ενέργεια.

Η Ελλάδα βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο ανάπτυξης εμπορικών έργων θαλάσσιας και ωκεάνιας ενέργειας, αν και βρίσκονται σε εξέλιξη διάφορες ερευνητικές και πιλοτικές πρωτοβουλίες. Η συμμετοχή της χώρας σε διεθνείς συνεργασίες και έργα χρηματοδοτούμενα από την ΕΕ προωθεί τη διερεύνηση της τεχνολογικής και οικονομικής βιωσιμότητας της ενέργειας από τη θάλασσα. Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας στηρίζει μελέτες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις τεχνολογικές καινοτομίες που απαιτούνται για την αποδοτική αξιοποίηση της κυματικής και υπεράκτιας αιολικής ενέργειας¹²⁹. Η Ελλάδα σχεδιάζει να επεκτείνει σημαντικά τη θαλάσσια ενεργειακή της ικανότητα τις επόμενες δύο δεκαετίες, καθιστώντας την βασικό στοιχείο στη μετάβαση της χώρας προς ένα πιο βιώσιμο ενεργειακό σύστημα.

Συμπερασματικά, η Ελλάδα βρίσκεται σε πλεονεκτική θέση για να αξιοποιήσει το δυναμικό της από θαλάσσιες και ωκεάνιες μορφές ενέργειας, ιδιαίτερα μέσω της κυματικής και υπεράκτιας αιολικής ενέργειας. Με τη συνεχιζόμενη έρευνα, τη ρυθμιστική υποστήριξη και τις επενδύσεις στην τεχνολογία, αναμένεται να εξελιχθεί σε βασικό παράγοντα στην προώθηση των θαλάσσιων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη Μεσόγειο, συμβάλλοντας τόσο στην εθνική όσο και στη περιφερειακή ενεργειακή βιωσιμότητα.

6.5.2.3. Ενέργειες Θάλασσας-Ωκεανών στην Πορτογαλία

Η Πορτογαλία διερευνά την κυματική ενέργεια εδώ και πάνω από 50 χρόνια, με πρωτοποριακή ακαδημαϊκή εργασία να ξεκινά τη δεκαετία του 1970. Επί του παρόντος, τα ενεργειακά έργα σε αυτόν τον τομέα περιορίζονται στην κυματική ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εξαιρουμένων των υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Η χώρα επωφελείται από τη μεγάλη δυτική ακτογραμμή της, μήκους 800 χλμ., η οποία προσφέρει ευνοϊκές συνθήκες για την αξιοποίηση της κυματικής ενέργειας.

Το έργο «Central do Pico» στο Porto Cachorro, στο νησί Πίκο των Αζορών, ήταν ο πρώτος ερευνητικός και πιλοτικός σταθμός κυματικής ενέργειας στον κόσμο που συνδέθηκε με το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Ξεκίνησε τις μελέτες το 1986 και άρχισε να λειτουργεί το 1999, χρησιμοποιώντας τεχνολογία ταλαντευόμενης στήλης νερού και τουρμπίνα που αναπτύχθηκε στην Πορτογαλία. Ο σταθμός έκλεισε το 2018 και έχουν γίνει προσπάθειες επανενεργοποίησής του από τότε.

Η Πορτογαλία έχει επίσης υλοποιήσει έργα κυματικής ενέργειας στις βόρειες (Aguçadoura) και κεντρικές (Peniche) περιοχές. Παρά το τεράστιο δυναμικό της, η ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας έχει αντιμετωπίσει τεχνολογικές και συντηρητικές προκλήσεις, με αποτέλεσμα τη χαμηλή εγκατεστημένη ισχύ.

Μεταξύ 2017 και 2019, εγκαταστάθηκε πειραματικό σύστημα παλιρροιακού ρεύματος στη νότια ακτή, το οποίο αξιοποιούσε την ενέργεια από ρεύματα ποταμού σε εκβολές, αλλά το δυναμικό αυτής της πηγής θεωρείται χαμηλό. Η ανάπτυξη της κυματικής ενέργειας στην Πορτογαλία εντάσσεται σε διάφορα εθνικά σχέδια, συμπεριλαμβανομένου του Εθνικού Σχεδίου για την Ενέργεια και το Κλίμα (PNEC 2030), με σημαντική αναμενόμενη ανάπτυξη τα επόμενα χρόνια¹³⁰.



Σχήμα 97: Η Πορτογαλία έχει αναπτύξει αρκετά έργα κυματικής ενέργειας κατά μήκος της ακτογραμμής της, συμπεριλαμβανομένων των περιοχών Aguçadoura, Peniche και των Αζορών, συμβάλλοντας στην καινοτομία στις θαλάσσιες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

6.5.2.4. Ενέργειες Θάλασσας-Ωκεανών στη Βόρεια Μακεδονία

Δεδομένου ότι η Βόρεια Μακεδονία είναι περικλειστή χώρα, δεν έχει άμεση πρόσβαση σε θαλάσσιες ή ωκεάνιες πηγές ενέργειας, όπως η κυματική, η παλιρροϊκή ή η υπεράκτια αιολική ενέργεια¹³¹. Ως αποτέλεσμα, δεν υπάρχουν επί του παρόντος έργα θαλάσσιας ενέργειας, ερευνητικές πρωτοβουλίες ή αναπτυξιακές υποδομές που να σχετίζονται με την ενέργεια από τη θάλασσα και τους ωκεανούς στη χώρα. Οι προσπάθειες της Βόρειας Μακεδονίας στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας επικεντρώνονται αντ' αυτού στην υδροηλεκτρική, την ηλιακή, την αιολική και τη γεωθερμική ενέργεια.

Παρόλο που η Βόρεια Μακεδονία δεν διαθέτει τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά για να αξιοποιήσει πηγές ενέργειας που προέρχονται από τη θάλασσα, αναπτύσσει ενεργά τον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέσω σημαντικών επενδύσεων στην αιολική και την ηλιακή ενέργεια. Οι προσπάθειες αυτές αποσκοπούν στη διαφοροποίηση του ενεργειακού μείγματος της χώρας, την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας και τη συμβολή στη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος.

6.5.3. Θετικές και Αρνητικές Επιπτώσεις της Ενέργειας από Θάλασσα και Ωκεανό:

Η ενέργεια από τη θάλασσα και τον ωκεανό ξεχωρίζει ως μια βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας. Αυτοί οι τύποι ενέργειας θεωρούνται ανεξάντλητοι πόροι, χάρη στη συνεχιζόμενη κίνηση των κυμάτων όσο φυσά ο άνεμος και στις παλίρροιες όσο υπάρχει η βαρυτική δύναμη μεταξύ της Γης και της Σελήνης. Ωστόσο, αυτά τα συστήματα έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα, καθώς και διάφορες δυσκολίες και μειονεκτήματα.

Πλεονεκτήματα



- Η ενέργεια από τα κύματα και τις παλίρροιες είναι μια απεριόριστη πηγή ενέργειας που παρέχεται από τη φύση.
- Δεδομένου ότι δεν καταναλώνονται ορυκτά καύσιμα, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι σχεδόν μηδενικές.
- Τα εργοστάσια θαλάσσιας ενέργειας συνεισφέρουν θετικά στην καταπολέμηση της παγκόσμιας θέρμανσης μειώνοντας τις εκπομπές άνθρακα.
- Τα συστήματα θαλάσσιας ενέργειας είναι γενικά

ανθεκτικές κατασκευές και μπορούν να συνεχίσουν να παράγουν ενέργεια για πολλά χρόνια.

- Τα φράγματα παλίρροιας μπορούν να αποτρέψουν πλημμύρες, λειτουργώντας ως αντιθαλάσσιοι τοίχοι στα σημεία που είναι τοποθετημένα.
- Δεδομένου ότι κατασκευάζονται στη θάλασσα, δεν έχουν άμεση επίδραση στο οικοσύστημα της ξηράς και προστατεύουν τις γεωργικές εκτάσεις.
- Η θαλάσσια ενέργεια μπορεί να αυξήσει την ασφάλεια της ενεργειακής τροφοδοσίας μειώνοντας την εξάρτηση από εξωτερικές πηγές.
- Τουριστικές εγκαταστάσεις μπορούν να κατασκευαστούν γύρω από τα εργοστάσια ενέργειας στη θάλασσα.

- Μπορεί να λειτουργήσει ως λιμνοθάλασσα και να δημιουργήσει κατάλληλο περιβάλλον για την αναπαραγωγή ορισμένων ειδών.
- Λόγω των έντονων κυμάτων τους χειμερινούς μήνες, μπορεί να παραχθεί περισσότερη ενέργεια κατά την περίοδο που η ζήτηση ενέργειας αυξάνεται.

Μειονεκτήματα



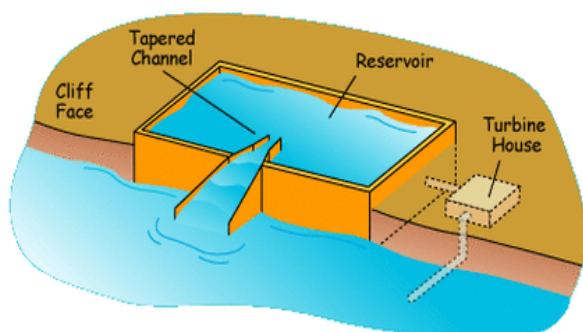
- Επειδή οι κινήσεις των κυμάτων και των παλιρροιών δεν είναι συνεχείς, η παραγωγή ενέργειας μπορεί να είναι ακανόνιστη.
- Τα εργοστάσια θαλάσσιας ενέργειας έχουν υψηλότερο κόστος εγκατάστασης σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Οι τουρμπίνες μπορούν να αλλάξουν τις διαδρομές μετανάστευσης των θαλάσσιων οργανισμών και να επηρεάσουν αρνητικά τα παράκτια οικοσυστήματα.
- Οι εγκαταστάσεις που χτίζονται κοντά στην ακτή μπορεί να προκαλέσουν αισθητικά προβλήματα και ηχορύπανση.
- Τα εργοστάσια που κατασκευάζονται μακριά από την ακτή μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την ναυσιπλοΐα και την αλιεία.
- Μπορούν να φράξουν τη ροή των ρευμάτων προς τη θάλασσα και να προκαλέσουν συσσώρευση νερού.
- Οι τουρμπίνες που περιστρέφονται στο νερό μπορούν να αποτελέσουν φυσικό κίνδυνο για τους θαλάσσιους οργανισμούς.

6.5.4. Ενέργεια Κυμάτων

Η ενέργεια κυμάτων είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που προκύπτει από την κίνηση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας και των ωκεανών. Τα εργοστάσια ενέργειας κυμάτων λειτουργούν με συστήματα που τοποθετούνται στην επιφάνεια της θάλασσας ή στον πυθμένα της. Οι τουρμπίνες που περιστρέφονται με την κίνηση των κυμάτων παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννήτριας. Εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η ενέργεια κυμάτων μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς, όπως η παραγωγή υδρογόνου¹³³.

Αν και η χρήση της ενέργειας κυμάτων είναι περιορισμένη σε παγκόσμιο επίπεδο, αξιολογείται κυρίως από τις ΗΠΑ, την Πορτογαλία και ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες.

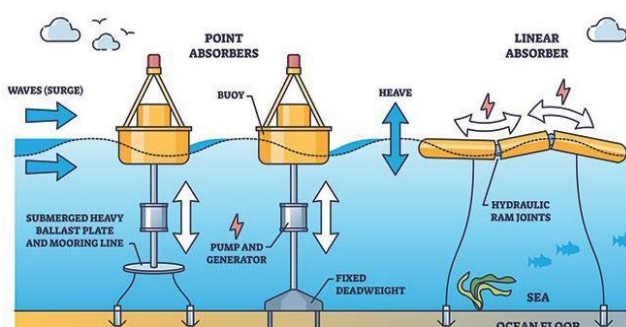
Η κίνηση των κυμάτων προκύπτει ως αποτέλεσμα της τριβής του ανέμου με την επιφάνεια της θάλασσας. Έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα για την αξιοποίηση αυτής της κίνησης:



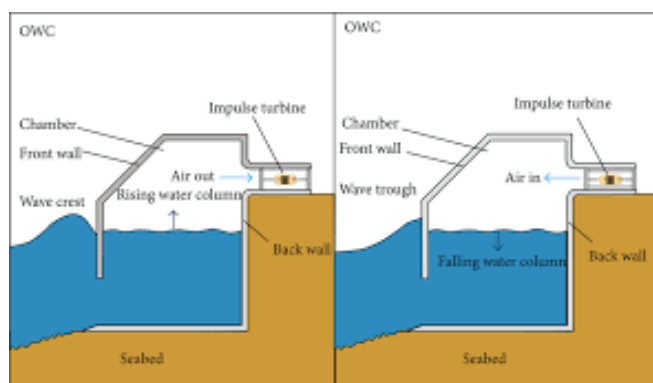
"Εικόνα 98:Σύστημα καναλιών¹³⁴.

- **Συστήματα καναλιών:** Δημιουργούν δυναμική ενέργεια κατευθύνοντας το νερό σε δεξαμενές¹³⁴.

• **Συστήματα Υδραυλικής Αντλίας:** Επιπλέοντα συστήματα που λειτουργούν με την κίνηση των κυμάτων.



Σχήμα 99: Σύστημα Υδραυλικής Αντλίας.



Σχήμα 100: Συστήματα Κυματιστού Υδροστήλης (OWC)¹³⁵.

- **Συστήματα Κυματιστού Υδροστήλη (OWC):** Αυτά είναι μηχανισμοί που παράγουν ηλεκτρισμό με την συμπίεση του αέρα¹³⁵.

Αυτά τα συστήματα μετατρέπουν την ενέργεια των κυμάτων σε μηχανική ενέργεια και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια για χρήση. Τα συστήματα μετατροπής ενέργειας από κύματα χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

1. **Ενεργά συστήματα:** Παράγουν μηχανική ενέργεια άμεσα από την κίνηση των κυμάτων. Παραδείγματα: τα συστήματα Duck και Raft.
2. **Παθητικά συστήματα:** Παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μετατρέποντας την ενέργεια των κυμάτων σε υδραυλική ανύψωση και στη συνέχεια σε δυναμική ενέργεια. Παραδείγματα: Κυματιστή Υδροστήλη (OWC) και TAPCHAN (σύστημα συρρικνούμενου καναλιού).

Τα συστήματα ενέργειας από κύματα πρέπει να σχεδιάζονται λαμβάνοντας υπόψη τη δύναμη των κυμάτων και τις θαλάσσιες συνθήκες στις περιοχές εγκατάστασης. Ένα ιδανικό σύστημα πρέπει να είναι ανθεκτικό στις αλλαγές κατεύθυνσης των κυμάτων, να διαθέτει ικανότητα βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης ενέργειας και να είναι σε θέση να ισορροπήσει τις αλλαγές στην παραγωγή ενέργειας.

6.5.4.1. Συστήματα Μετατροπής Ενέργειας από Κύματα

Τα συστήματα μετατροπής ενέργειας από κύματα χωρίζονται σε τρεις ομάδες σύμφωνα με τις περιοχές εγκατάστασής τους¹³⁶:

1. **Συστήματα Εγκατεστημένα στην Ακτογραμμή:** Αυτά κατασκευάζονται ως σταθερές ή θαμμένες στο έδαφος της ακτής. Επειδή η ενέργεια των κυμάτων είναι χαμηλότερη στην ακτή, η ενεργειακή απόδοση είναι χαμηλή.
2. **Εφαρμογές Κοντά στην Ακτή:** Τοποθετούνται σε βάθη 15-25 μέτρων. Τα συστήματα Oscillating Water Column (OWC) είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα.
3. **Εφαρμογές Ανοικτής Θάλασσας:** Τοποθετούνται σε βάθη 40 μέτρων και πάνω. Είναι κατάλληλα για περιοχές με ισχυρά κύματα. Χρειάζονται μακριές ηλεκτρικές καλωδιώσεις για τη μεταφορά της ενέργειας στην ακτή.
4. **Σύστημα Pelamis:** Είναι ένα σύστημα που λειτουργεί με γεννήτρια και παράγει ηλεκτρική ενέργεια με την κίνηση του υδραυλικού λαδιού σε υδραυλικούς κυλίνδρους.

6.5.5. Ενέργεια από Παλίρροιες

Η κανονική άνοδος και πτώση του νερού στην επιφάνεια της θάλασσας και των ωκεανών λόγω της βαρυτικής έλξης του Ήλιου και της Σελήνης ονομάζεται παλίρροιες. Όταν αυτή η περιοδική κίνηση χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, παράγεται ενέργεια από παλίρροιες¹³⁷.



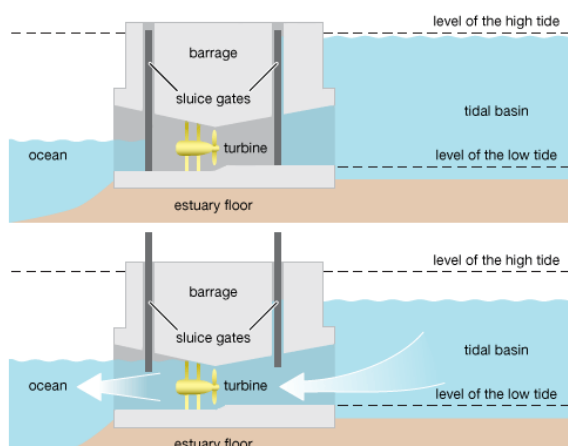
Εικόνα 101: "Οι κινήσεις των παλιρροιών μετατρέπονται σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας τουρμπίνες, προσφέροντας μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας."

Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παραχθεί χρησιμοποιώντας την παλιρροιακή ενέργεια με δύο βασικούς τρόπους:



1. **Μύλοι Παλιρροιακών Ρευμάτων:** Χρησιμοποιούνται για αιώνες στη Βόρεια Αμερική και στην Ευρώπη για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας. Είναι συστήματα που αντλούν ενέργεια απευθείας από την κίνηση των ρευμάτων¹³⁷.

Εικόνα 102: Οι μύλοι παλίρροιας μετατρέπουν την κινητική ενέργεια των ρευμάτων της παλίρροιας σε μηχανική ενέργεια, η οποία ιστορικά χρησιμοποιούνταν για το άλεσμα του σιταριού.



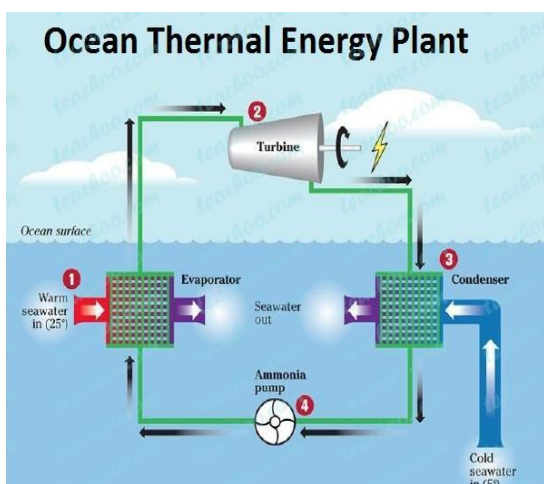
Εικόνα 103: Ένα φράγμα παλίρροιας χρησιμοποιεί βαλβίδες και τουρμπίνες για να παράγει ηλεκτρική ενέργεια από τη διαφορά επιπέδων της θάλασσας κατά την υψηλή και χαμηλή παλίρροια¹³⁸.

Με την αναπτυσσόμενη τεχνολογία, οι τουρμπίνες παλίρροιας άρχισαν επίσης να χρησιμοποιούνται. Αυτές οι τουρμπίνες τοποθετούνται μεταξύ της ξηράς και ενός νησιού ή μεταξύ δύο νησιών σε περιοχές όπου τα ρεύματα της παλίρροιας είναι ισχυρά και παράγουν ενέργεια μέσω της κίνησης του νερού. Οι τουρμπίνες αυτές, που τοποθετούνται κάτω από τη θάλασσα, λειτουργούν παρόμοια με τις τουρμπίνες ανέμου και μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του νερού σε μηχανική ενέργεια και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια¹³⁷.

Φράγματα Παλίρροιας: Παρόμοια με το σύστημα φράγματος στις υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Όταν το επίπεδο της θάλασσας ανεβαίνει κατά τη διάρκεια της παλίρροιας, οι πύλες ανοίγουν και το φράγμα γεμίζει με νερό¹³⁸. Όταν η παλίρροια υποχωρεί, η αντίστροφη ροή του νερού περιστρέφει τις τουρμπίνες και παράγει ηλεκτρική ενέργεια¹³⁷.



Εικόνα 104: Οι σύγχρονες τουρμπίνες παλίρροιας λειτουργούν όπως οι υποθαλάσσιες τουρμπίνες ανέμου, μετατρέποντας τα ρεύματα της παλίρροιας σε ηλεκτρική ενέργεια¹³⁸.



Εικόνα 105: Τα συστήματα OTEC παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ζεστού επιφανειακού νερού και του κρύου βαθύ θαλασσινού νερού¹³⁹.

6.5.6. Θερμική Ενέργεια Ωκεανού

Η περισσότερη ακτινοβολία από τον ήλιο απορροφάται από τις θάλασσες και τους ωκεανούς και αποθηκεύεται ως θερμότητα¹³⁹. Αυτό προκαλεί μια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας του ωκεανού και των βαθιών υδάτων. Τα επιφανειακά ύδατα του ωκεανού είναι γενικά πιο ζεστά, ενώ τα βαθιά ύδατα είναι πιο κρύα. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας¹⁴⁰.

Το σύστημα Μετατροπής Θερμικής Ενέργειας Ωκεανού (OTEC) είναι μια μέθοδος που αποσκοπεί στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας του

ωκεανού και των βαθέων υδάτων του¹⁴⁰. Αυτός ο όρος περιγράφηκε από τον Γάλλο βιοφυσικό Jacques Arsène d'Arsonval το 1881.

Πώς λειτουργεί το σύστημα OTEC;

- Το ζεστό νερό από την επιφάνεια του ωκεανού χρησιμοποιείται για να εξατμίσει ένα υγρό με χαμηλή θερμοκρασία βρασμού (όπως η αμμωνία).
- Ο ατμός κινεί μια τουρμπίνα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ο ατμός συμπιέζεται στη συνέχεια με τη βοήθεια των ψυχρών νερών από τα βάθη του ωκεανού και το σύστημα επανεκκινείται.

Τα συστήματα OTEC μπορούν να εφαρμοστούν με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

1. **Κλειστό Σύστημα OTEC:** Χρησιμοποιείται ένα υγρό με χαμηλό σημείο βρασμού (για παράδειγμα, η αμμωνία). Το ζεστό νερό εξατμίζει το υγρό, το οποίο κινεί τις τουρμπίνες και παράγει ενέργεια. Το υγρό στη συνέχεια επανασυμπυκνώνεται με τα κρύα βάθη του ωκεανού, επιτρέποντας στο σύστημα να συνεχίσει.
2. **Ανοιχτό Σύστημα OTEC:** Το ζεστό νερό από την επιφάνεια του ωκεανού μεταφέρεται απευθείας σε μια περιοχή χαμηλής πίεσης και εξατμίζεται. Ο ατμός κινεί την τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Στη συνέχεια συμπυκνώνεται με κρύο νερό και επιστρέφει σε υγρή μορφή.
3. **Υβριδικό Σύστημα OTEC:** Πρόκειται για συνδυασμό κλειστών και ανοιχτών συστημάτων. Χρησιμοποιούνται τα πλεονεκτήματα και των δύο μεθόδων για να αυξηθεί η απόδοση.

Το OTEC αποτελεί μια φιλική προς το περιβάλλον και βιώσιμη πηγή ενέργειας. Ωστόσο, το σύστημα είναι δαπανηρό στην εγκατάσταση και μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε τροπικές περιοχές των ωκεανών, όπου η διαφορά θερμοκρασίας είναι σημαντική¹⁴⁰.

6.6. Βιοενέργεια (ή Ενέργεια από Βιομάζα)

Η βιομάζα είναι μια πηγή ενέργειας που αποτελείται από βιολογική και μη ορυκτή οργανική ύλη. Τα φυτά μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χημική ενέργεια μέσω της φωτοσύνθεσης και αυτή η ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια από βιομάζα μέσω φυτικών και ζωικών αποβλήτων⁴⁸.



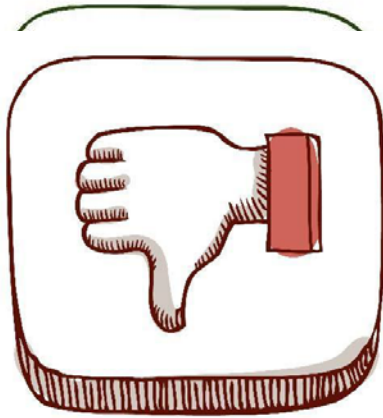
Οι πηγές βιομάζας χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: παραδοσιακή και σύγχρονη:

- **Η παραδοσιακή βιομάζα** περιλαμβάνει πηγές που χρησιμοποιούνται για οικιακούς σκοπούς, όπως ξύλο, κοπριά και γεωργικά απόβλητα.
- **Η σύγχρονη βιομάζα** βασίζεται σε προηγμένες τεχνολογίες και περιλαμβάνει φυτά που

Σχήμα 106: Η ενέργεια από βιομάζα προέρχεται από ανανεώσιμα οργανικά υλικά, μετατρέποντας τα βιολογικά απόβλητα σε βιώσιμη ενέργεια.

καλλιεργούνται ειδικά για παραγωγή ενέργειας, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα και παραγωγή βιοαερίου.

Η ενέργεια από βιομάζα μπορεί να παραχθεί από πολλές διαφορετικές πηγές, όπως υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, δασικά κατάλοιπα, υδρόβια και χερσαία φυτά, ζωικά απόβλητα και αστικά απόβλητα. Αυτά τα υλικά είναι ανανεώσιμα και μπορούν να αναπαραχθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα⁴⁸.



Πλεονεκτήματα

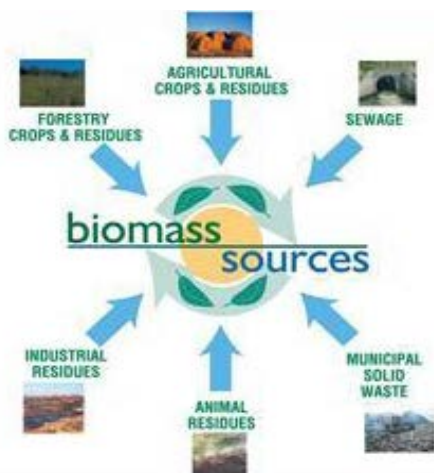
- Έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει σημαντική πηγή ενεργειακού εφοδιασμού.
- Παρέχει περιβαλλοντικά οφέλη μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
- Ενισχύει την ενεργειακή ασφάλεια μειώνοντας τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων.
- Υποστηρίζει την οικονομική ανάπτυξη σε αγροτικές περιοχές και δημιουργεί θέσεις εργασίας.
- Μειώνει τα προβλήματα διαχείρισης αποβλήτων και εξασφαλίζει πιο αποδοτική χρήση των πόρων.

Μειονεκτήματα

- Biomass energy has a lower energy density than fossil fuels, which means more material needs to be used.
- Using trees and plants as fuel can lead to deforestation and ecosystem degradation if done uncontrolled.
- Burning biomass can release pollutants such as carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x) and fine particles.
- Plants grown for biomass production require large amounts of water. This can put pressure on water resources.
- Agricultural land used for energy production can compete with food production and cause food prices to increase.
- Storing and transporting biomass raw materials can be more laborious and costly than fossil fuels.
- Losses can occur during the conversion of biomass to energy, and some technologies are still under development.

Η ενέργεια από βιομάζα κατέχει σημαντική θέση στα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ως μια βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας.





Εικόνα 107: Η ενέργεια από βιομάζα μπορεί να παραχθεί από ένα ευρύ φάσμα πηγών, συμπεριλαμβανομένων γεωργικών, δασικών, βιομηχανικών και αστικών οργανικών αποβλήτων.

6.6.1. Πηγές Βιομάζας

Οι πηγές βιομάζας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κύριες κατηγορίες¹⁴¹:

1. Προϊόντα Δασών: Γρήγορα αναπτυσσόμενα είδη δέντρων (ιτιά, λεύκα, ευκάλυπτος κ.ά.) Υπολείμματα δασών (ξύλινα τσιπς, ξύλινη σκόνη, υπολείμματα κλαδέματος κ.ά.)

2. Γεωργικά Προϊόντα: Φυτά που καλλιεργούνται για ενέργεια (μησκάνθους, καλάμι, σόργο κ.ά.) Φυτά που περιέχουν έλαιο, άμυλο και ζάχαρη (καλαμπόκι, ζαχαροκάλαμο κ.ά.) Απορρίμματα ζώων και υπολείμματα σφαγείων

3. Βιομηχανικά Απόβλητα: Απορρίμματα αγροβιομηχανίας Απορρίμματα προϊόντων δασών και βιομηχανίας χαρτιού

4. Αστικά Απόβλητα: Χόρτο, φύλλα, απόβλητα πάρκων και κήπων Λασπόχωμα αποχέτευσης Οργανικά απόβλητα νοικοκυριών

6.6.1.1. Ενεργειακά Φυτά

Με την αυξανόμενη σημασία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, άρχισαν να καλλιεργούνται ειδικά φυτά που μπορούν να αναπτυχθούν σε όλες τις συνθήκες εδάφους για την παραγωγή ενέργειας. Ο σόργος, το καλαμπόκι, ο καπνός, το βιομηχανικό κάνναβις, το μίσκανθος, το γλυκό γαιδουράγκαθο, η ζάχαρη και διάφορα άγρια χόρτα ανήκουν στα ενεργειακά φυτά.

Κύρια χαρακτηριστικά των ενεργειακών φυτών:

- Είναι γνωστά ως φυτά C4 και είναι ανθεκτικά στην ξηρασία.
- Έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν αποτελεσματικά το ηλιακό φως σε ενέργεια.
- Έχουν υψηλή ικανότητα απορρόφησης του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τον αέρα, παίζοντας έτσι σημαντικό ρόλο στην καταπολέμηση της παγκόσμιας θέρμανσης.
- Χρησιμοποιούνται σε διάφορες παραγωγές βιοκαυσίμων και ενέργειας και παρέχουν υψηλή απόδοση.

6.6.2. Διαδικασίες και Τεχνολογίες Μετατροπής Βιομάζας

Οι διάφορες μέθοδοι μετατροπής της βιομάζας σε ενέργεια μπορούν να καταταγούν σε τρεις κύριες κατηγορίες¹⁴¹:

1. Φυσικές Διεργασίες (Physical Operations):

1. **Αφαίρεση Υγρασίας και Ξήρανση (Dewatering and Drying):** Η περιεκτικότητα της βιομάζας σε υγρασία μειώνεται, επιτρέποντας την πιο αποδοτική καύση της.
2. **Μείωση Μεγέθους (Size Reduction):** Μέσω της διαδικασίας άλεσης ή θραύσης, η βιομάζα θρυμματίζεται σε μικρότερα κομμάτια.
3. **Αύξηση Πυκνότητας (Density Increase):** Με τη διαδικασία πίεσης ή πελλετοποίησης, ο όγκος της βιομάζας μειώνεται, καθιστώντας την πιο εύκολη στη μεταφορά και αποθήκευση.
4. **Διαχωρισμός (Separation):** Η διαδικασία διαχωρισμού των διαφορετικών συστατικών που περιέχει η βιομάζα πραγματοποιείται.

2. Θερμοχημικές Διαδικασίες (Thermochemical Processes):

1. **Άμεση Καύση (Direct Combustion):** Η βιομάζα καίγεται άμεσα, παρέχοντας θερμότητα ή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
2. **Αεριοποίηση (Gasification):** Αέρια όπως το υδρογόνο (H_2), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και το μεθάνιο (CH_4) παράγονται από τη βιομάζα σε υψηλές θερμοκρασίες.
3. **Πυρόλυση (Pyrolysis):** Σε περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας και χωρίς οξυγόνο, η βιομάζα διασπάται για να παραχθούν προϊόντα όπως βιολάδι, βιοαέριο και βιοάνθρακας.
4. **Υγροποίηση (Liquefaction):** Η βιομάζα μετατρέπεται σε υγρά καύσιμα μέσω ειδικών διαδικασιών (βιοντίζελ, βιοιθανόλη κ.λπ.).

3. Βιοχημικές Διαδικασίες (Biochemical Processes):

1. **Ζύμωση (Fermentation):** Η βιομάζα που περιέχει ζάχαρη διασπάται από μικροοργανισμούς για την παραγωγή βιοκαυσίμων όπως η βιοιθανόλη.
2. **Αερόβια Ζύμωση (Anaerobic Fermentation):** Το βιοαέριο (μεθάνιο, CO_2) παράγεται από την αποσύνθεση οργανικών αποβλήτων από μικροοργανισμούς σε περιβάλλον χωρίς οξυγόνο.
3. **Μηχανική Εξαγωγή (Mechanical Extraction):** Η φυσική πίεση ή σφίξιμο εφαρμόζεται για την παραγωγή βιοκαυσίμων από φυτικά έλαια.



Εικόνα 108: Η σωστή διαχείριση αποβλήτων επιτρέπει την ανάκτηση υλικών και μειώνει τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο μέσω ανακύκλωσης και μετατροπής ενέργειας.

6.6.3. Διαχείριση Αποβλήτων

Τα απόβλητα είναι ουσίες που σχηματίζονται ως αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα. Αυτές οι ουσίες, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να βλάψουν το περιβάλλον, μπορεί να προκαλέσουν την επιδείνωση της οικολογικής ισορροπίας και να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία όταν δεν διαχειρίζονται με κατάλληλες μεθόδους.

Τα στερεά απόβλητα χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: επιβλαβή και μη επιβλαβή:

- **Επικίνδυνα Απόβλητα:** Πρόκειται για απόβλητα που μπορεί να βλάψουν την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον και πρέπει να απορρίπτονται με ειδικές διαδικασίες. Αυτά μπορεί να είναι τοξικά, εύφλεκτα ή να έχουν διαβρωτικές ιδιότητες. Για παράδειγμα, τα χημικά απόβλητα, οι μπαταρίες και τα ιατρικά απόβλητα ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.
- **Ακίνδυνα Απόβλητα:** Αποτελούνται από οργανικές και ανόργανες ουσίες που δεν βλάπτουν άμεσα το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν τα οικιακά και φυσικά απόβλητα.

Επιπλέον, υπάρχουν διαφορετικοί τύποι στερεών αποβλήτων ανάλογα με την πηγή τους:

1. **Οικιακά Απόβλητα:** Οργανικά και ανόργανα σκουπίδια, στάχτες, παλιά έπιπλα, κ.λπ.
2. **Βιομηχανικά Απόβλητα:** Μέταλλα, πλαστικά, χημικά και υπολείμματα παραγωγής από βιομηχανικές εγκαταστάσεις.
3. **Εμπορικά και Ιδρυματικά Απόβλητα:** Απόβλητα από γραφεία, σχολεία, εστιατόρια και καταστήματα.
4. **Δημοτικά Απόβλητα:** Απόβλητα που συλλέγονται από τον καθαρισμό των δρόμων, πάρκων και κήπων.
5. **Ειδικά Απόβλητα:** Απόβλητα που περιέχουν επικίνδυνα συστατικά και απαιτούν ειδική διάθεση (π.χ. βαφή, μπαταρίες, ιατρικά απόβλητα).
6. **Γεωργικά Απόβλητα:** Οργανικά απόβλητα, λιπάσματα και απόβλητα ζώων από γεωργικές δραστηριότητες.

6.6.3.1. Συστήματα Διαχείρισης Αποβλήτων

Η διαχείριση αποβλήτων μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τις συνήθειες ζωής της κοινωνίας και τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Ωστόσο, ο κύριος στόχος είναι η διάθεση των αποβλήτων χωρίς να βλάπτεται το περιβάλλον και η επαναχρησιμοποίησή τους όσο το δυνατόν περισσότερο. Για αυτόν τον σκοπό, εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι¹⁴²:

- **Μείωση Αποβλήτων:** Μειώνονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το κόστος με την εφαρμογή μέτρων για την πρόληψη της παραγωγής αποβλήτων από την αρχή.
- **Ανακύκλωση:** Διασφαλίζεται ότι υλικά όπως πλαστικό, γυαλί, μέταλλο και χαρτί διαχωρίζονται και ανακυκλώνονται.
- **Ανακύκλωση Αποβλήτων:** Μετατροπή αποβλήτων σε διαφορετική πηγή ενέργειας με βιολογικές, χημικές ή φυσικές μεθόδους (π.χ. παραγωγή βιοαερίου).
- **Ανακύκλωση:** Κάνοντάς τα απόβλητα επαναχρησιμοποιήσιμα μέσω συγκεκριμένων διαδικασιών.
- **Χώρος Υγειονομικής Ταφής:** Ελεγχόμενη ταφή μη ανακυκλώσιμων αποβλήτων σε ιδιωτικές περιοχές.

6.6.3.2. Κομποστοποίηση

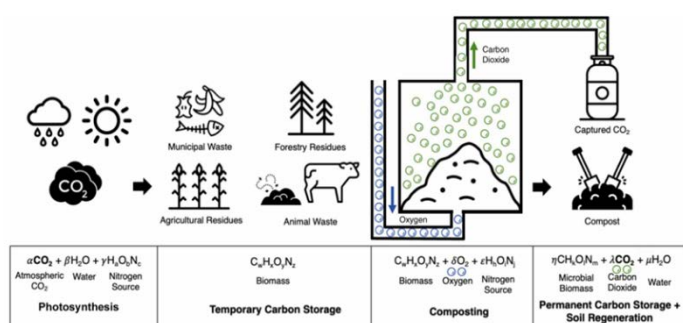


Figure 109: Η κομποστοποίηση μετατρέπει τα οργανικά απόβλητα σε πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά χούμο, συμβάλλοντας στον κύκλο του άνθρακα και στην εμπλουτισμένη του εδάφους.¹⁴³

Η κομποστοποίηση είναι μια φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος ανακύκλωσης που αποσυνθέτει τα βιολογικά απόβλητα μέσω φυσικών διαδικασιών και τα καθιστά ωφέλιμα για το έδαφος¹⁴³. Στη διαδικασία αυτή, τα οργανικά απόβλητα αποσυντίθενται από μικροοργανισμούς υπό αερόβιες συνθήκες και μετατρέπονται σε μια ουσία που ονομάζεται χούμος, πλούσια σε θρεπτικά συστατικά για τα φυτά.

Μειώνει την ποσότητα των αποβλήτων και ανακουφίζει το βάρος των χωματερών. Αυξάνει τη γονιμότητα του εδάφους και καλύπτει την ανάγκη για φυσικά λιπάσματα. Προσφέρει μια εναλλακτική που δεν βλάπτει το περιβάλλον, μειώνοντας τη χρήση χημικών λιπασμάτων.

Η διαδικασία κομποστοποίησης συνήθως χωρίζεται σε τέσσερα στάδια:

- 1. Αρχικό Στάδιο (1-3 ημέρες):**
Τα μικροοργανισμοί αρχίζουν να αποσυνθέτουν τα οργανικά απόβλητα. Η θερμοκρασία αυξάνεται ραγδαία.
- 2. Στάδιο Υψηλής Αποσύνθεσης (10-100 ημέρες):**
Σύνθετα συστατικά, όπως λίπη, κυτταρίνη και λυγνίνη, διασπώνται. Η θερμοκρασία ξεπερνά τους 40°C και οι βλαβερές μικροοργανισμοί καταστρέφονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.
- 3. Στάδιο Σταθεροποίησης (10-100 ημέρες):**
Η αποσύνθεση επιβραδύνεται, η θερμοκρασία αρχίζει να πέφτει. Τα οργανικά συστατικά μετατρέπονται σε πιο απλές μορφές.
- 4. Στάδιο Ωρίμανσης (1-6 μήνες):**
Ο κομποστ γίνεται πλήρως σταθερός και έτοιμος προς χρήση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη γεωργία και την κηπουρική ως λιπαντικό πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά.

Η σωστή κομποστοποίηση γίνεται πιο αποτελεσματική με τη διατήρηση ισορροπίας στην υγρασία, το οξυγόνο και την αναλογία άνθρακα-αζώτου. Η παραγωγή φυσικών λιπασμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα χρησιμοποιώντας βιολογικά υλικά όπως οικιακά οργανικά απόβλητα, απορρίμματα από πάρκα και κήπους.



Εικόνα 110: Τα βιοκαύσιμα είναι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που παράγονται από βιολογικά υλικά, προσφέροντας μια βιώσιμη εναλλακτική λύση στα ορυκτά καύσιμα¹⁴⁴.

6.7. Βιοκαύσιμα

Τα βιοκαύσιμα είναι ανανεώσιμα καύσιμα που προέρχονται από βιολογικές πηγές¹⁴⁴. Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο, τα βιοκαύσιμα είναι βιώσιμες πηγές ενέργειας και προκαλούν λιγότερη διαταραχή στον κύκλο του άνθρακα¹⁴⁵.

Τα βιοκαύσιμα χωρίζονται σε τρεις ομάδες ανάλογα με την φυσική τους

κατάσταση: στερεά, αέρια και υγρά:

• Στερεά βιοκαύσιμα: Μπρικότες, πελλέτες, βιοάνθρακας, ξυλάνθρακας. • Αέρια βιοκαύσιμα: Σίνγκαζ, βιοαέριο, βιουδρογόνο.

• Υγρά βιοκαύσιμα: Βιοντίζελ, βιοιθανόλη, βιομεθανόλη, βιοδιμεθυλοαιθέρας, βιολάδι.

Τα βιοκαύσιμα χωρίζονται σε τέσσερις γενιές ανάλογα με τις διαδικασίες παραγωγής τους και τις πηγές πρώτων υλών¹⁴⁶:

• Πρώτη Γενιά Βιοκαυσίμων (2000-2010)

• Παράγεται από γεωργικά προϊόντα που προορίζονται για κατανάλωση (καλαμπόκι, ζαχαροκάλαμο, σόγια, κ.λπ.).

• Περιλαμβάνει καύσιμα όπως βιοντίζελ και βιοιθανόλη.

• Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υπάρχοντες κινητήρες, αλλά έχει επικριθεί για την επίδρασή του στην προσφορά τροφίμων.

• Δεύτερη Γενιά Βιοκαυσίμων (2010-2030)

• Παράγεται από μη τροφικές πηγές βιομάζας (γεωργικά και δασικά απόβλητα, ξυλώδη φυτά).

• Καύσιμα όπως το βιοντίζελ και η βιοιθανόλη παράγονται από λυγνινοκυτταρινική βιομάζα.

• Είναι πιο πλεονεκτικό από άποψη βιωσιμότητας, αλλά το κόστος παραγωγής είναι υψηλό.

• Τρίτη Γενιά Βιοκαυσίμων (2030 και μετά)

• Παράγεται από άλγες και γενετικά τροποποιημένα φυτά.

• Προσφέρει υψηλότερες αποδόσεις και έχει μικρότερη επίδραση στην παραγωγή τροφίμων.

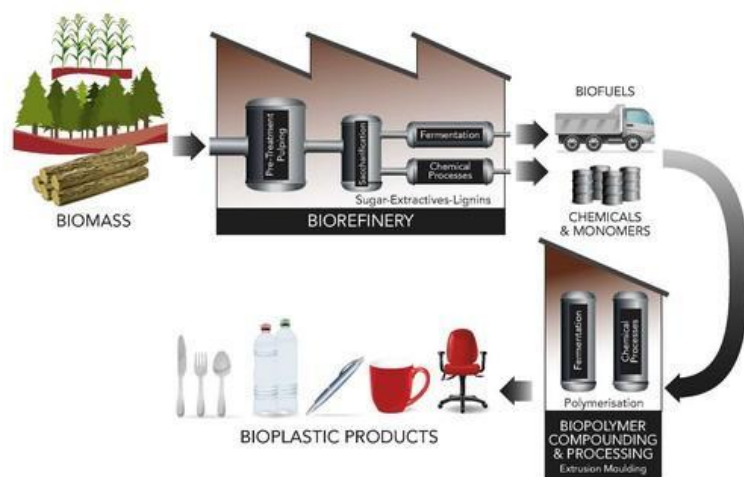
• Απαιτούνται προηγμένες βιοτεχνολογικές μέθοδοι για την παραγωγή του.

• Τέταρτη Γενιά Βιοκαυσίμων (2030 και μετά)

- Είναι γνωστά ως βιοκαύσιμα αρνητικού άνθρακα.
- Παράγεται χρησιμοποιώντας γενετικά τροποποιημένους μικροοργανισμούς.
- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ελαχιστοποιούνται με τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS).

Τα βιοκαύσιμα έχουν χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα και προσφέρουν μια βιώσιμη ενεργειακή λύση καθώς παράγονται από ανανεώσιμες πηγές. Επιπλέον, μειώνουν την εξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα αυξάνοντας την ενεργειακή ανεξαρτησία και συμβάλλουν θετικά στην γεωργία και την ανάπτυξη των αγροτικών περιοχών. Ωστόσο, οι επιπτώσεις των βιοκαυσίμων στην παραγωγή τροφίμων είναι αμφιλεγόμενες και η ευρεία χρήση αυτών των καυσίμων εξαρτάται από την ανάπτυξη βιώσιμων μοντέλων παραγωγής. Οι κύριες προκλήσεις για την ευρεία χρήση των βιοκαυσίμων είναι τα υψηλότερα κόστη παραγωγής σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, η ανάγκη να ληφθούν υπόψη οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως η βιοποικιλότητα και η χρήση γης, καθώς και οι υψηλές τεχνολογικές επενδύσεις και απαιτήσεις υποδομής. Για το λόγο αυτό, είναι εξαιρετικά σημαντικό να διαμορφωθούν οι ενεργειακές πολιτικές με έμφαση στη βιωσιμότητα, προκειμένου τα βιοκαύσιμα να αποτελέσουν μια αποτελεσματική εναλλακτική πηγή ενέργειας μακροπρόθεσμα.

6.7.1. Τεχνολογία Βιοδιύλισης



Βιοδιυλιστικές τεχνολογίες περιλαμβάνουν μεθόδους που εξασφαλίζουν τη βιωσιμότητα και την αποδοτική χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά τη διαδικασία παραγωγής βιοκαυσίμων¹⁴⁷. Οι **βιοδιυλιστήρια**, τα οποία είναι παρόμοια με τα διυλιστήρια πετρελαίου ως προς τη βασική τους δομή, διαφέρουν από τα παραδοσιακά διυλιστήρια στο ότι χρησιμοποιούν βιομάζα ως πρώτη ύλη και λειτουργούν υπό ήπιες συνθήκες. Με αυτόν τον τρόπο, η παραγωγή επιτυγχάνεται με χαμηλότερη

Σχήμα 111: Τα βιοδιυλιστήρια μετατρέπουν τη βιομάζα σε βιοκαύσιμα, βιοπλαστικά και πολύτιμα χημικά μέσω ολοκληρωμένων χημικών και βιολογικών διεργασιών¹⁴⁸.

κατανάλωση ενέργειας, αποφεύγεται η δημιουργία στερεών αποβλήτων και η ποσότητα των λυμάτων μειώνεται σημαντικά¹⁴⁷.

Τα βιοδιυλιστήρια βασίζονται σε ένα μοντέλο που υποστηρίζει την παραγωγή βιοκαυσίμων, βιοενέργειας και βιοϋλικών, λειτουργώντας σε ολοκλήρωση με γεωργικές επιχειρήσεις¹⁴⁸. Τα βασικά συστατικά αυτού του μοντέλου είναι¹⁴⁷:

- **Γεωργική Παραγωγή:** Καλλιέργεια ενεργειακών φυτών και παροχή πόρων βιομάζας.
- **Λογιστική:** Δημιουργία κατάλληλων συστημάτων λογιστικής για τη συλλογή, μεταφορά και επεξεργασία πρώτων υλών.
- **Συγκομιδή και Διαχείριση Αποβλήτων:** Συλλογή και αξιολόγηση φυτικών αποβλήτων.
- **Συμπύκνωση και Αποθήκευση:** Προεπεξεργασία της πρώτης ύλης για να καταστεί κατάλληλη για τη διαδικασία επεξεργασίας.
- **Διαδικασίες Επεξεργασίας Βιοδυλιστηρίων:** Μετατροπή της βιομάζας σε καύσιμο και άλλα βιοϋλικά μέσω χημικών και βιοχημικών διαδικασιών μετατροπής.
- **Αποθήκευση και Διανομή Προϊόντων:** Διανομή του παραγόμενου βιοκαυσίμου, ενέργειας και άλλων παραπροϊόντων.
- **Αξιολόγηση Παραπροϊόντων:** Αποθήκευση και διανομή ζωοτροφών και κοπριάς που παράγονται στη διαδικασία του βιοδυλιστηρίου.

Για να είναι οικονομικά βιώσιμα τα βιοδυλιστήρια, οι διαδικασίες λογιστικής πρέπει να βελτιστοποιηθούν και τα κόστη μεταφοράς και αποθήκευσης πρώτων υλών να μειωθούν.

Τα βιοδυλιστήρια μετατρέπουν τη βιομάζα σε διάφορα προϊόντα, όπως βιοκαύσιμα, βιοχημικά και βιοϋλικά, μέσω διαφόρων φυσικών, χημικών και βιοχημικών διαδικασιών μετασχηματισμού. Σε αυτές τις διαδικασίες, είναι εξαιρετικά σημαντικό τα βιοδυλιστήρια να είναι ευέλικτα και να έχουν την ικανότητα να επεξεργάζονται διάφορες πρώτες ύλες. Όπως και στα δυλιστήρια πετρελαίου, το γεγονός ότι τα βιοδυλιστήρια διαθέτουν ποικιλία πρώτων υλών αυξάνει την αντίσταση στις οικονομικές διακυμάνσεις, εξασφαλίζοντας τη συνέχεια στην παραγωγή.

Το γεγονός ότι τα βιοδυλιστήρια δεν περιορίζονται μόνο στην παραγωγή βιοκαυσίμων, αλλά περιλαμβάνουν επίσης εφαρμογές συν-παραγωγής, όπως η παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που αυξάνει την αποδοτικότητα. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση υποστηρίζει την ανάπτυξη του τομέα των βιοκαυσίμων και επιτρέπει στην παραγωγή ενέργειας να γίνει πιο βιώσιμη.

6.7.2. Τεχνολογία Βιοκαυσίμων Παγκόσμια

Μεταξύ των πιο ευρέως χρησιμοποιούμενων βιοκαυσίμων στον κόσμο είναι το βιοαιθανόλη, το βιοντίζελ και το βιοαέριο. Ένα από τα πιο επιτυχημένα παραδείγματα παραγωγής και χρήσης βιοκαυσίμων είναι η Βραζιλία¹⁴⁹. Από την πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του 1970, η Βραζιλία χρησιμοποιεί την αιθανόλη ως υγρό βιοκαύσιμο για τις μεταφορές. Η παραγωγή βιοαερίου είναι διαδεδομένη σε όλο τον κόσμο, με μικρές μονάδες στην Ινδία και την Κίνα, και μεσαίες και μεγάλες μονάδες στην Ευρώπη. Από την άλλη πλευρά, οι ΗΠΑ μετατρέπουν τη βιομάζα σε ενέργεια και τη χρησιμοποιούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Εφαρμογές Βιοκαυσίμων

- **Δανία:** Παράγονται στερεά βιοκαύσιμα, κυρίως μπρικέτες ξύλου και πελέτες, από εισαγόμενο ξύλο.

- **Φινλανδία:** Με την αύξηση της χρήσης βιομάζας, καλύπτει το 25% της ενεργειακής της κατανάλωσης από βιομάζα.
- **Γαλλία:** Χρησιμοποιούνται ξύλο και βιομηχανικά απόβλητα ως πηγές βιομάζας και χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ενέργειας.
- **Ολλανδία:** Υπάρχει μεγάλη ποσότητα ξύλινων αποβλήτων, τα οποία μετατρέπονται σε πελέτες και εξάγονται στη Σουηδία, τη Γερμανία και το Βέλγιο.
- **Ισπανία:** Απόβλητα από γεωργική παραγωγή χρησιμοποιούνται στην παραγωγή βιοκαυσίμων.
- **Σουηδία:** Υποπροϊόντα της βιομηχανίας δασικών προϊόντων, ενεργειακά καλλιεργούμενα φυτά και άχυρο χρησιμοποιούνται στην παραγωγή βιοκαυσίμων. Η χώρα καλύπτει το 16% των ενεργειακών της αναγκών από βιοκαύσιμα.
- **Καναδάς:** Στόχος είναι να παρέχει το 50% της ενεργειακής κατανάλωσης από ενεργειακή δασοκομία μέχρι το 2050. Οι ΗΠΑ και ο Καναδάς σχεδιάζουν έργα ενεργειακής δασοκομίας με γρήγορα αναπτυσσόμενα είδη δέντρων, χωρίς να επηρεάζουν την παραγωγή τροφίμων.
- **Ιρλανδία:** Η ενεργειακή δασοκομία εξετάζεται για τα εδάφη τύρφης.

Εκτιμάται ότι ο ετήσιος συντελεστής αύξησης (CAGR) θα φτάσει το 9,55% κατά την περίοδο πρόβλεψης 2024-2031. Το 2023, η βιομηχανία βιοκαυσίμων απασχολούσε 16.599 άτομα. Κατά την περίοδο 2023-2024, οι εξαγωγές αιθανόλης των ΗΠΑ έφτασαν σε ρεκόρ 6,6 δισεκατομμυρίων λίτρων (1,75 δισεκατομμυρίων γαλόνια). Κατά την εν λόγω περίοδο, ο Καναδάς ήταν ο μεγαλύτερος εισαγωγέας, με μερίδιο 37% στις εξαγωγές αιθανόλης των ΗΠΑ. Η Ευρώπη δίνει περισσότερη προσοχή στην παραγωγή βιοντίζελ, κάτι που συνδέεται άμεσα με τη γεωγραφική δομή της ηπείρου και τα χαρακτηριστικά των γεωργικών προϊόντων που καλλιεργούνται. Ενώ η παραγωγή αιθανόλης είναι πιο διαδεδομένη παγκοσμίως, η παραγωγή βιοντίζελ έχει αυξηθεί με ταχύτερο ρυθμό τα τελευταία χρόνια.

6.7.3 Τεχνολογία Βιοκαυσίμων στις Χώρες των Εταίρων

6.7.3.1. Τεχνολογία Βιοκαυσίμων στην Τουρκία

Η Τουρκία διαθέτει σημαντικό δυναμικό στην παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με τους πλούσιους βιομάζας πόρους της. Η βιομάζα που προέρχεται από τη γεωργία, την υλοτομία και τα κτηνοτροφικά απόβλητα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας. Από το 2024, η συνολική εγκατεστημένη ικανότητα ηλεκτρικής ενέργειας στην Τουρκία έφτασε τα 115.353 μεγαβάτ, εκ των οποίων το 59% καλύπτεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η εγκατεστημένη ικανότητα των εργοστασίων βιομάζας έφτασε τα 2.125 μεγαβάτ, αποτελώντας το 1,8% του συνόλου¹⁵⁰. Η παραγωγή βιοαιθανόλης βρίσκεται στην ατζέντα της Τουρκίας σε διάφορες περιόδους από τη δεκαετία του 1930. Υπάρχουν νομικές ρυθμίσεις στην Τουρκία που ενθαρρύνουν τη χρήση βιοαιθανόλης και βιοντίζελ.

6.7.3.2. Η Τεχνολογία Βιοκαυσίμων στην Ελλάδα

Η Ελλάδα διαθέτει σημαντικό δυναμικό για την παραγωγή βιοκαυσίμων, υποστηριζόμενη από τους πλούσιους γεωργικούς και δασικούς πόρους της¹⁵¹. Η βιομάζα από υπολείμματα καλλιεργειών, παραπροϊόντα δασικής παραγωγής και οργανικά απόβλητα παίζει κεντρικό ρόλο στην παραγωγή βιοκαυσίμων, τοποθετώντας την Ελλάδα σε πλεονεκτική θέση για να ενισχύσει τη δυναμικότητα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Σύμφωνα με αναφορές του Υπουργείου

Περιβάλλοντος και Ενέργειας, οι πόροι βιομάζας της Ελλάδας, περιλαμβανομένων των αποβλήτων από τα ελαιοτριβεία και των γεωργικών υπολειμμάτων, παρουσιάζουν σημαντική προοπτική για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Από το 2023, η εγκατεστημένη ικανότητα βιοενέργειας στην Ελλάδα, η οποία περιλαμβάνει τα βιοκαύσιμα, ξεπερνά τα 800 megawatts, συνεισφέροντας σημαντικά στη συνολική παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας της χώρας.

Τα κύρια βιοκαύσιμα που παράγονται στην Ελλάδα είναι το βιοιθανόλη και το βιοντίζελ, τα οποία προέρχονται από εγχώρια γεωργικά προϊόντα όπως το σιτάρι, το καλαμπόκι και το κραμβέλαιο. Η παραγωγή βιοιθανόλης αποτελεί κεντρικό τομέα στην Ελλάδα από τις αρχές της δεκαετίας του 2000. Πολλά εργοστάσια βιοιθανόλης βρίσκονται σε αγροτικές περιοχές, όπου η βιοιθανόλη παράγεται από σιτηρά και άλλες καλλιέργειες. Αυτά τα εργοστάσια παίζουν καθοριστικό ρόλο στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της Ελλάδας και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Η Ελλάδα έχει επίσης καταγράψει ανάπτυξη στον τομέα του βιοντίζελ, παράγοντας βιοντίζελ από γεωργικά απόβλητα, ιδιαίτερα από υπολείμματα ελαιοτριβείων, ένα παραπροϊόν της μεγάλης βιομηχανίας ελαιολάδου της χώρας. Λειτουργούν αρκετές εγκαταστάσεις παραγωγής βιοντίζελ, παράγοντας καύσιμο για εσωτερική κατανάλωση και εξαγωγές. Αυτά τα βιοκαύσιμα χρησιμοποιούνται συχνά ως πρόσθετα στα καύσιμα μεταφορών, συμβάλλοντας στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα του τομέα μεταφορών.

Η ελληνική κυβέρνηση έχει εφαρμόσει διάφορες πολιτικές για την υποστήριξη της παραγωγής βιοκαυσίμων, περιλαμβανομένων επιδοτήσεων και φορολογικών απαλλαγών για τα βιοκαύσιμα που προέρχονται από εγχώρια γεωργικά προϊόντα. Η χρήση μιγμάτων βιοιθανόλης και βιοντίζελ είναι υποχρεωτική στον τομέα των μεταφορών, με συγκεκριμένα ποσοστά που καθορίζονται για την ένταξή τους στη βενζίνη και το πετρέλαιο. Ωστόσο, ο τομέας των βιοκαυσίμων αντιμετωπίζει προκλήσεις, κυρίως τα υψηλά κόστη παραγωγής και την εξάρτηση από τις κυβερνητικές επιδοτήσεις. Επίσης, ο ανταγωνισμός με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, έχει μερικές φορές επιβραδύνει την ανάπτυξη της παραγωγής βιοκαυσίμων.

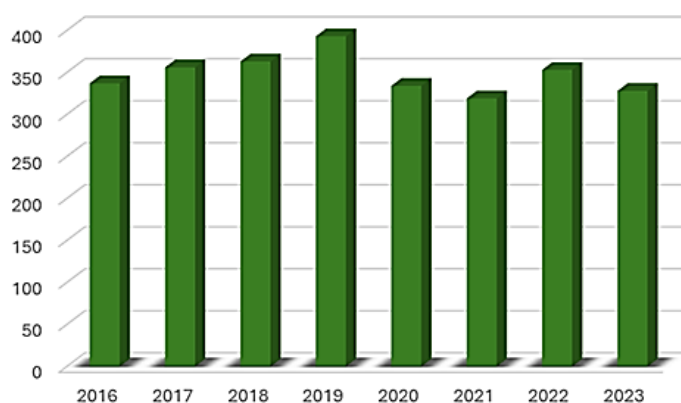
Κοιτώντας μπροστά, η Ελλάδα στοχεύει να επεκτείνει τη δυναμικότητα παραγωγής βιοκαυσίμων για να καλύψει τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η χώρα σκοπεύει να αναπτύξει περαιτέρω τον τομέα των βιοκαυσίμων, αξιοποιώντας την αγροτική της παραγωγή για την παραγωγή πιο καθαρών και βιώσιμων καυσίμων, μειώνοντας την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Τα βιοκαύσιμα αναμένονται να παραμείνουν ένα κεντρικό κομμάτι της στρατηγικής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της Ελλάδας, συνεισφέροντας στην ενεργειακή ασφάλεια της χώρας και στους περιβαλλοντικούς στόχους.

6.7.3.3. Τεχνολογία Βιοκαυσίμων στην Πορτογαλία

Η Πορτογαλία έχει δείξει ισχυρή δέσμευση στη μετάβαση της ενέργειας, με τα βιοκαύσιμα να παίζουν κεντρικό ρόλο σε αυτή τη διαδικασία. Σύμφωνα με τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η χώρα έχει επενδύσει στην παραγωγή και χρήση βιοκαυσίμων για να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να διαφοροποιήσει τις πηγές ενέργειας. Το βιοντίζελ παραμένει το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο βιοκαύσιμο, παραγόμενο κυρίως από φυτικά έλαια

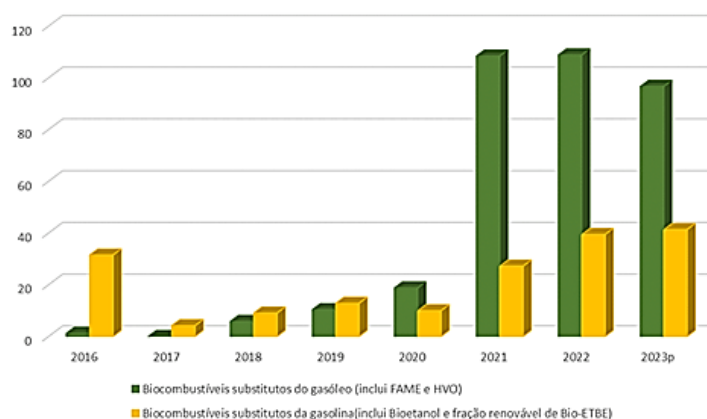
όπως το λάδι ραπανάκι και σόγια, καθώς και από αυξανόμενη ποσότητα χρησιμοποιημένου μαγειρικού λαδιού (UCO). Η ενθάρρυνση της χρήσης UCO υποστηρίζει την κυκλική οικονομία και μειώνει την εξάρτηση από εισαγόμενα πρώτες ύλες, ενώ η ανάμιξη βιοντίζελ στο ντίζελ είναι απαραίτητη για την επίτευξη των στόχων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις μεταφορές. Το βιοαιθανόλη, που παράγεται από βιομάζα πλούσια σε ζάχαρη, όπως το παντζάρι και το καλαμπόκι, έχει μικρότερη αλλά αυξανόμενη σημασία μέσω της έρευνας και των νέων τεχνολογιών. Επιπλέον, η παραγωγή βιοαερίου από οργανικά απόβλητα - όπως τα γεωργικά υπολείμματα, τα αστικά απόβλητα και η λάσπη των βιολογικών καθαρισμών - έχει αποκτήσει σημασία, συνεισφέροντας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας και έχοντας δυναμική για να εισαχθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου. Η Πορτογαλία συμμετέχει επίσης σε ευρωπαϊκές πρωτοβουλίες για την ανάπτυξη βιοκαυσίμου αεροπορίας, μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για βιώσιμη αεροπορία.

Οι πολιτικές βιοκαυσίμων της Πορτογαλίας ευθυγραμμίζονται με τις οδηγίες της ΕΕ, ιδιαίτερα με το Εθνικό Σχέδιο Ενέργειας και Κλίματος 2030 (PNEC 2030), το οποίο θέτει φιλόδοξους στόχους για την ενσωμάτωση βιοκαυσίμων στις μεταφορές. Η κυβέρνηση έχει προωθήσει ενεργά τη συλλογή και επεξεργασία UCO και ενέκρινε πρόσφατα το Σχέδιο Δράσης για το Βιομεθάνιο 2024-2040 (PAB). Αυτό το στρατηγικό σχέδιο επικεντρώνεται στη δημιουργία και εδραίωση μιας αγοράς βιομεθανίου για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την υποστήριξη της οικονομικής αποανθρακοποίησης αξιοποιώντας τους τοπικούς πόρους και μειώνοντας την εξάρτηση από το εισαγόμενο φυσικό αέριο. Η παραγωγή βιοντίζελ (FAME) παραμένει η κύρια εστίαση της βιοκαυσίματικής βιομηχανίας της Πορτογαλίας, με σημαντική αύξηση της χρήσης UCO. Δεδομένα από την DGEG δείχνουν συνεχιζόμενη άνοδο στην εθνική παραγωγή βιοκαυσίμων, ενώ οι εισαγωγές βιοκαυσίμων έχουν επίσης αυξηθεί, αντικατοπτρίζοντας τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση και την ανάγκη για συμπλήρωση της εγχώριας παραγωγής. Η παρακάτω εικόνα δείχνει την εξέλιξη της συνολικής παραγωγής βιοκαυσίμων (FAME και HVO) μεταξύ του 2016 και του 2023:



Εικόνα 112: Εξέλιξη της εθνικής παραγωγής βιοκαυσίμων μεταξύ 2016-2023 (σε kton)

Από το 2021 και μετά, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στις εισαγωγές βιοκαυσίμων σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Δεδομένα από το 2016 έως το 2023 δείχνουν αυτήν την αυξανόμενη τάση, αν και οι τιμές του 2023 είναι ακόμη προκαταρκτικές.



Εικόνα 113: Εξέλιξη των εισαγωγών βιοκαυσίμων μεταξύ 2016-2023 (σε kton).

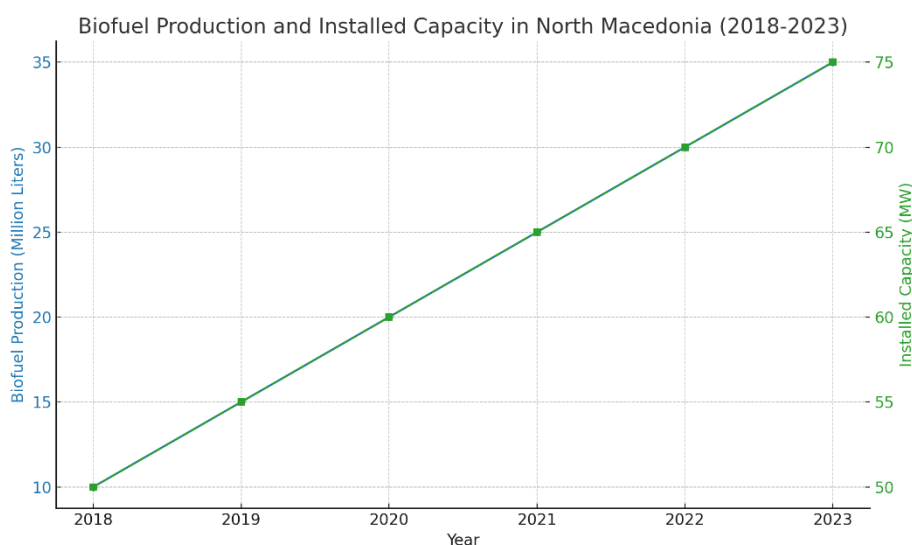
Ο τομέας των βιοκαυσίμων στην Πορτογαλία αντιμετωπίζει αρκετές προκλήσεις, όπως η μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενες πρώτες ύλες, η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγή ενεργειακών καλλιεργειών και η ανάπτυξη υποδομών για βιοαέριο και βιοκαύσιμο αεροπορίας. Ωστόσο, υπάρχουν και σημαντικές ευκαιρίες, όπως η επέκταση της χρήσης προχωρημένων βιοκαυσίμων που παράγονται από απορρίμματα και μη βρώσιμη βιομάζα, η επένδυση σε βιοαέριο και πράσινο υδρογόνο και η ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ πανεπιστημίων, ερευνητικών κέντρων και της βιομηχανίας. Το πρόσφατα εγκριθέν Σχέδιο Δράσης για το Βιομεθάνιο 2024-2040 (PAB) δημιουργεί νέες ευκαιρίες, προωθώντας την υποδομή βιομεθανίου, ενθαρρύνοντας καινοτόμα επιχειρηματικά μοντέλα και ενισχύοντας την κυκλική οικονομία.

Η Εθνική Στρατηγική για τα Βιοκαύσιμα (ENB) παρέχει βασικές κατευθυντήριες γραμμές για τον τομέα, δίνοντας έμφαση στη βιωσιμότητα και την καινοτομία. Οι προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης έχουν εξετάσει εναλλακτικές πρώτες ύλες, όπως τα φύκια και τα υπολείμματα δασών, για την ενίσχυση της παραγωγής βιοκαυσίμων. Επιπλέον, η αυξανόμενη περιβαλλοντική συνείδηση των καταναλωτών έχει οδηγήσει σε μεγαλύτερη ζήτηση για βιοκαύσιμα, ενισχύοντας περαιτέρω την ανάπτυξη του τομέα.

6.7.3.4. Τεχνολογία Βιοκαυσίμων στη Βόρεια Μακεδονία

Η Βόρεια Μακεδονία έχει αρχίσει να εξερευνά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, περιλαμβανομένων των βιοκαυσίμων, προκειμένου να διαφοροποιήσει το ενεργειακό της μείγμα και να βελτιώσει τη βιωσιμότητα¹⁵². Ωστόσο, από το 2020, η χώρα ανέφερε ότι δεν παράγει βιοκαύσιμα και βιορευστά, γεγονός που υποδεικνύει ότι ο τομέας αυτός βρίσκεται ακόμη στα πρώτα του στάδια. Παρά την υποανάπτυξη των βιοκαυσίμων, η Βόρεια Μακεδονία έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο στη βιοενέργεια, ιδιαίτερα μέσω έργων βιοαερίου. Ένα σημαντικό παράδειγμα είναι το εργοστάσιο βιοαερίου 2 MW στο Λόζοβο, το οποίο ξεκίνησε τη λειτουργία του τον Δεκέμβριο του 2022. Αυτή η εγκατάσταση, εξοπλισμένη με δύο κινητήρες MWM TCG 2020 V12, παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα σε περίπου 4.000 νοικοκυριά, αποτελώντας ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός στις προσπάθειες της χώρας να υιοθετήσει βιώσιμη παραγωγή ενέργειας.

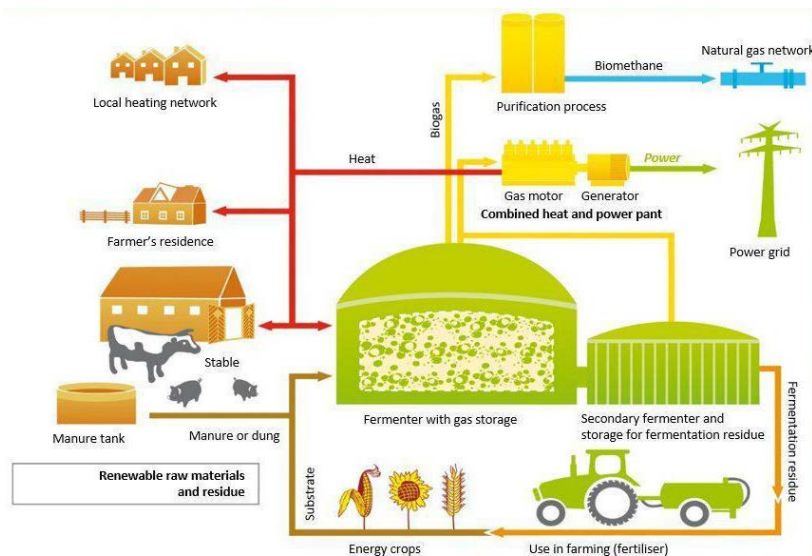
Η προμήθεια ενέργειας στη Βόρεια Μακεδονία παραμένει σε μεγάλο βαθμό εξαρτημένη από τα ορυκτά καύσιμα, με το πετρέλαιο και το κάρβουνο να αντιπροσωπεύουν το 45% και το 32% της συνολικής προμήθειας ενέργειας αντίστοιχα το 2022. Αυτή η εξάρτηση αναδεικνύει την επείγουσα ανάγκη διαφοροποίησης μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ενώ η παραγωγή βιοκαυσίμων παραμένει υποανάπτυκτη, η χώρα διαθέτει άφθονους πόρους βιομάζας, όπως ξύλο από οπωροφόρα δέντρα και άλλες γεωργικές υπολείμματα, τα οποία προσφέρουν σημαντικό δυναμικό για μελλοντική παραγωγή βιοενέργειας. Το 2023, η κύρια παραγωγή βιομάζας από αυτές τις πηγές καταγράφηκε σε 1.924 χιλιάδες τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (TOE). Με τις κατάλληλες επενδύσεις και υποστήριξη, η Βόρεια Μακεδονία μπορεί να αναπτύξει περαιτέρω τους τομείς των βιοκαυσίμων και της βιομάζας, δημιουργώντας ένα πιο διαφοροποιημένο, βιώσιμο και ανθεκτικό ενεργειακό σύστημα.



Εικόνα 114: Η παραγωγή βιοκαυσίμων και η εγκατεστημένη δυναμικότητα στη Βόρεια Μακεδονία έχουν παρουσιάσει σταθερή ανάπτυξη, αντικατοπτρίζοντας την σταδιακή μετάβαση της χώρας προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Για να προωθήσουν περαιτέρω τη βιοενέργεια, εταιρείες όπως η SERVODAY εισάγουν καινοτόμες λύσεις βιομάζας στη Βόρεια Μακεδονία. Αυτές περιλαμβάνουν φορητές μονάδες παραγωγής πελλετών και εξελιγμένα συστήματα τροφοδοσίας λεβήτων βιομάζας, με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης και της ευελιξίας καυσίμου στους τομείς της ενέργειας και της βιομηχανίας.

Ενώ η τεχνολογία βιοκαυσίμων εξακολουθεί να αναδύεται στη Βόρεια Μακεδονία, η ανάπτυξη εργοστασίων βιοαερίου και η αξιοποίηση πόρων βιομάζας υποδεικνύουν μια αυξανόμενη δέσμευση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η συνεχιζόμενη επένδυση και η τεχνολογική καινοτομία είναι απαραίτητες για να αξιοποιηθεί πλήρως το δυναμικό των βιοκαυσίμων και της βιοενέργειας στο ενεργειακό τοπίο της χώρας.



6.7.4. Τεχνολογία Βιοαερίου

Το βιοαέριο είναι ένας τύπος αερίου βιοκαυσίμου που χρησιμοποιείται ευρέως σε όλο τον κόσμο¹⁵³. Το κύριο πλεονέκτημά του είναι ότι όλα τα είδη οργανικών αποβλήτων μπορούν να μετατραπούν σε ενέργεια. Απόβλητα που ενδέχεται να είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον μετατρέπονται σε βιοαέριο μέσω ζύμωσης σε περιβάλλον χωρίς οξυγόνο¹⁵⁴.

Εικόνα 115: Οι μονάδες βιοαερίου μετατρέπουν τα οργανικά απόβλητα σε θερμότητα, ηλεκτρική ενέργεια και βιομεθάνιο, ενώ παράγουν ως υποπροϊόν λίπασμα για γεωργική χρήση¹⁵³.

Χρήσεις του Βιοαερίου:

- Παραγωγή θερμότητας (π.χ. σε εστίες και συστήματα θέρμανσης)
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (σε κινητήρες ή συστήματα συμπαραγωγής)
- Χρήση ως καύσιμο (ενσωματώνεται σε κινητήρες βιοαερίου ή σε συστήματα φυσικού αερίου)

Επιπλέον, η ιλύς που παράγεται κατά την παραγωγή βιοαερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα στη γεωργική παραγωγή.

Μονάδες Παραγωγής Βιοαερίου:

- Οι μικρής κλίμακας μονάδες είναι συνηθισμένες στην Ασία, όπου συχνά δίνεται έμφαση στην παραγωγή λιπασμάτων από ζωικά και φυτικά απόβλητα.
- Οι μεσαίας και μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις προτιμώνται στην Ευρώπη, με στόχο την ταυτόχρονη διαχείριση οικιακών, βιομηχανικών και γεωργικών αποβλήτων και τη μετατροπή τους σε ενέργεια.

6.7.4.1. Παραγωγή Βιοαερίου

Τα οργανικά απόβλητα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοαερίου. Αυτά είναι¹⁵⁴:

- Κοπριά ζώων (αγελάδες, πρόβατα, πουλερικά)
- Απόβλητα φυτικής παραγωγής
- Απόβλητα από τη δασική και τη βιομηχανία χαρτιού
- Απόβλητα από τη βιομηχανία κλωστοϋφαντουργίας
- Απόβλητα από τη βιομηχανία τροφίμων (γάλα, μαγιά, σοκολάτα, παραγωγή ποτών κ.λπ.)
- Αγροβιομηχανικά απόβλητα (έλαια, ζαχαρουργεία κ.λπ.)
- Αστικά στερεά απόβλητα
- Απόβλητα από βιολογικό καθαρισμό

Τα ενεργειακά καλλιεργούμενα φυτά και τα άλγη μπορούν επίσης να αξιοποιηθούν για την παραγωγή βιοαερίου υψηλής απόδοσης.

Το βιοαέριο είναι ένα αναφλέξιμο μίγμα αερίων που προκύπτει από την αποδόμηση οργανικών αποβλήτων από μικροοργανισμούς σε περιβάλλον χωρίς οξυγόνο. Στη διαδικασία αυτή:¹⁵⁴

Μεθάνιο (CH_4): Είναι το πιο σημαντικό συστατικό του βιοαερίου και αποτελεί την πηγή ενέργειας του.

Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2): Είναι ένα φυσικό παραπροϊόν της διαδικασίας.

Υδρόθειο (H_2S) και άζωτο (N_2): Μπορεί να υπάρχουν σε μικρές ποσότητες, ανάλογα με τον τύπο των αποβλήτων.



Εικόνα 116: Το μεθάνιο (CH_4) είναι το κύριο ενεργειακά πλούσιο συστατικό του βιοαερίου, που παράγεται μέσω της αναερόβιας πέψης οργανικών αποβλήτων.

Η περιεκτικότητα σε μεθάνιο καθορίζει την ενεργειακή αξία του βιοαερίου. Ωστόσο, το μεθάνιο δεν μπορεί να υγροποιηθεί σε χαμηλές πιέσεις όπως το Υγροποιημένο Πετρέλαιο Αερίου (LPG); Απαιτεί πίεση 280-350 bar για να υγροποιηθεί.

Η παραγωγή βιοαερίου εξαρτάται από τις χημικές και φυσικές ιδιότητες των απορριμμάτων που χρησιμοποιούνται. Σημαντικοί παράγοντες περιλαμβάνουν:

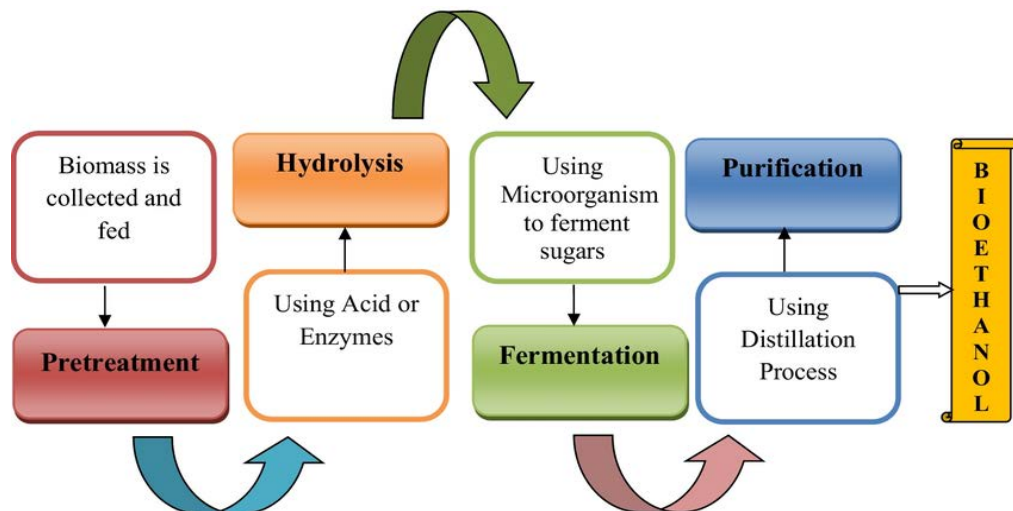
- Τύπος και σύνθεση των αποβλήτων (ζωικά,

φυτικά, οικιακά κ.λπ.)

- Ποσότητα ξένων υλών (χώμα, πέτρα, μέταλλο κ.λπ.)
- Μέγεθος των σωματιδίων (μικρότερα κομμάτια ζυμώνονται πιο γρήγορα)
- Περιεκτικότητα σε υγρασία και οργανική ύλη
- Σχεδίαση του γεννήτριας (αντιδραστήρα) (όγκος, μόνωση, συστήματα ανάμιξης και θέρμανσης)
- Θερμοκρασία ζύμωσης και ισορροπία pH

6.7.5. Τεχνολογία Βιοαιθανόλης

Η βιοαιθανόλη είναι ένα καύσιμο βιολογικής προέλευσης που αναπτύχθηκε λόγω της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων και της ανάγκης μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο βιοκαύσιμο στον κόσμο και χρησιμοποιείται ως εναλλακτικό καύσιμο κινητήρα, ιδιαίτερα όταν αναμιγνύεται με βενζίνη¹⁵⁵.



Σχήμα 117: Η βιοαιθανόλη παράγεται με την μετατροπή της βιομάζας σε ζυμώσιμους σακχάρους, ακολουθούμενη από μικροβιακή ζύμωση και απόσταξη¹⁵⁵.

Products such as corn, sugar beet and sugar cane, which are used for the production of bioethanol, are also staple food sources. For example, in the U.S., a large portion of corn production is used for bioethanol. This leads to an increase in corn prices around the world and competition between food production and energy production.

Η αιθανόλη είναι μια ένωση που σχηματίζεται ως αποτέλεσμα της ζύμωσης των σακχάρων από ζύμες. Τα σιτηρά, τα καλλιέργεια ζάχαρης και τα φυτά που περιέχουν άμυλο είναι οι πιο κοινοί πόροι για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Επιπλέον, τα κυτταρινούχα υλικά, όπως τα δέντρα, τα χόρτα και τα οικιακά απόβλητα, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Ωστόσο, η παραγωγή βιοαιθανόλης από κυτταρινούχα υλικά είναι πιο περίπλοκη και δαπανηρή σε σχέση με την παραγωγή από καλλιέργειες που περιέχουν άμυλο και ζάχαρη. Επομένως, απαιτούνται τεχνολογικές εξελίξεις για πιο αποδοτικές μεθόδους παραγωγής.

Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται εναλλακτικοί πόροι για την παραγωγή βιοαιθανόλης, αντί για γεωργικά προϊόντα με αξία τροφίμου. Αυτοί περιλαμβάνουν τα λιγνοκυτταρινικά φυτά χωρίς τροφική αξία και τα γεωργικά κατάλοιπα (αχρησιμοποίητα μέρη όπως στελέχη, ρίζες). Με αυτόν τον τρόπο, τόσο οι ενεργειακές ανάγκες μπορούν να καλυφθούν, όσο και η ασφάλεια των τροφίμων να προστατευτεί.

6.7.6. Χρήσεις της Βιοαιθανόλης

Η βιοαιθανόλη μπορεί να αξιολογηθεί με διάφορους τρόπους σε διάφορα ενεργειακά συστήματα¹⁵⁶:

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ως εναλλακτικό καύσιμο κινητήρων.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο καυσίμου αναμειγνύοντάς το με βενζίνη σε συγκεκριμένες αναλογίες.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας σε κυψέλες καυσίμου.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη στην παραγωγή βιοντίζελ.

Μίγματα Βενζίνης και Ντίζελ με Βιοαιθανόλη

Τύποι καυσίμων που περιέχουν βιοαιθανόλη σε διαφορετικές αναλογίες χρησιμοποιούνται παγκοσμίως:

- Βενζίνη με προστιθέμενο αλκοόλ (περιέχει έως και 5% αλκοόλ).
- Gasohol (μίγμα 10% αιθανόλης, 90% βενζίνης).
- E85 (μίγμα που περιέχει 85% αιθανόλη, 15% βενζίνη).



Πλεονεκτήματα

Μεταξύ των σημαντικών πλεονεκτημάτων της βιοαιθανόλης είναι τα εξής:

- Είναι ένα βιώσιμο καύσιμο καθώς παράγεται από ανανεώσιμες πηγές.
 - Συμβάλλει στην ενεργειακή ασφάλεια μειώνοντας την εξάρτηση από το πετρέλαιο.
 - Προσφέρει μια φιλική προς το περιβάλλον επιλογή μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
 - Αυξάνοντας τον αριθμό οκτανίων, βοηθάει το καύσιμο να καίγεται πιο αποτελεσματικά και καθαρά.
- Βελτιώνει την απόδοση του κινητήρα και δεν βλάπτει τη φύση χάρη στη βιοδιασπασιμότητά του.

6.7.6.1 Παραγωγή Βιοαιθανόλης

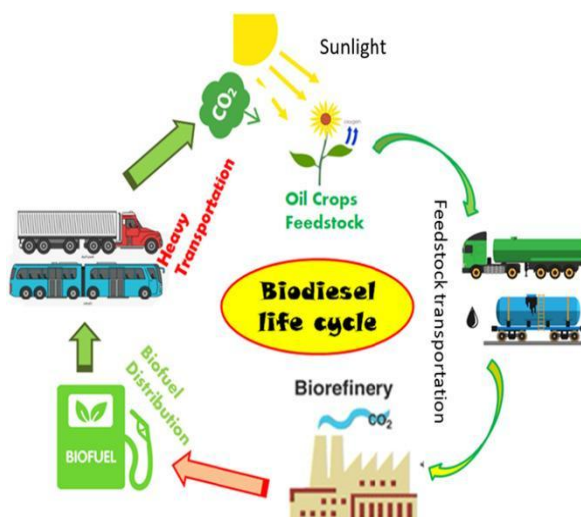
Η παραγωγή βιοαιθανόλης πραγματοποιείται περνώντας τη λιγνοκυτταρινική βιομάζα μέσω ορισμένων σταδίων. Αυτή η διαδικασία αποτελείται από τέσσερα βασικά βήματα. Το πρώτο βήμα είναι ο διαχωρισμός της λιγνίνης, της ημικυτταρίνης και της κυτταρίνης με την προεπεξεργασία της βιομάζας. Αυτή η φάση περιλαμβάνει τη διάσπαση της βιομάζας για να καταστεί η διαδικασία της υδρόλυσης πιο αποτελεσματική. Στο δεύτερο βήμα, η κυτταρίνη και η ημικυτταρίνη αποσυντίθενται σε μονομερή σάκχαρα με τη βοήθεια ενζύμων ή χημικών μεθόδων. Στο τρίτο στάδιο, τα παραγόμενα σάκχαρα ζυμώνονται με τη βοήθεια μικροοργανισμών όπως η ζύμη και μετατρέπονται σε αιθανόλη. Στο τελευταίο στάδιο, η αιθανόλη πυκνώνεται μέσω διαδικασιών απόσταξης και καθαρισμού¹⁵⁷.

Στη βιομάζα που χρησιμοποιείται στην παραγωγή αιθανόλης, το στάδιο της προεπεξεργασίας είναι πολύ σημαντικό. Αυτή η φάση περιλαμβάνει τον καθαρισμό της βιομάζας, το διαχωρισμό της ανάλογα με το μέγεθός της και την διευκόλυνση της πρόσβασης στη βιοχημική διαδικασία που ακολουθεί. Οι μηχανικές και φυσικές διαδικασίες που εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της προεπεξεργασίας διαταράσσουν τη δομή της βιομάζας και αυξάνουν την απόδοση των σακχάρων. Κάθε τύπος πρώτης ύλης (π.χ., ξυλώδης βιομάζα, κοκοφοίνικας ή μπαγάση) απαιτεί διαφορετικές μεθόδους προεπεξεργασίας για να επιτευχθούν βέλτιστα αποτελέσματα.

Σε εγκαταστάσεις όπου η βιοαιθανόλη παράγεται από μελάσα και σκοτεινό σιρόπι, το σκοτεινό σιρόπι και η μελάσα εισάγονται στο δεξαμενή ζύμωσης μαζί με τη ζύμη. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας ζύμωσης, η βιοαιθανόλη εξάγεται με τη διαδικασία της απόσταξης, της αναγνώσεις (αφαίρεσης νερού) και των διαδικασιών διαχωρισμού.

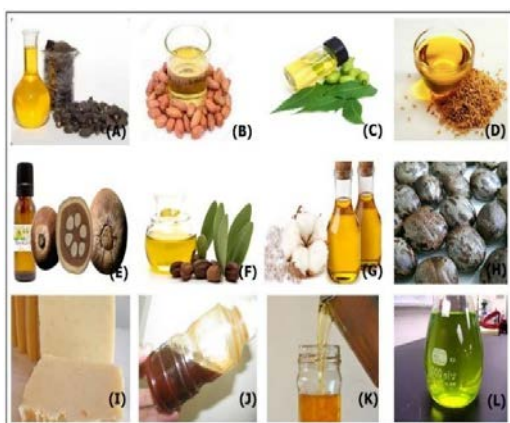
6.7.7. Τεχνολογία Βιοντίζελ

Το βιοντίζελ είναι μια καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που αναπτύχθηκε ως εναλλακτική λύση για τα πετρελαϊκά καύσιμα ντίζελ¹⁵⁸. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ή ως πρόσθετο στους κινητήρες ντίζελ. Η εμπορική ανάπτυξη του βιοντίζελ σε πολλές χώρες υποστηρίζεται από τις βελτιώσεις στην ποιότητα του προϊόντος και την αυξημένη ικανοποίηση των πελατών¹⁵⁹. Η παραγωγή και η χρήση βιοντίζελ ρυθμίζονται από διεθνή πρότυπα όπως το ASTM D6751 (Αμερικανική Εταιρεία για τη Δοκιμή και Υλικά) και το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 14214.



Εικόνα 118: Κύκλος ζωής του βιοντίζελ: Από την καλλιέργεια πρώτων υλών έως τη διανομή του βιοκαυσίμου¹⁵⁹.

6.7.7.1. Πηγές Λαδιού που Χρησιμοποιούνται στην Παραγωγή Βιοντίζελ



Εικόνα 119: Το βιοντίζελ μπορεί να παραχθεί από διάφορες πηγές ελαίων, συμπεριλαμβανομένων των φυτικών ελαίων, των ελαίων αποβλήτων, των ζωικών λιπών και των λιπιδίων που προέρχονται από άλγη¹⁶⁰.

Διαφορετικοί τύποι λαδιού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοντίζελ¹⁶⁰:

- **Φυτικά έλαια:** Αγροτικά έλαια όπως το φοινικέλαιο, το λάδι σαφλοράς, το λάδι rapeseed, το λάδι σόγιας.
- **Ανακτημένα έλαια:** Παράγωγα από τη βιομηχανία φυτικών ελαίων (όπως το απόθεμα σαπουνιού, το λάδι απόβλητο).
- **Αστικά και βιομηχανικά απόβλητα ελαίων:** Απόβλητα ελαίων όπως το καφέ λίπος και το μαύρο λίπος.
- **Ζωικά λίπη:** Λίπη ζωικής προέλευσης, όπως το λίπος βοοειδών, το ιχθυέλαιο και το λάδι πουλερικών.
- **Ανακυκλωμένα φυτικά έλαια:** Χρησιμοποιημένα έλαια μαγειρικής (όπως το κίτρινο λίπος).
- **Άλγη:** Είναι επίσης δυνατό να παραχθεί βιοντίζελ από μικροάλγη με υψηλή περιεκτικότητα σε λάδι.

Η χρήση αυτών των πόρων αυξάνει τη βιωσιμότητα του βιοντίζελ και συμβάλλει στην αξιοποίηση των αποβλήτων.

Το βιοντίζελ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες σε καθαρή μορφή (B100) ή αναμειγμένο με πετρέλαιο ντίζελ σε ορισμένες αναλογίες:

B5: Μείγμα 5% βιοντίζελ και 95% πετρέλαιο ντίζελ.

B20: Μείγμα 20% βιοντίζελ και 80% πετρέλαιο ντίζελ.

B50: Μείγμα 50% βιοντίζελ και 50% πετρέλαιο ντίζελ.

B100: 100% βιοντίζελ, ο καθαρότερος τύπος βιοντίζελ που χρησιμοποιείται χωρίς πρόσθετα.



Τα μείγματα βιοντίζελ χαμηλής αναλογίας (B5, B20) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τυπικά οχήματα ντίζελ χωρίς να απαιτείται τροποποίηση του κινητήρα, ενώ τα μείγματα βιοντίζελ υψηλής αναλογίας (B50, B100) ενδέχεται να απαιτούν προσαρμογή ορισμένων συστημάτων του κινητήρα.

Πλεονεκτήματα

Υπάρχουν πολλά οφέλη από τη χρήση βιοντίζελ:

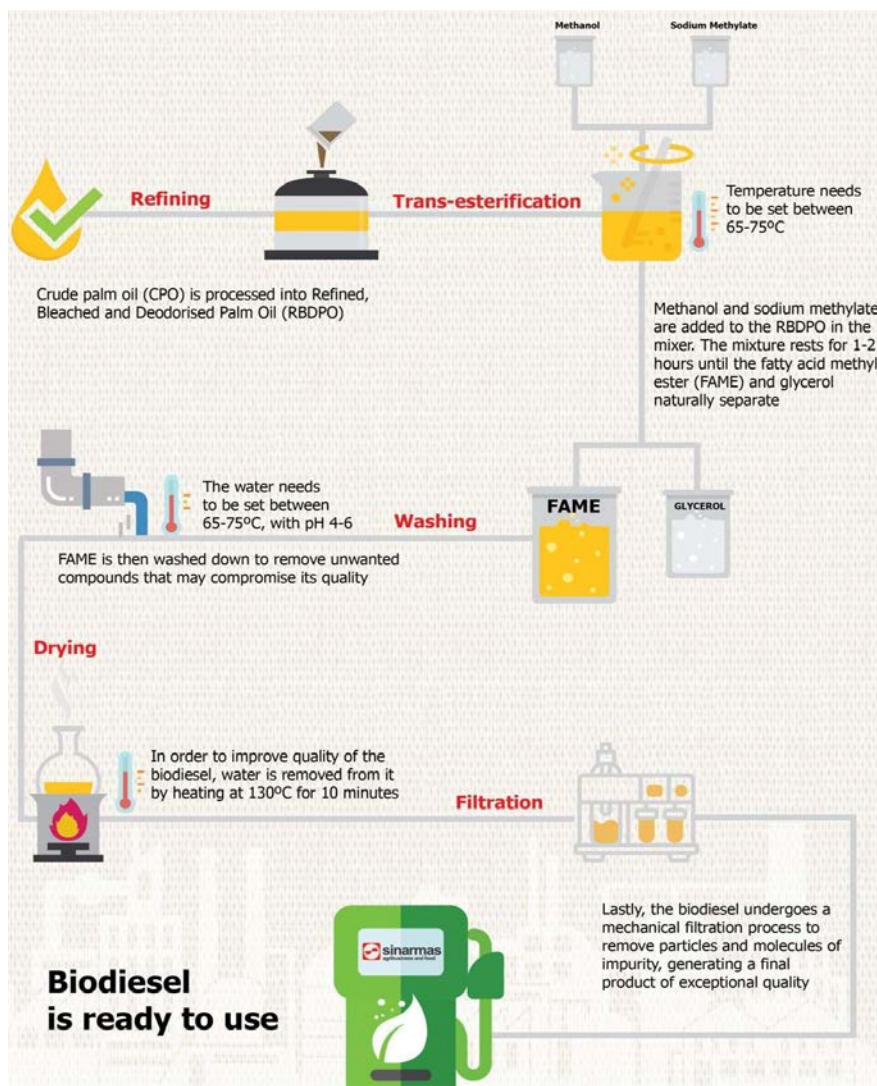
- Είναι ένα βιώσιμο καύσιμο, καθώς παράγεται από ανανεώσιμους πόρους.
- Μειώνει την εξάρτηση από καύσιμα που προέρχονται

από το πετρέλαιο.

- Προσφέρει μια περιβαλλοντικά συνειδητή επιλογή μειώνοντας δραστικά τις εκπομπές άνθρακα.
- Δεδομένου ότι δεν περιέχει θείο, μειώνει την εκπομπή επιβλαβών αερίων.
- Έχει υψηλή λίπανση κινητήρα και βελτιώνει την απόδοση του κινητήρα.
- Χάρη στο υψηλό σημείο ανάφλεξής του, παρέχει ασφαλή μεταφορά και αποθήκευση.
- Είναι βιοδιασπώμενο και μη τοξικό, δεν βλάπτει τη φύση.
- Η θερμογόνο αξία του είναι πολύ κοντά σε αυτή του πετρελαίου ντίζελ και δεν υπάρχει σημαντική απώλεια στην απόδοση του κινητήρα.
- Επειδή έχει υψηλό αριθμό κετανίου, παρέχει πιο αποδοτική καύση.

6.7.7.2. Παραγωγή Βιοντίζελ

Ένα από τα κύρια προβλήματα στην παραγωγή βιοντίζελ είναι ο υψηλός δείκτης ιξώδους των ελαίων που χρησιμοποιούνται¹⁶¹. Επομένως, το ιξώδες πρέπει να μειωθεί πριν χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο κινητήρα. Για να επιτευχθεί αυτό, εφαρμόζονται θερμικές και χημικές επεξεργασίες στα έλαια. Στην θερμική επεξεργασία, η οποία είναι η πιο απλή μέθοδος, τα έλαια θερμαίνονται πριν εισαχθούν στο σύστημα καυσίμου για να μειωθεί το ιξώδες τους. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος μπορεί να προκαλέσει διάφορα προβλήματα, ειδικά όταν χρησιμοποιείται σε κινητές συσκευές.



Εικόνα 120: Το βιοντίζελ παράγεται μέσω της διαδικασίας της τρανσεστεροποίησης, όπου τα έλαια αντιδρούν με αλκοόλες παρουσία καταλύτη, ακολουθούμενο από διύλιση, πλύσιμο, ξήρανση και διήθηση για την παραγωγή βιοντίζελ κατάλληλο για καύσιμο¹⁶².

Οι χημικές επεξεργασίες προτιμώνται συνήθως για να μειωθεί το ιξώδες. Από αυτές, η πιο αποτελεσματική και κοινή μέθοδος είναι η μέθοδος

της **τρανσεστεροποίησης**¹⁶¹.

Στη διαδικασία αυτή, τα φυτικά ή ζωικά λίπη αντιδρούν με αλκοόλ για να παραχθούν βιοντίζελ και γλυκερίνη ως παραπροϊόν. Με πιο απλά λόγια, τα λίπη με μεγάλες μόρια αντιδρούν με αλκοόλ με μικρές μόρια, μετατρέποντάς τα σε ένα πιο ρευστό υγρό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο κινητήρων¹⁶².

Υπάρχουν διάφορες επιλογές αλκοόλ και καταλυτών στη διαδικασία της τρανσεστεροποίησης. Το μεθανόλη και η αιθανόλη είναι τα πιο κοινά χρησιμοποιούμενα αλκοόλ. Μπορούν να προτιμηθούν όξινοι, βασικοί ή ενζυματικοί καταλύτες. Ωστόσο, οι βασικοί καταλύτες είναι συνήθως πιο ευνοϊκοί, επειδή¹⁶¹:

- Παρέχει υψηλότερες αποδόσεις.
- Είναι λιγότερο διαβρωτικός.
- Ο χρόνος αντίδρασης είναι μικρότερος.
- Οι όξινοι καταλύτες αυξάνουν το κόστος παραγωγής, καθώς απαιτούν ειδικές δεξαμενές ανθεκτικές σε οξέα.

Στάδια Παραγωγής Βιοντίζελ με Βασικό Κατάλυτη:

1. Ανακίνηση Καταλύτη και Αλκοόλης

Συνήθως χρησιμοποιείται υδροξείδιο του νατρίου (NaOH) ή υδροξείδιο του καλίου (KOH)

ως καταλύτης. Ο καταλύτης διαλύεται στην αλκοόλη με τη βοήθεια ενός αναμικτήρα και ετοιμάζεται για την αντίδραση.

2. Αντίδραση

Το παρασκευασμένο μείγμα καταλύτη και αλκοόλης μεταφέρεται στον αντιδραστήρα μαζί με το λάδι, το οποίο είναι η πρώτη ύλη για το βιοντίζελ. Ο αντιδραστήρας διατηρείται κλειστός για να αποφευχθεί η απώλεια αλκοόλης. Η θερμοκρασία της αντίδρασης διατηρείται λίγο πάνω από το σημείο βρασμού της αλκοόλης (περίπου 70°C) και ο χρόνος επεξεργασίας μπορεί να κυμαίνεται από 1 έως 8 ώρες.

3. Διαχωρισμός

Ως αποτέλεσμα της αντίδρασης, σχηματίζονται δύο κύρια προϊόντα: το βιοντίζελ και η γλυκερίνη. Επειδή η γλυκερίνη είναι πυκνότερη από το βιοντίζελ, μπορεί να διαχωριστεί με τη δράση της βαρύτητας. Σε ορισμένα εργοστάσια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν φυγόκεντροι για να επιταχύνουν το διαχωρισμό.

4. Αφαίρεση Αλκοόλης

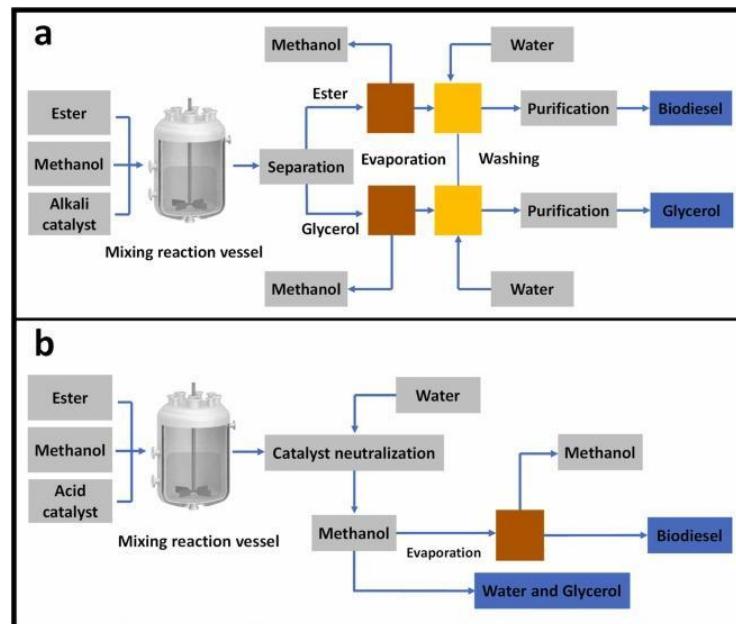
Μετά το διαχωρισμό της γλυκερίνης και του βιοντίζελ, η υπολειπόμενη αλκοόλη αφαιρείται με εξάτμιση (flash evaporation) ή απόσταξη. Σε ορισμένα συστήματα, μετά από αυτό το στάδιο, το μείγμα εξουδετερώνεται και τα τελικά προϊόντα επεξεργάζονται πριν το διαχωρισμό.

5. Εξουδετέρωση Γλυκερίνης

Η γλυκερίνη που προκύπτει είναι ένα παραπροϊόν που περιέχει αχρησιμοποίητο καταλύτη και σαπούνι. Αυτά τα συστατικά εξουδετερώνονται με οξύ και αποθηκεύονται ως ακατέργαστη γλυκερίνη. Τα άλατα που σχηματίζονται κατά την εξουδετέρωση μπορούν να παραμείνουν στη γλυκερίνη ή να ανακτηθούν. Με τη διαδικασία καθαρισμού, μπορεί να παραχθεί γλυκερίνη με καθαρότητα 80-88% και να παρουσιαστεί στη βιομηχανία. Η γλυκερίνη με καθαρότητα 99% μπορεί να παραχθεί με την εφαρμογή ειδικών διαδικασιών, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη φαρμακευτική και καλλυντική βιομηχανία.

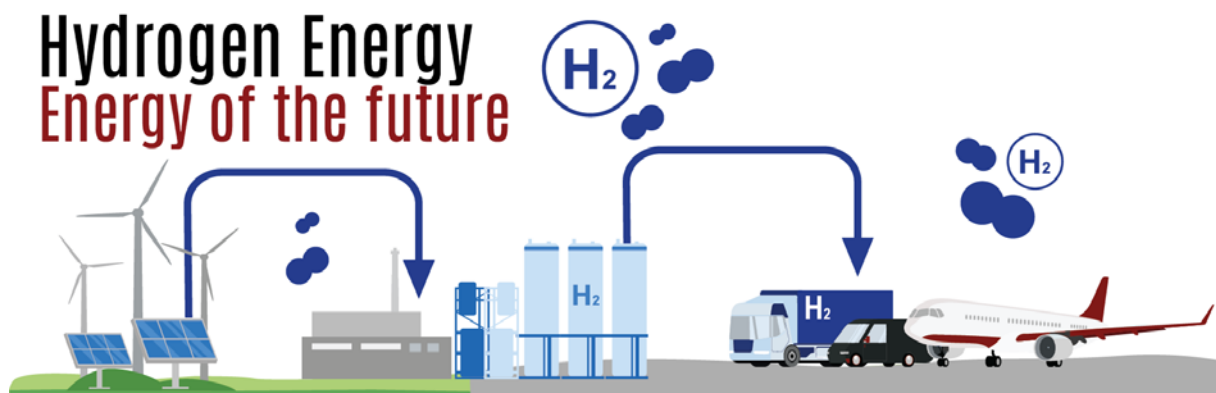
6. Πλύσιμο και Αποθήκευση Βιοντίζελ

Το βιοντίζελ, αφού έχει διαχωριστεί από τη γλυκερίνη, πλένεται με ζεστό νερό και στεγνώνεται για να αφαιρεθούν οι υπόλοιποι καταλύτες και σαπούνια. Το τελικό προϊόν είναι ένα υγρό με έντονο χρυσοκίτρινο χρώμα και ιξώδες κοντά σε αυτό του ντίζελ. Σε ορισμένα συστήματα, μπορεί να παραχθεί άχρωμο βιοντίζελ με την εφαρμογή απόσταξης στο τελευταίο στάδιο¹⁶³.



Εικόνα 121: Η διαδικασία παραγωγής βιοντίζελ διαφέρει ανάλογα με τον καταλύτη που χρησιμοποιείται: οι αλκαλικοί καταλύτες προσφέρουν υψηλότερες αποδόσεις και ταχύτερες αντιδράσεις, ενώ οι οξικοί καταλύτες απαιτούν περισσότερο χρόνο επεξεργασίας αλλά μπορούν να διαχειριστούν υψηλή περιεκτικότητα σε ελεύθερα λιπαρά οξέα¹⁶³.

6.8. Ενέργεια Υδρογόνου



Εικόνα 122: Το υδρογόνο είναι ένας καθαρός και ανανεώσιμος φορέας ενέργειας που παράγεται από το νερό χρησιμοποιώντας ηλιακή και αιολική ενέργεια, επιτρέποντας βιώσιμες λύσεις στις μεταφορές και τη βιομηχανία¹⁶⁴.

Η λέξη "υδρογόνο" προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις "ύδωρ", που σημαίνει "νερό", και "γένος", που σημαίνει "δημιουργία". Το υδρογόνο είναι το ελαφρύτερο και πιο άφθονο στοιχείο στο σύμπαν¹⁶⁴. Το υδρογόνο βρίσκεται στο νερό, τα φυτά, τα ζώα και σε πολλές χημικές ενώσεις στη Γη. Ωστόσο, δεν βρίσκεται σε καθαρή μορφή στη φύση. Αν και υπάρχει στην ατμόσφαιρα σε πολύ μικρή ποσότητα σε αέρια μορφή, συνήθως βρίσκεται συνδυασμένο με άλλα στοιχεία. Στη φύση, μερικοί μικροοργανισμοί μπορούν να παράγουν υδρογόνο. Επίσης, τα φυτά παράγουν οξυγόνο και υδατάνθρακες από το φως, το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα μέσω της φωτοσύνθεσης. Τεχνολογικά, το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί από πηγές

όπως το νερό, τη βιομάζα και τα ορυκτά καύσιμα. Η πιο φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος είναι η παραγωγή υδρογόνου με την αποσύνθεση του μορίου του νερού. Αν αυτή η διαδικασία γίνει χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ή η αιολική ενέργεια, το υδρογόνο γίνεται ένα εντελώς καθαρό καύσιμο. Το υδρογόνο είναι ένα άχρωμο, άοσμο αέριο που είναι 14 φορές ελαφρύτερο από τον αέρα. Γίνεται υγρό σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες¹⁶⁵. Χρησιμοποιείται ως καύσιμο πυραύλων στην εξερεύνηση του διαστήματος επειδή είναι ελαφρύ και έχει υψηλή ικανότητα μεταφοράς ενέργειας. Το υδρογόνο είναι εξαιρετικά χημικά δραστικό και συνδυάζεται εύκολα με άλλα στοιχεία. Όταν αντιδρά με το οξυγόνο, σχηματίζεται ατμός νερού και απελευθερώνεται μεγάλη ποσότητα ενέργειας στη διαδικασία. Γι' αυτό το υδρογόνο χρησιμοποιείται ως καθαρή και ισχυρή πηγή ενέργειας.

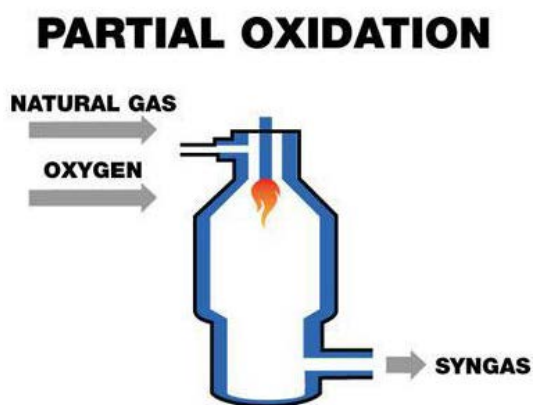
Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας σε κινητήρες εσωτερικής καύσης ή σε κυψέλες καυσίμου. Δεν ρυπαίνει το περιβάλλον, καθώς μόνο ατμός νερού σχηματίζεται ως αποτέλεσμα της καύσης. Το υδρογόνο μπορεί επίσης να μετατραπεί άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι κυψέλες καυσίμου που παρέχουν αυτή την δυνατότητα επιτρέπουν στο υδρογόνο και το οξυγόνο να αντιδρούν χημικά για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται σε κινητήρες αυτοκινήτων, συστήματα ενέργειας για σπίτια και διαστημόπλοια. Το υδρογόνο θεωρείται φιλικό προς το περιβάλλον καύσιμο, επειδή δεν εκπέμπει άνθρακα ως αποτέλεσμα της καύσης. Σήμερα, όταν χρησιμοποιούνται ορυκτά καύσιμα, εκλύονται διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και επιβλαβή αέρια στην ατμόσφαιρα, προκαλώντας αλλαγή του κλίματος και ρύπανση του αέρα. Αντίθετα, το υδρογόνο ονομάζεται "πράσινη ενέργεια" επειδή παράγει μόνο νερό. Εάν χρησιμοποιούνται ηλιακή, αιολική ή υδροηλεκτρική ενέργεια αντί για ορυκτά καύσιμα στην παραγωγή υδρογόνου, μπορεί να καταστεί μια βιώσιμη και καθαρή πηγή ενέργειας για τον κόσμο. Σήμερα, οι ενεργειακές μας ανάγκες καλύπτονται σε μεγάλο βαθμό από ορυκτά καύσιμα, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Ωστόσο, αυτοί οι πόροι είναι περιορισμένοι και βλάπτουν το περιβάλλον. Γι' αυτό οι επιστήμονες πιστεύουν ότι το υδρογόνο θα μπορούσε να είναι η κύρια πηγή ενέργειας στο μέλλον. Το υδρογόνο παρέχει μεγάλο πλεονέκτημα επειδή μπορεί να παραχθεί από το πανταχού παρόν νερό. Ο κύκλος του υδρογόνου λειτουργεί με τη διάσπαση του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο για την παραγωγή ενέργειας και στη συνέχεια την επιστροφή του υδρογόνου σε νερό. Αυτή η διαδικασία είναι ένας από τους καθαρότερους τρόπους για την παραγωγή ενέργειας χωρίς να βλάπτει τη φύση.

Στο μέλλον, η μετάβαση σε ένα ενεργειακό σύστημα χωρίς άνθρακα μπορεί να επιτευχθεί με τη πιο ευρεία χρήση της ενέργειας από υδρογόνο. Αυτό σημαίνει καθαρότερο αέρα, βιώσιμη ενέργεια και λιγότερη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.

6.8.1. Παραγωγή Υδρογόνου

Το υδρογόνο δεν υπάρχει σε καθαρή μορφή στη φύση, επομένως απαιτείται ενέργεια για να παραχθεί. Οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υδρογόνου μπορεί να είναι ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), πυρηνική ενέργεια και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ηλιακή, αιολική, βιομάζα, νερό, γεωθερμική ενέργεια, ενέργεια από κύματα και παλίρροιες). Χρησιμοποιώντας αυτές τις πηγές, η παραγωγή υδρογόνου πραγματοποιείται με διάφορες μεθόδους¹⁶⁶.

Χημικές, θερμοχημικές και ηλεκτροχημικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υδρογόνου. Σήμερα, οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι οι τεχνικές που επιτρέπουν την παραγωγή υδρογόνου από ορυκτά καύσιμα. Ωστόσο, οι μέθοδοι που υποστηρίζονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και δεν βλάπτουν το περιβάλλον κερδίζουν ολοένα και μεγαλύτερη προσοχή.

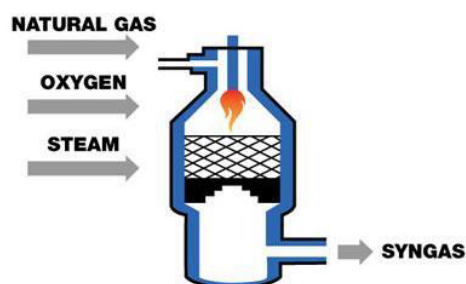


Σχήμα 123: Στη μέθοδο POX (Μερική Οξείδωση), το φυσικό αέριο αντιδρά με περιορισμένο οξυγόνο σε υψηλές θερμοκρασίες για την παραγωγή συνθετικού αερίου (syngas), ενός μείγματος πλούσιου σε υδρογόνο¹⁶⁶.

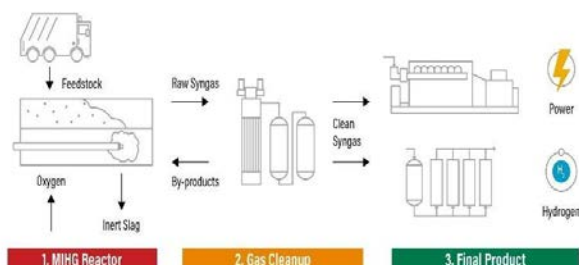
2. Αναμόρφωση με Αυτοθερμική Μέθοδο (ATR)

Αυτή η μέθοδος παράγει υδρογόνο συνδυάζοντας αντιδράσεις που απαιτούν θερμότητα (ενδόθερμες) και αντιδράσεις που απελευθερώνουν θερμότητα (εξώθερμες)¹⁶⁷. Δημιουργεί μια πιο αποδοτική διαδικασία παραγωγής επιτρέποντας στο περιβάλλον να θερμαίνεται αυτόματα. Η αυτοθερμική αναμόρφωση (ATR) είναι μία από τις μεθόδους που προσφέρουν υψηλές αποδόσεις στην παραγωγή υδρογόνου.

AUTOTHERMAL REFORMING



Εικόνα 124: Η αυτοθερμική αναμόρφωση συνδυάζει την αναμόρφωση με ατμό και τη μερική οξείδωση για την αποδοτική παραγωγή συνθετικού αερίου πλούσιου σε υδρογόνο¹⁶⁷.



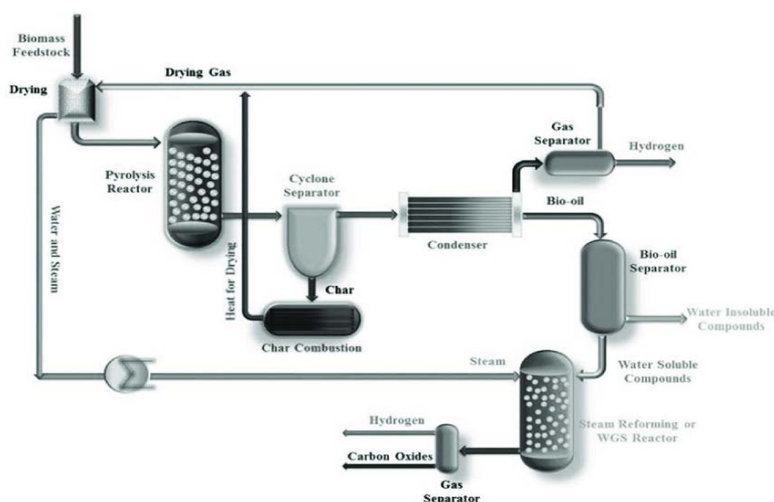
Εικόνα 125: Η αεριοποίηση μετατρέπει την πρώτη ύλη σε συνθετικό αέριο πλούσιο σε υδρογόνο μέσω επεξεργασίας σε υψηλές θερμοκρασίες, ακολουθούμενη από καθαρισμό των αερίων για παραγωγή ενέργειας και υδρογόνου¹⁶⁸.

3. Αεριοποίηση

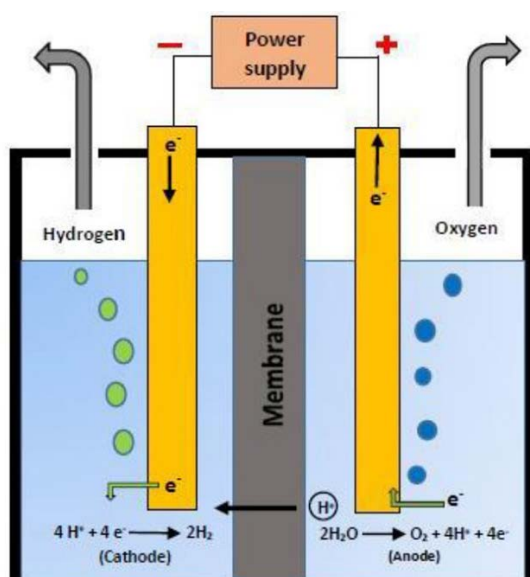
Η αεριοποίηση παράγει υδρογόνο με την επεξεργασία ουσιών όπως ο άνθρακας ή η βιομάζα υπό υψηλή θερμοκρασία και πίεση¹⁶⁸. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, απελευθερώνονται αέρια όπως το υδρογόνο, το μονοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο. Εάν χρησιμοποιείται βιομάζα, είναι σημαντικό να απομακρύνεται η υγρασία για την αύξηση της απόδοσης.

Πυρόλυση

Η πυρόλυση επιτρέπει την παραγωγή υδρογόνου μέσω της αποσύνθεσης οργανικών ουσιών όταν εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες, σε περιβάλλον χωρίς οξυγόνο και χωρίς νερό. Χρησιμοποιείται κυρίως για την αξιοποίηση οργανικών αποβλήτων και πραγματοποιείται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες¹⁶⁹.



Σχήμα 126: Η πυρόλυση μετατρέπει τη βιομάζα σε υδρογόνο μέσω θερμικής αποσύνθεσης σε περιβάλλον χωρίς οξυγόνο, ακολουθούμενη από διαχωρισμό των αερίων και υδρατμοαναμόρφωση¹⁶⁹.



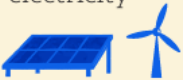
Εικόνα 127: Η ηλεκτρόλυση διασπά το νερό σε υδρογόνο και οξυγόνο χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια, παράγοντας καθαρό υδρογόνο χωρίς εκπομπές άνθρακα¹⁷⁰.

5. Ηλεκτρόλυση

Η ηλεκτρόλυση είναι η διαδικασία διάσπασης των μορίων του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο με τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος¹⁷⁰. Αυτή η μέθοδος καθίσταται φιλική προς το περιβάλλον και βιώσιμη μέθοδος παραγωγής υδρογόνου, ειδικά όταν συνδυάζεται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Το υδρογόνο που παράγεται μέσω ηλεκτρόλυσης είναι μια καθαρή και απαλλαγμένη από άνθρακα πηγή ενέργειας.

6.8.2. Πράσινο Υδρογόνο

Το πράσινο υδρογόνο είναι ένας τύπος υδρογόνου που παράγεται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χωρίς να βλάπτει το περιβάλλον. Είναι πολύ πιο φιλικό προς το περιβάλλον σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, καθώς δεν υπάρχουν εκπομπές άνθρακα κατά τη διάρκεια της παραγωγής. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια και η βιομάζα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πράσινου υδρογόνου¹⁷¹.

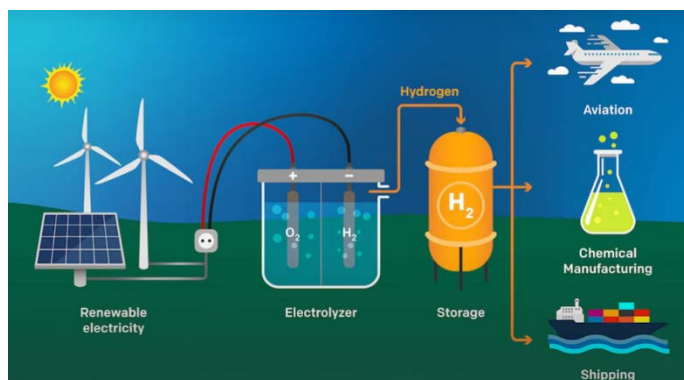
	Gray Hydrogen	Blue Hydrogen	Turquoise Hydrogen	Green Hydrogen
Process	Steam methane reforming or gasification	Steam methane reforming or gasification with carbon capture (85-95%)	Pyrolysis	Electrolysis
Source	Natural gas or coal 	Natural gas or coal 	Natural Gas 	Renewable electricity 
Product	H ₂ & CO ₂	H ₂ & CO ₂	H ₂ & C (solid)	H ₂ & O ₂

Εικόνα 128: Το υδρογόνο κατατάσσεται ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής: το πράσινο υδρογόνο είναι η καθαρότερη μορφή, παραγόμενο μέσω ηλεκτρόλυσης με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας χωρίς εκπομπές άνθρακα¹⁷¹.

Τέσσερις κύριες πηγές ενέργειας παίζουν ρόλο στην παραγωγή πράσινου υδρογόνου:

1. **Ενεργειακή θερμότητα** – Μπορεί να παραχθεί από ορυκτά καύσιμα ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
2. **Ηλεκτρική ενέργεια** – Χρησιμοποιείται στη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης, παρέχοντας την από πηγές όπως φωτοβολταϊκά πάνελ και ανεμογεννήτριες.
3. **Φωτονική ενέργεια** – Χρησιμοποιείται στην παραγωγή υδρογόνου απευθείας από το ηλιακό φως.
4. **Βιοχημική ενέργεια** – Οργανικές ουσίες ενεργοποιούνται για την παραγωγή υδρογόνου μέσω φυσικών διαδικασιών.

6.8.2.1. Παραγωγή Υδρογόνου από Ηλιακή Ενέργεια



Εικόνα 129: Η ηλιακής ενέργειας ηλεκτρόλυση επιτρέπει την παραγωγή πράσινου υδρογόνου για χρήση στη αεροπορία, τη ναυτιλία και τις χημικές βιομηχανίες.

Υπάρχουν τέσσερις βασικές μέθοδοι για την παραγωγή υδρογόνου χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια: φωτοβολταϊκή, θερμική ενέργεια, φωτοηλεκρόλυση και βιο-φωτοδιάσπαση. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή υδρογόνου μετατρέποντάς την σε ηλεκτρισμό ή θερμότητα μέσω διαφόρων συστημάτων¹⁷². Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παράγουν υδρογόνο μέσω ηλεκτρόλυσης του νερού, μετατρέποντας άμεσα το ηλιακό

φως σε ηλεκτρισμό. Από την άλλη πλευρά, οι ηλιακοί συλλέκτες και τα συγκεντρωτικά συστήματα ηλιακής ενέργειας (CSP) βοηθούν στην παραγωγή υδρογόνου μέσω θερμοχημικών διεργασιών, παράγοντας υψηλές θερμοκρασίες. Η μέθοδος της φωτοηλεκτρόλυσης επιτρέπει την αποσύνθεση του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο χρησιμοποιώντας απευθείας το ηλιακό φως, ενώ στη διαδικασία της βιο-φωτοδιάσπασης, ορισμένοι μικροοργανισμοί παράγουν υδρογόνο φυσικά χρησιμοποιώντας ηλιακό φως.

6.8.3. Καθαρισμός του Υδρογόνου

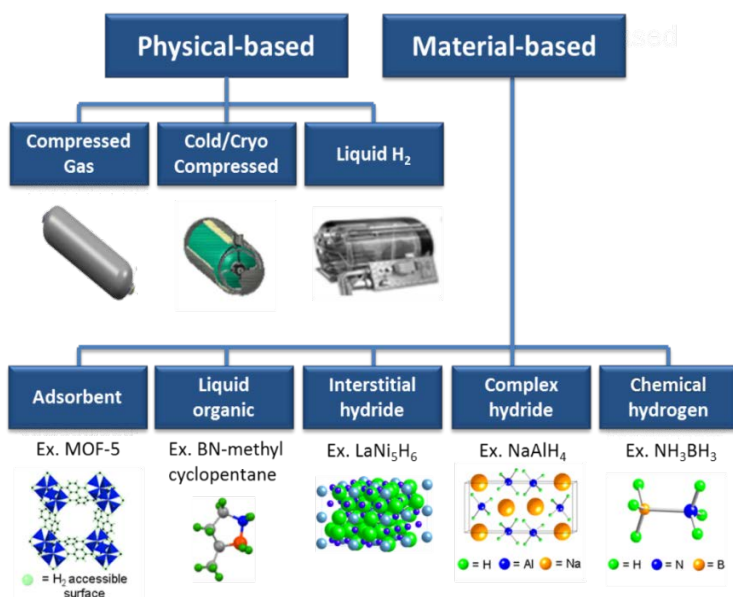
Διάφορες μέθοδοι καθαρισμού χρησιμοποιούνται για την απόκτηση καθαρού υδρογόνου από τα αέρια μείγματα που προκύπτουν κατά την παραγωγή υδρογόνου. Αυτές οι μέθοδοι αυξάνουν την καθαρότητα του υδρογόνου, επιτρέποντας τη χρήση του με μεγαλύτερη αποδοτικότητα και ασφάλεια¹⁷³.

- **Απορρόφηση με Διακυμάνσεις Πίεσης (PSA):** Το υδρογόνο στο αέριο μείγμα καθαρίζεται περνώντας το μέσω ειδικών φίλτρων. Αυτή η μέθοδος είναι μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους για την απόκτηση υδρογόνου υψηλής καθαρότητας.
- **Φιλτράρισμα Αερίων (Τεχνολογία Μεμβρανών):** Ο διαχωρισμός γίνεται φιλτράροντας τα μόρια του υδρογόνου μέσω ειδικών μεμβρανών. Αυτή η μέθοδος είναι ενεργειακά αποδοτική και γρήγορη.
- **Απορρόφηση:** Στερεές επιφάνειες προσελκύουν συγκεκριμένα αέρια, επιτρέποντας το διαχωρισμό του υδρογόνου από άλλα αέρια.
- **Απορρόφηση (Absorption):** Χημικά διαλύματα βοηθούν στον καθαρισμό του υδρογόνου κρατώντας ορισμένα αέρια.
- **Απόσταξη:** Το υδρογόνο διαχωρίζεται εκμεταλλευόμενο τις διαφορές στους σημείο βρασμού των διαφόρων αερίων.

Χάρη σε αυτές τις μεθόδους, το υδρογόνο υψηλής καθαρότητας μπορεί να παραχθεί και να χρησιμοποιηθεί πιο αποδοτικά σε κυψέλες καυσίμου, βιομηχανικές διεργασίες και συστήματα ενέργειας.



How is hydrogen stored?



Εικόνα 130: Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί φυσικά ως αέριο ή υγρό, και υλικά μέσω χημικών δεσμών ή στερεών υδροξειδίων για αποδοτική και ασφαλή χρήση ενέργειας¹⁷⁴.

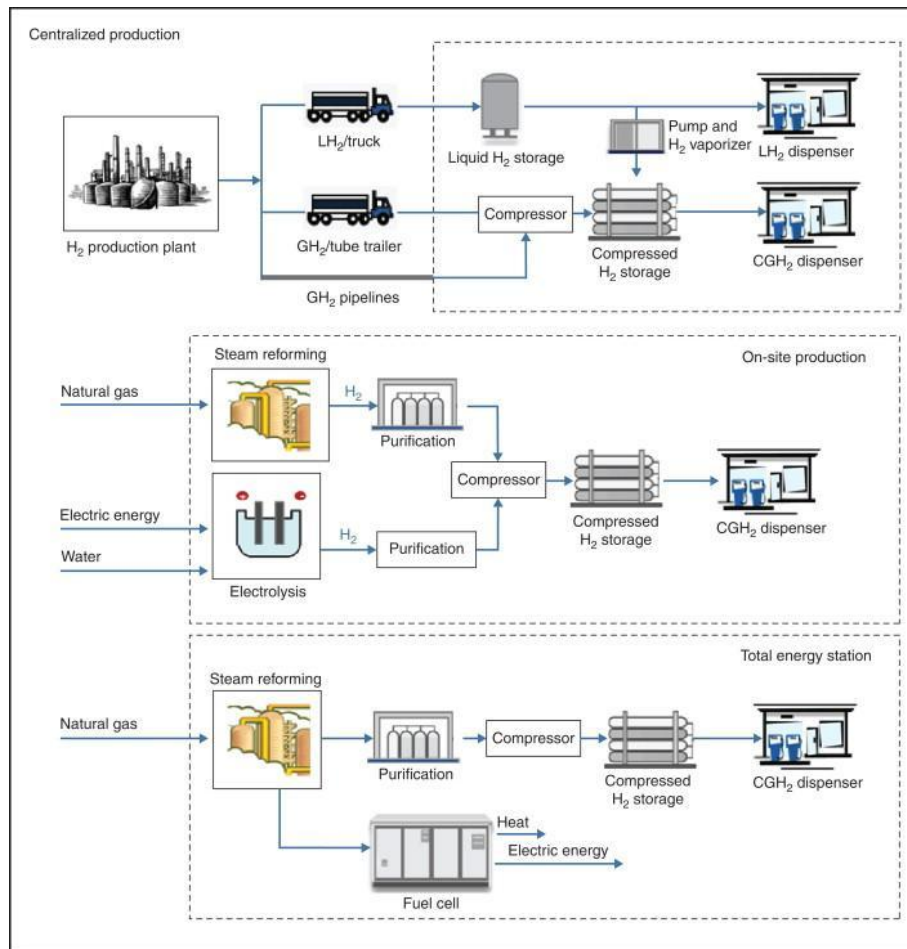
6.8.4. Αποθήκευση Υδρογόνου

Η αποδοτική αποθήκευση του υδρογόνου είναι πολύ σημαντική για τα βιώσιμα ενεργειακά συστήματα. Δεδομένου ότι το υδρογόνο είναι πολύ ελαφρύ και έχει χαμηλή πυκνότητα, έχουν αναπτυχθεί ειδικές τεχνικές για την αποθήκευση επαρκούς ποσότητας ενέργειας. Το υδρογόνο συνήθως αποθηκεύεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους¹⁷⁴:

1. **Αποθήκευση ως Αέριο:** Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί σε κυλίνδρους υψηλής πίεσης. Μεταλλικοί κάδοι ή ανθεκτικές δεξαμενές καλυμμένοι με ίνες γυαλιού εξασφαλίζουν την ασφαλή μεταφορά του υδρογόνου.
2. **Αποθήκευση ως Υγρό:** Το υδρογόνο ψύχεται στους -253°C για να γίνει υγρό. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει την αποθήκευση περισσότερου υδρογόνου σε μικρότερο όγκο, αλλά απαιτεί επιπλέον ενέργεια για να διατηρηθούν οι χαμηλές θερμοκρασίες.
3. **Χημική Αποθήκευση:** Μπορεί να αποθηκευτεί συνδέοντας το με χημικές ενώσεις όπως το υδρογόνο, αμμωνία ή βορικό υδρίδιο. Όταν είναι απαραίτητο, το αέριο υδρογόνο εξάγεται ξανά αποσυνδέοντας το από αυτές τις ενώσεις.

6.8.5. Μετάδοση και Κατανομή Υδρογόνου

Μόλις το υδρογόνο παραχθεί, πρέπει να παραδοθεί με ασφάλεια και αποδοτικότητα στο σημείο χρήσης. Για αυτό, χρησιμοποιούνται αγωγοί, βυτιοφόρα και ειδικά συστήματα μεταφοράς¹⁷⁵.



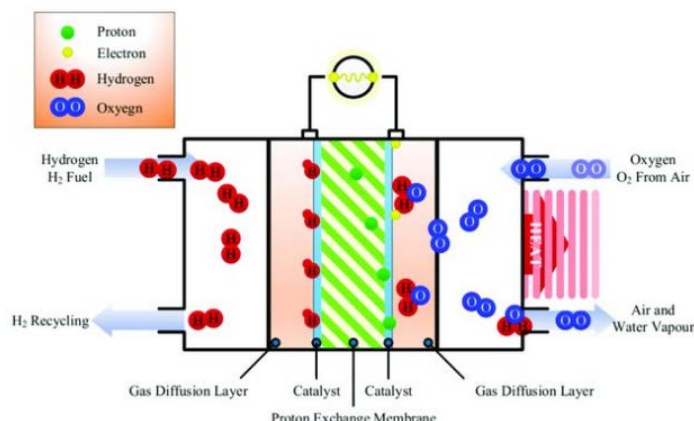
Εικόνα 131: Το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί κεντρικά ή επιτόπου, και στη συνέχεια να διανεμηθεί μέσω αγωγών, βυτιοφόρων ή διανομένων μετά από συμπίεση και αποθήκευση¹⁷⁵.

- **Μεταφορά μέσω Αγωγών:** Το υδρογόνο μπορεί να μεταφερθεί μέσω αγωγών απευθείας από τον τόπο παραγωγής στα σημεία κατανάλωσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι υπάρχοντες αγωγοί φυσικού αερίου μπορούν να προσαρμοστούν για τη μεταφορά υδρογόνου.
- **Μεταφορά μέσω Βυτιοφόρων:** Το υγροποιημένο υδρογόνο μπορεί να μεταφερθεί μέσω ειδικά μονωμένων βυτιοφόρων. Αυτή η μέθοδος διευκολύνει τη μεταφορά του υδρογόνου σε μεγάλες αποστάσεις.
- **Μεταφορά μέσω Χημικών Ενώσεων:** Το υδρογόνο μπορεί να μεταφερθεί με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα αποθηκευμένο σε ενώσεις όπως η αμμωνία ή το μεθανόλιο. Το υδρογόνο μπορεί στη συνέχεια να αποχωριστεί από αυτές τις ενώσεις.

Για να διασφαλιστεί η ευρεία χρήση του υδρογόνου, είναι σημαντικό να αυξηθεί ο αριθμός των σταθμών ανεφοδιασμού και να βελτιωθούν τα πρότυπα ασφαλείας. Η εξάπλωση των σημείων ανεφοδιασμού, ιδιαίτερα για τα οχήματα που χρησιμοποιούν υδρογόνο, θα συμβάλει στην ανάπτυξη της οικονομίας του υδρογόνου.

6.8.6. Κυψέλες Καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου παράγουν άμεσα ηλεκτρισμό ως αποτέλεσμα της ηλεκτροχημικής αντίδρασης του υδρογόνου και του οξυγόνου. Αυτό το σύστημα είναι το αντίθετο της ηλεκτρόλυσης του νερού για την παραγωγή υδρογόνου και οξυγόνου. Στις κυψέλες καυσίμου, το υδρογόνο χρησιμοποιείται ως καύσιμο, και μόνο νερό εκλύεται ως αποτέλεσμα της αντίδρασης. Επομένως, οι κυψέλες καυσίμου είναι μια φιλική προς το περιβάλλον και εξαιρετικά αποδοτική τεχνολογία παραγωγής ενέργειας¹⁷⁶. Μια κυψέλη καυσίμου αποτελείται βασικά από τρία κύρια εξαρτήματα:



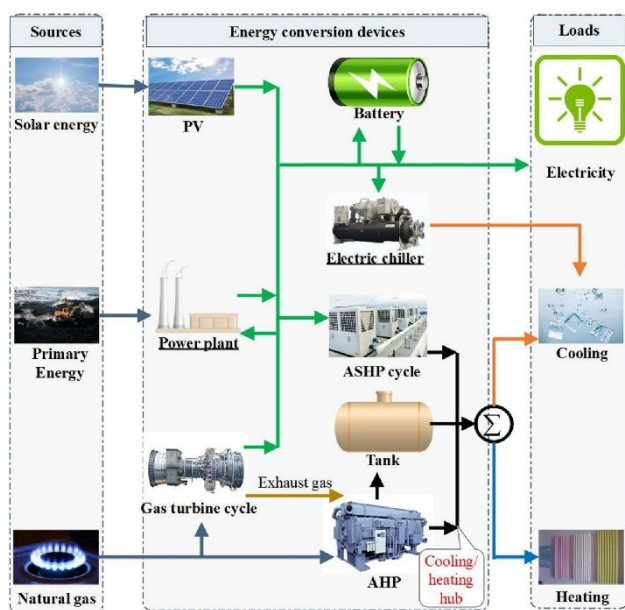
Εικόνα 132: Οι κυψέλες καυσίμου παράγουν ηλεκτρισμό μέσω της ηλεκτροχημικής αντίδρασης του υδρογόνου και του οξυγόνου, παράγοντας μόνο νερό ως υποπροϊόν¹⁷⁶.

- **Άνοδος (αρνητικός ηλεκτρόδιο):** Εδώ το υδρογόνο οξειδώνεται και διασπάται σε πρωτόνια και ηλεκτρόνια.
- **Καθόδος (θετικός ηλεκτρόδιο):** Εδώ το οξυγόνο συνδυάζεται με τα ηλεκτρόνια για να σχηματίσει νερό.
- **Ηλεκτρολύτης:** Επιτρέπει την κίνηση των πρωτονίων μεταξύ της ανόδου και της καθόδου. Τα ηλεκτρόνια που προκύπτουν από αυτή τη διαδικασία κινούνται στο εξωτερικό κύκλωμα και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να λειτουργούν αδιάκοπα όταν το υδρογόνο τροφοδοτείται συνεχώς.

Οι κυψέλες καυσίμου χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το υλικό του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται και τη θερμοκρασία λειτουργίας:

- **Κυψέλη Καυσίμου Πολυμερούς Ηλεκτρολύτη (PEMFC):** Λειτουργεί σε χαμηλή θερμοκρασία, κατάλληλη για φορητές συσκευές και οχήματα.
- **Αλκαλική Κυψέλη Καυσίμου (AFC):** Χρησιμοποιείται σε διαστημόπλοια, είναι εξαιρετικά αποδοτική.
- **Κυψέλη Καυσίμου Φωσφορικού Οξέος (PAFC):** Λειτουργεί σε μέτρια θερμοκρασία, κατάλληλη για παραγωγή μεγάλης κλίμακας ενέργειας.
- **Κυψέλη Καυσίμου Στερεού Οξειδίου (SOFC):** Λειτουργεί σε υψηλή θερμοκρασία, προτιμάται σε βιομηχανικές εφαρμογές.
- **Κυψέλη Καυσίμου Λειωμένου Ανθρακικού Αλατιού (MCFC):** Χρησιμοποιείται σε εργοστάσια παραγωγής ενέργειας που απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες.
- **Κυψέλη Καυσίμου Άμεσης Μεθανόλης (DMFC):** Χρησιμοποιεί υγρή μεθανόλη, κατάλληλη για φορητές ηλεκτρονικές συσκευές.
- **Κυψέλη Καυσίμου Ψευδαργύρου Αέρα (ZAFC):** Χρησιμοποιείται σε ελαφριά και φορητά ενεργειακά συστήματα.
- **Κυψέλη Καυσίμου Πρωτονίων Κεραμικής (PCFC):** Λειτουργεί αποδοτικά σε υψηλές θερμοκρασίες.

6.8.7. Τριγεννητική Παραγωγή (Ηλεκτρική Ενέργεια-Θερμότητα-Υδρογόνο)



Η τριγεννητική παραγωγή είναι μια ενεργειακή τεχνολογία που επιτρέπει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και ψύξης μέσα στο ίδιο σύστημα. Ενώ τα παραδοσιακά συστήματα συνδυασμένης παραγωγής (cogeneration) παράγουν μόνο ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα, τα συστήματα τριγεννητικής παραγωγής μπορούν επιπλέον να παράγουν ψύξη ή υδρογόνο¹⁷⁷.

Τα συστήματα τριγεννητικής παραγωγής που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προσφέρουν μεγάλα πλεονεκτήματα όσον αφορά την βιώσιμη παραγωγή ενέργειας. Για παράδειγμα:

Εικόνα 133: Τα συστήματα τριγεννητικής παραγωγής ενσωματώνουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και υδρογόνου, ενισχύοντας την ενεργειακή απόδοση μέσω ανανεώσιμων πηγών και έξυπνης διαχείρισης ενέργειας¹⁷⁷.

- **Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας:** Το σύστημα μπορεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννητριών, χρησιμοποιώντας υδρογόνο ή φυσικό αέριο ως καύσιμο.

- **Ανάκτηση θερμότητας:** Η απορριπτόμενη θερμότητα που παράγεται κατά τη διάρκεια της παραγωγής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να θερμάνει κτίρια ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

- **Παραγωγή υδρογόνου:** Η υπερβάλλουσα ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης του νερού. Αυτό το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.

Αυτά τα συστήματα βοηθούν στη μείωση των εκπομπών CO₂ ενώ αυξάνουν την ενεργειακή απόδοση. Η τεχνολογία τριγεννητικής παραγωγής, η οποία χρησιμοποιείται εκτενώς ειδικά σε μεγάλες εγκαταστάσεις, νοσοκομεία και βιομηχανικές επιχειρήσεις, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη δημιουργία μιας πιο βιώσιμης ενεργειακής υποδομής στο μέλλον.

7- Βιβλιογραφικές Αναφορές

1. Schobert HH. *Energy and society: An introduction*. Crc Press, 2002.
2. Strojny J, Krakowiak-Bal A, Knaga J, et al. Energy Security: A Conceptual Overview. *Energies*; 16. Epub ahead of print 2023. DOI: 10.3390/en16135042.
3. Zecca A, Chiari L. Fossil-fuel constraints on global warming. *Energy Policy* 2010; 38: 1–3.
4. Dogaru L. The main goals of the fourth industrial revolution. Renewable energy perspectives. *Procedia Manuf* 2020; 46: 397–401.
5. Böhringer C. The Kyoto Protocol: A review and perspectives. *Oxford Rev Econ Policy* 2003; 19: 451–466.
6. Bhattarai H. Renewable energy and energy storage systems. *Energy Convers Methods, Technol Futur Dir* 2022; 269–289.
7. Tsegaw GT. , A CRITICAL REVIEW Abhinav National Monthly Refereed Journal of Research Science & Technology ENERGY , ENTROPY AND EXERGY CONCEPTS : THERMODYNAMIC APPROACH , A CRITICAL REVIEW. 2018; 3: 3–17.
8. Pitts JB. Conservation of Energy: Missing Features in Its Nature and Justification and Why They Matter. *Found Sci* 2021; 26: 559–584.
9. Wahlund M, Palm J. The role of energy democracy and energy citizenship for participatory energy transitions: A comprehensive review. *Energy Res Soc Sci* 2022; 87: 102482.
10. Renewable energy sources. *Sustain* 2019; 11: 1–14.
11. Omer AM. Energy, environment and sustainable development. *Renew Sustain Energy Rev* 2008; 12: 2265–2300.
12. Wuebbles DJ, Jain AK. Concerns about climate change and the role of fossil fuel use. *Fuel Process Technol* 2001; 71: 99–119.
13. Brookfield H. ‘Sustainable Development’ and the Environment. *J Dev Stud* 1988; 25: 126–135.
14. Brown M. Innovative energy-efficiency policies: An international review. *Wiley Interdiscip Rev Energy Environ* 2015; 4: 1–25.
15. Zhang X, Han L, Wei H, et al. Linking urbanization and air quality together: A review and a perspective on the future sustainable urban development. *J Clean Prod* 2022; 346: 130988.
16. Adetomi Adewnm, Kehinde Andrew Olu-lawal, Chinelo Emilia Okoli, et al. Sustainable energy solutions and climate change: A policy review of emerging trends and global responses. *World J Adv Res Rev* 2023; 21: 408–420.
17. Johnson JMF, Franzluebbbers AJ, Weyers SL, et al. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environ Pollut* 2007; 150: 107–124.
18. Schwenkenbecher A. Is there an obligation to reduce one’s individual carbon footprint. *Crit Rev Int Soc Polit Philos* 2014; 17: 168–188.

19. Al-Ghussain L. c. *Environ Prog Sustain Energy* 2019; 38: 13–21.
20. Taylor FW. The greenhouse effect and climate change revisited. *Reports Prog Phys* 2002; 65: 1–25.
21. Azhar Khan M, Zahir Khan M, Zaman K, et al. Global estimates of energy consumption and greenhouse gas emissions. *Renew Sustain Energy Rev* 2014; 29: 336–344.
22. Akin SM, Martens P, Huynen MMTE. Climate change and infectious disease risk in western Europe: A survey of dutch expert opinion on adaptation responses and actors. *Int J Environ Res Public Health* 2015; 12: 9726–9749.
23. Uydur CC. *Impact of Indoor Lighting Installations on Carbon Footprint : Textile Factory Case Study*. 2024. Epub ahead of print 2024. DOI: 10.5281/zenodo.14011080.
24. Allegretti G, Montoya MA, Bertussi LAS, et al. When being renewable may not be enough: Typologies of trends in energy and carbon footprint towards sustainable development. *Renew Sustain Energy Rev* 2022; 168: 112860.
25. Abbasi T, Premalatha M, Abbasi SA. The return to renewables: Will it help in global warming control? *Renew Sustain Energy Rev* 2011; 15: 891–894.
26. Abas N, Kalair A, Khan N. Review of fossil fuels and future energy technologies. *Futures* 2015; 69: 31–49.
27. Khan MK, Raza M, Shahbaz M, et al. Recent advancement in energy storage technologies and their applications. *J Energy Storage* 2024; 92: 112112.
28. Neha, Rambeer J. Renewable Energy Sources: A Review. *J Phys Conf Ser*; 1979. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1979/1/012023.
29. Jyothi RK, De Melo LGTC, Santos RM, et al. An overview of thorium as a prospective natural resource for future energy. *Front Energy Res* 2023; 11: 1–13.
30. Smith P, Adams J, Beerling DJ, et al. Land-Management Options for Greenhouse Gas Removal and Their Impacts on Ecosystem Services and the Sustainable Development Goals. *Annu Rev Environ Resour* 2019; 44: 255–286.
31. Geophysics OF, Physics S. Pollutant Emission Estimates To Assume That It Will Continue To Change in the. 14.
32. Singh H, Bhardwaj N, Arya SK, et al. Environmental impacts of oil spills and their remediation by magnetic nanomaterials. *Environ Nanotechnology, Monit Manag* 2020; 14: 100305.
33. Moore CW, Zielinska B, Pétron G, et al. Air impacts of increased natural gas acquisition, processing, and use: A critical review. *Environ Sci Technol* 2014; 48: 8349–8359.
34. Rabilloud X. Prevented mortality and greenhouse gas emissions from historical and projected nuclear power. *Environ Sci Technol* 2013; 47: 13896–13899.
35. Rashad SM, Hammad FH. Nuclear power and the environment: Comparative assessment of environmental and health impacts of electricity-generating systems. *Appl Energy* 2000; 65: 211–229.

36. Sharma SB, Jain S, Khirwadkar P, et al. The Effects of Air Pollution on the Environment and Human Health. *Indian J Res Pharm Biotechnol* 2013; 1: 391–396.
37. Masood N, Hudson Edwards K, Farooqi A. True cost of coal: Coal mining industry and its associated environmental impacts on water resource development. *J Sustain Min* 2020; 19: 135–149.
38. Ivanova S, Vesnina A, Fotina N, et al. An Overview of Carbon Footprint of Coal Mining to Curtail Greenhouse Gas Emissions. *Sustain* 2022; 14: 1–22.
39. Deng D, Zhang L, Dong M, et al. Radioactive waste: A review. *Water Environ Res* 2020; 92: 1818–1825.
40. World - IEA, <https://www.iea.org/world> (2025).
41. Potrč S, Čuček L, Martin M, et al. Sustainable renewable energy supply networks optimization – The gradual transition to a renewable energy system within the European Union by 2050. *Renew Sustain Energy Rev*; 146. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111186.
42. Europe – Countries & Regions - IEA, <https://www.iea.org/regions> (2025).
43. Biomass can heat, cool, power, and transport the EU-28 for 45 days, <https://bioenergyinternational.com/biomass-can-heat-cool-power-and-transport-the-eu-28-for-45-days/> (2019).
44. Costantini V, Gracceva F, Markandya A, et al. Security of energy supply: Comparing scenarios from a European perspective. *Energy Policy* 2007; 35: 210–226.
45. Adewuyi AO, Awodumi OB. Renewable and non-renewable energy-growth-emissions linkages: Review of emerging trends with policy implications. *Renew Sustain Energy Rev* 2017; 69: 275–291.
46. FURUNCU Y. Türkiye'nin Enerji Bağımlılığı ve Akkuyu Nükleer Enerji Santrali. *Cumhur Sci J* 2016; 37: 198.
47. Panagopoulou F. Renewable energy sources in Greece : potential, opportunities and challenges.
48. Seminario-Córdova R, Rojas-Ortega R. Renewable Energy Sources and Energy Production: A Bibliometric Analysis of the Last Five Years. *Sustain*; 15. Epub ahead of print 2023. DOI: 10.3390/su151310499.
49. Ramos PN. *Ficha Técnica*. 2024. Epub ahead of print 2024. DOI: 10.59072/rper.vi28.329.
50. Mijakovski V, Mijakovski N. Review of current position and perspectives of renewable energy in the Republic of Macedonia with focus on electricity production. *Renew Sustain Energy Rev* 2011; 15: 5068–5080.
51. Dincer I. Renewable energy and sustainable development: A crucial review. *Renew Sustain energy Rev* 2000; 4: 157–175.
52. Deshmukh MKG, Sameeroddin M, Abdul D, et al. Renewable energy in the 21st century: A review. *Mater Today Proc* 2023; 80: 1756–1759.
53. Krūmiņš J, Kļaviņš M. Investigating the Potential of Nuclear Energy in Achieving a

- Carbon-Free Energy Future. *Energies*; 16. Epub ahead of print 2023. DOI: 10.3390/en16093612.
54. 30% of the world's electricity came from renewable sources in 2023. *Our World in Data.*, <https://ourworldindata.org/data-insights/renewable-electricity-2023>.
 55. Solar - IEA. (n.d.). IEA., <https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv>.
 56. Fossil fuels still dominate global power systems, <https://www.reuters.com/markets/commodities/fossil-fuels-still-dominate-global-power-systems-2023-11-30/> (2023).
 57. Hongler P. Justice in International Tax Law. 2019; 2019.
 58. Maka AOM, Alabid JM. Solar energy technology and its roles in sustainable development. *Clean Energy* 2022; 6: 476–483.
 59. Klise GT, Stein JS. Models used to assess the performance of photovoltaic systems. *Sandia Natl Lab* 2009; 1–67.
 60. *Absorption / reflection of sunlight - Understanding Global Change*, <https://ugc.berkeley.edu/background-content/reflection-absorption-sunlight/> (2025).
 61. Kataray T, Nitesh B, Yarram B, et al. Integration of smart grid with renewable energy sources: Opportunities and challenges – A comprehensive review. *Sustain Energy Technol Assessments* 2023; 58: 103363.
 62. Stocks M, Stocks R, Lu B, et al. Global Atlas of Closed-Loop Pumped Hydro Energy Storage. *Joule* 2021; 5: 270–284.
 63. Wermager S, Baur S. Energy analysis of a student-designed solar house. *Energies* 2013; 6: 6373–6390.
 64. SOLAR ENERGY. *İLBANK*, <https://www.ilbank.gov.tr/sayfa/solar-energy> (2025).
 65. Wiatros-Motyka M, Fulghum N, Jones D, et al. Global Electricity Review 2024 - Ember Climate. 2024; 20–35.
 66. Greece installs 2.6 GW of PV capacity in 2024. *pv magazine International*, <https://www.pv-magazine.com/2025/02/05/greece-installs-2-6-gw-of-pv-capacity-in-2024/> (2025).
 67. JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission, https://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis_tools/en/ (2025).
 68. APREN - Home, <https://www.apren.pt/en/renewable-energys/> (2025).
 69. DGEG, <https://www.dgeg.gov.pt/> (2025).
 70. North Macedonia puts its biggest solar power plant into operation. *Balkan Green Energy News*, <https://balkangreenenergynews.com/north-macedonia-puts-its-biggest-solar-power-plant-into-operation/> (2025).
 71. A Renewable Energy Future in North Macedonia: A Blueprint for Accelerating a Just Transition. *The Nature Conservancy*, <https://www.nature.org/en-us/about-us/where-we-work/europe/stories-in-europe/siting-renewable-energy-north-macedonia/> (2025).
 72. Miškić J, Pukšec T, Duić N. A view of recent advances in the field of sustainability:

- overview dedicated to 2022 SDEWES conferences. *Clean Technol Environ Policy* 2024; 26: 1–9.
73. Majeed Y, Khan MU, Waseem M, et al. Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture. *Energy Reports* 2023; 10: 344–359.
 74. Soroush M, Hajimolana Y. Sunlight harvesting. *Comput Chem Eng* 2023; 170: 108103.
 75. Sadhu M, Chakraborty S, Das N, et al. Role of Solar Power in Sustainable Development of India. *Int J Appl Power Eng* 2016; 5: 103.
 76. Ravi Kumar K, Krishna Chaitanya NVV, Sendhil Kumar N. Solar thermal energy technologies and its applications for process heating and power generation – A review. *J Clean Prod* 2021; 282: 125296.
 77. Elsarrag E, Igobo ON, Alhorr Y, et al. Solar pond powered liquid desiccant evaporative cooling. *Renew Sustain Energy Rev* 2016; 58: 124–140.
 78. Ahmed MH. Design and Testing of Heating and Cooling System Working by Solar Energy and Heat Exchanger. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.17729.84323.
 79. Solar Energy - Types, Working Principles and Block Diagram - GeeksforGeeks, <https://www.geeksforgeeks.org/solar-energy/> (2024).
 80. Toroxel JL, Silva SM. A Review of Passive Solar Heating and Cooling Technologies Based on Bioclimatic and Vernacular Architecture. *Energies* 2024; 17: 1–28.
 81. Dabiri S, Rahimi MF. Introduction of solar collectors and energy and exergy analysis of a heliostat plant The 3rd International Conference and Exhibition on Solar Energy Basic introduction of solar collectors and energy and exergy analysis of a heliostat plant, <https://www.researchgate.net/publication/318360867> (2016).
 82. Omeiza LA, Abid M, Subramanian Y, et al. Challenges, limitations, and applications of nanofluids in solar thermal collectors—a comprehensive review. *Environ Sci Pollut Res*. Epub ahead of print 2023. DOI: 10.1007/s11356-023-30656-9.
 83. Muliadi M, Sara ID, Suriadi S. The effect of bypass diode installation on partially covered solar panel output power. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 2021; 1087: 012077.
 84. Hao D, Qi L, Tairab AM, et al. Solar energy harvesting technologies for PV self-powered applications: A comprehensive review. *Renew Energy* 2022; 188: 678–697.
 85. Sabry AH, Ker PJ. Improvement on energy consumption of a refrigerator within PV system including battery storage. *Energy Reports* 2021; 7: 430–438.
 86. Dorel S, Gmal Osman M, Strejoiu CV, et al. Exploring Optimal Charging Strategies for Off-Grid Solar Photovoltaic Systems: A Comparative Study on Battery Storage Techniques. *Batteries*; 9. Epub ahead of print 2023. DOI: 10.3390/batteries9090470.
 87. Gulzar MM, Iqbal A, Sibtain D, et al. An Innovative Converterless Solar PV Control Strategy for a Grid Connected Hybrid PV/Wind/Fuel-Cell System Coupled With Battery Energy Storage. *IEEE Access* 2023; 11: 23245–23259.
 88. Solak EK, Irmak E. Advances in organic photovoltaic cells: a comprehensive review of materials, technologies, and performance. *RSC Adv* 2023; 13: 12244–12269.

89. Satpathy R, Pamuru V. Making of crystalline silicon solar cells. *Sol PV Power* 2021; 71–134.
90. Cevasco D, Koukoura S, Kolios AJ. Reliability, availability, maintainability data review for the identification of trends in offshore wind energy applications. *Renew Sustain Energy Rev* 2021; 136: 110414.
91. Arivukkodi G. NATIONAL INSTITUTE OF WIND ENERGY (An Autonomous R & D institution under the Ministry of New & Renewable Energy , Government of India). An internship report On Submitted By.
92. For the first time, wind power in Greece exceeded 5 GW! - WattCrop, <https://wattcrop.com/for-the-first-time-wind-power-in-greece/> (2025).
93. Christodoulou T, Thomaidis NS, Kartsios S, et al. Managing the Intermittency of Wind Energy Generation in Greece. *Energies* 2024; 17: 1–32.
94. October I, Pedro F, Jorge A. October : Wind power accounts for almost 40 % of the energy produced in Portugal. 2024; 2023–2024.
95. A Renewable Energy Future in North Macedonia: A Blueprint for Accelerating a Just Transition.
96. Stojcheska AM, Cyril S, Chukaliev O, et al. CLIMATE CHANGE ADAPTATION IN AGRICULTURE – STATUS AND PROSPECTS IN WESTERN BALKAN ECONOMIES , VOLUME II : ECONOMIES ' CLIMATE CHANGE ADAPTATION IN AGRICULTURE – STATUS AND PROSPECTS IN WESTERN BALKAN ECONOMIES VOLUME II : ECONOMIES ' REPORTS. II. Epub ahead of print 2024. DOI: 10.13140/RG.2.2.29111.64165.
97. Justice G, Nyantakyi G, Isaac SH. The effect of renewable energy on carbon emissions through globalization. *Heliyon* 2024; 10: e26894.
98. Semassou GC, Prodjinonto V, Chegnimonhan V, et al. Dimensioning of a Water Pumping System by the Systematic Scanning Method. *Curr J Appl Sci Technol* 2018; 29: 1–15.
99. Bošnjakovi M. Wind Turbine Technology Trends Mladen. *Early Writings on India* 2018; 124–134.
100. Asim T, Islam SZ, Hemmati A, et al. A Review of Recent Advancements in Offshore Wind Turbine Technology. *Energies*; 15. Epub ahead of print 2022. DOI: 10.3390/en15020579.
101. Kumar GBA, Shivashankar. Optimal power point tracking of solar and wind energy in a hybrid wind solar energy system. *Int J Energy Environ Eng* 2022; 13: 77–103.
102. Parvez I, Shen J, Hassan I, et al. Generation of hydro energy by using data mining algorithm for cascaded hydropower plant. *Energies* 2021; 14: 1–28.
103. Radovic A. What ' s Happening in the World of CVN ? 1–28.
104. Atat MK, Ar C, Kelimeler A. CUMHURİYETİN İLK BARAJI : ÇUBUK BARAJI THE FIRST DAM OF TURKISH REPUBLIC : ÇUBUK DAM Ankara ' nın Su İhtiyacı. 2016; 87–110.
105. Farmaki P, Tranoulidis A, Kouletsos T, et al. Mining transition and hydropower energy

- in greece—sustainable governance of water resources management in a post-lignite era: The case of western Macedonia, Greece. *Water (Switzerland)*; 13. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.3390/w13141878.
106. Producers, distributors and operators | Macedonia Small Hydro Power Project, <https://shpp.moepp.gov.mk/370/producers-distributors-and-operators> (2025).
 107. Bilgili F, Lorente DB, Kuşkaya S, et al. The role of hydropower energy in the level of CO₂ emissions: An application of continuous wavelet transform. *Renew Energy* 2021; 178: 283–294.
 108. Barriers to Next-Gen Geothermal | IFP, <https://ifp.org/hot-rocks-part-three-barriers-to-next-gen-geothermal/> (2025).
 109. Geothermal Energy: What it is, Types & More | AGIC ENERGY, <https://agicenergy.com/geothermal-energy-what-it-is-types-more/> (2025).
 110. Igwe CI. Geothermal Energy: A Review. *Int J Eng Res Technol* 2021; 10: 655–661.
 111. Koçak Ali. TÜRKİYE’DE JEOTERMAL ENERJİ ARAMALARI ve POTANSİYELİ. 2003; 217–233.
 112. Varvitsioti E, Tsifoutidis G. A Regulatory Roadmap to the Past, Present and Future of Geothermal Energy in Greece. 2021; 10.
 113. Zafeiropoulos GN. FACULTY OF GEOLOGY AND GEOENVIRONMENT The importance of Geoenvironmental Education in understanding Geological Heritage and promoting Geoethical Awareness : Development and Implementation of an innovative assessment method , with a case study of the South.
 114. Pitzer MR, Plasil MR, Schrey DS. Potential of Renewable Energy in the Countries : Bosnia and Herzegovina , FYR Macedonia , Kosovo and Serbia A Master ’ s Thesis submitted for the degree of supervised by.
 115. Chingoski V, Petrevska B. GEOTHERMAL RESOURCES: NEW INSIGHTS FOR SPA TOURISM IN NORTH MACEDONIA. 2021; 127–135.
 116. Idroes GM, Hardi I, Hilal IS, et al. Economic growth and environmental impact: Assessing the role of geothermal energy in developing and developed countries. *Innov Green Dev* 2024; 3: 100144.
 117. Jeotermal Rising, jeotermal ısı pompalarına genel bakış, <https://www.jeotermalhaberler.com/jeotermal-rising-jeotermal-isi-pompalarina-genel-bakis/> (2025).
 118. Sharmin T, Khan NR, Akram MS, et al. A State-of-the-Art Review on Geothermal Energy Extraction, Utilization, and Improvement Strategies: Conventional, Hybridized, and Enhanced Geothermal Systems. *Int J Thermofluids* 2023; 18: 100323.
 119. Zhang S, Ocloń P, Klemeš JJ, et al. Renewable energy systems for building heating, cooling and electricity production with thermal energy storage. *Renew Sustain Energy Rev*; 165. Epub ahead of print 2022. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112560.
 120. What is Geothermal? | Geothermal | Energy | Environment and Climate Change | Province of Manitoba, https://www.gov.mb.ca/sd/environment_and_biodiversity/energy/geothermal/geo.html (2025).

121. Gao B, Zhu X, Yang X, et al. Operation performance test and energy efficiency analysis of ground-source heat pump systems. *J Build Eng* 2021; 41: 1–11.
122. Chiriboga G, Capelo S, Bunces P, et al. Harnessing of geothermal energy for a greenhouse in Ecuador employing a heat pump: design, construction, and feasibility assessment. *Heliyon*; 7. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e08608.
123. Hafner M, Raimondi PP. *Energy and the Economy in Europe*. 2022. Epub ahead of print 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-86884-0_36.
124. Tsamenyi M, Herriman M. Ocean energy and the law of the sea: The need for a protocol. *Ocean Dev Int Law* 1998; 29: 3–19.
125. Innovation Archives, https://www.offshore-energy.biz/markets/marine-energy/page/20/?fwp_topic=infrastructure&topic=innovation (2025).
126. Foteinis S. Wave energy converters in low energy seas: Current state and opportunities. *Renew Sustain Energy Rev* 2022; 162: 112448.
127. Sihwa Lake Tidal Power Station - Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Sihwa_Lake_Tidal_Power_Station#:~:text=Sihwa Lake Tidal Power Station is the world's largest tidal,the Korea Water Resources Corporation. \(2009\).](https://en.wikipedia.org/wiki/Sihwa_Lake_Tidal_Power_Station#:~:text=Sihwa Lake Tidal Power Station is the world's largest tidal,the Korea Water Resources Corporation. (2009).)
128. Türkiye Denizüstü Rüzgar Enerjisi Yol Haritası: Yeşil Enerji Geleceğine Giden Yolda Seyretmek, <https://www.worldbank.org/tr/news/press-release/2024/11/07/offshore-wind-roadmap-for-turkiye-navigating-pathways-to-a-green-power-future> (2024).
129. Charles Rajesh Kumar J, Vinod Kumar D, Baskar D, et al. Offshore wind energy status, challenges, opportunities, environmental impacts, occupational health, and safety management in India. *Energy Environ* 2021; 32: 565–603.
130. Vezzani G. Effects of climate change on power supply Long-term analysis for the Portuguese study case Gabriele Vezzani Thesis to obtain the Master of Science Degree in : Energy engineering and management Patricia Fortes Chairperson : Supervisor : Members of the comm.
131. Mezilis E. The impact of Marine and Offshore Renewable Energy on the European Energy System Evolution The impact of Marine Renewable Energy on the European Energy System Evolution.
132. Banerjee S. Theoretical design for ascertaining sustainability of energy systems with special reference to the competing renewable energy schemes. *Resour Environ Sustain* 2022; 7: 100048.
133. Guo B, Ringwood J V. A review of wave energy technology from a research and commercial perspective. *IET Renew Power Gener* 2021; 15: 3065–3090.
134. Kaygusuz E, Ali S. WAVE ENERGY : A GLOBAL OVERVIEW OF THE CURRENT STATE OF CİSET - 2 nd Cilicia International Symposium on Engineering and Technology 10-12 October , 2019 , Mersin / TÜRKİYE WAVE ENERGY : A GLOBAL OVERVIEW OF THE CURRENT STATE OF.
135. Cui Y, Liu Z, Zhang X, et al. Review of CFD studies on axial-flow self-rectifying turbines for OWC wave energy conversion. *Ocean Eng* 2019; 175: 80–102.

136. Yakout AH, Attia MA, Kotb H. Marine Predator Algorithm based Cascaded PIDA Load Frequency Controller for Electric Power Systems with Wave Energy Conversion Systems. *Alexandria Eng J* 2021; 60: 4213–4222.
137. Chowdhury MS, Rahman KS, Selvanathan V, et al. Current trends and prospects of tidal energy technology. *Environ Dev Sustain* 2021; 23: 8179–8194.
138. Gelgit Enerjisi, <https://www.baretdergisi.com/yazarlar/semih-calapkulu/gelgit-enerjisi/96/>.
139. Ocean, Wave and Tidal Energy | Electricalvoice, <https://electricalvoice.com/ocean-energy-wave-tidal-energy-otec/> (2025).
140. Herrera J, Sierra S, Ibeas A. Ocean thermal energy conversion and other uses of deep sea water: A review. *J Mar Sci Eng*; 9. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.3390/jmse9040356.
141. Mwangi JW. Broad Spectrum Biogas System As a Potential Catalyst for Environmental Biomass Waste Mop Out and Climate Change Mitigation Strategy in Narok County.
142. Hameed Z, Aslam M, Khan Z, et al. Gasification of municipal solid waste blends with biomass for energy production and resources recovery: Current status, hybrid technologies and innovative prospects. *Renew Sustain Energy Rev* 2021; 136: 110375.
143. Woods E, Berrio VR, Qiu Y, et al. Biomass composting with gaseous carbon dioxide capture. *RSC Sustain* 2024; 2: 621–625.
144. BIS Releases Biofuel Production, Distribution and Usage Standards, <https://mysuruinfrahub.com/bis-releases-biofuel-production-distribution-and-usage-standards/> (2025).
145. Khan MAH, Bonifacio S, Clowes J, et al. Investigation of biofuel as a potential renewable energy source. *Atmosphere (Basel)*; 12. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.3390/atmos12101289.
146. Mofijur M, Siddiki SYA, Shuvho MBA, et al. Effect of nanocatalysts on the transesterification reaction of first, second and third generation biodiesel sources- A mini-review. *Chemosphere*; 270. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128642.
147. Khoshnevisan B, Duan N, Tsapekos P, et al. A critical review on livestock manure biorefinery technologies: Sustainability, challenges, and future perspectives. *Renew Sustain Energy Rev* 2021; 135: 110033.
148. Scion - Biorefinery technology, <https://www.scionresearch.com/about-us/about-scion/corporate-publications/scion-connections/past-issues-list/issue-6/biorefinery-technology> (2025).
149. Ambaye TG, Vaccari M, Bonilla-Petriciolet A, et al. Emerging technologies for biofuel production: A critical review on recent progress, challenges and perspectives. *J Environ Manage*; 290. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112627.
150. Türkiye elektrik kurulu gücü 115 bin 353 MW’a ulaştı, <https://www.enerjigunlugu.net/2024te-turkiyenin-kurulu-gucu-yuzde-4-artti->

61712h.htm (2025).

151. Tatoulis P. Feasibility study of a novel system for the production of advanced biofuels in Greece: Thermodynamic and technoeconomic assessment.
152. Markov SI. The Use of Liquefied Petroleum Gas (LPG) in the Republic of North Macedonia as a Sustainable Alternative Fuel: Regulation, Condition and Market Participants. *Conf Proc (part ITEMA Conf Collect* 2021; 203–213.
153. Moreira PJP. Shipping and sustainability liquefied natural gas as an alternative fuel: evidence from Portugal. Epub ahead of print 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.35650.22724.
154. Ali S, Yan Q, Razzaq A, et al. Modeling factors of biogas technology adoption: a roadmap towards environmental sustainability and green revolution. *Environ Sci Pollut Res* 2023; 30: 11838–11860.
155. Devi A, Bajar S, Kour H, et al. Lignocellulosic Biomass Valorization for Bioethanol Production: a Circular Bioeconomy Approach. *Bioenergy Res* 2022; 15: 1820–1841.
156. Alhassan AG, Mshelia RB, Yusuf R. Review of the use of bioethanol as alternative fuel for internal combustion engines. *Acta Tech Corviniensis - Bull Eng* 2021; 14: 139–144.
157. Sarkar N, Ghosh SK, Bannerjee S, et al. Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. *Renew Energy* 2012; 37: 19–27.
158. Mittal V, Lim E. Aligning Advances in Biodiesel Technology with the Needs of the Defense Community. *Eng* 2024; 5: 2709–2727.
159. Bashir MA, Wu S, Zhu J, et al. Recent development of advanced processing technologies for biodiesel production: A critical review. *Fuel Process Technol* 2022; 227: 107120.
160. Vilas Bôas RN, Mendes MF. A review of biodiesel production from non-edible raw materials using the transesterification process with a focus on influence of feedstock composition and free fatty acids. *J Chil Chem Soc* 2022; 67: 5433-5444.
161. Suzihaque MUH, Alwi H, Kalthum Ibrahim U, et al. Biodiesel production from waste cooking oil: A brief review. *Mater Today Proc* 2022; 63: S490–S495.
162. How it works: Biodiesel production - PT Sinar Mas Agro Resources and Technology Tbk (PT SMART Tbk), <https://www.smart-tbk.com/en/cara-kerja-produksi-biodiesel/> (2025).
163. Abdelrahman AA, Abo El-Khair MA. Advanced Biodiesel Production: Feedstocks, Technologies, Catalysts, Challenges, and Environmental Impacts. *J Environ Chem Eng* 2025; 13: 114966.
164. Hydrogen Energy- Energy Of The Future?, <https://www.storm-procurement.com/news-old/hydrogen-energy> (2025).
165. Najjar YSH. Hydrogen safety: The road toward green technology. *Int J Hydrogen Energy* 2013; 38: 10716–10728.
166. Xu X, Zhou Q, Yu D. The future of hydrogen energy: Bio-hydrogen production technology. *Int J Hydrogen Energy* 2022; 47: 33677–33698.

167. Autothermal Reformer (ATR) Market Size Estimations: 2022, Development Trends, Technology Advancements and Future Challenges | Air Liquide Engineering & Construction, <https://www.openpr.com/news/2685742/autothermal-reformer-atr-market-size-estimations-2022> (2025).
168. Biomass Gasification: A Circular Economy Enabler for Hydrogen Production, <https://wri-india.org/pt/blog/biomass-gasification-circular-economy-enabler-hydrogen-production> (2025).
169. Singh S, Pandey G, Rath GK, et al. Life cycle assessment of biomass-based hydrogen production technologies: A review. *Int J Green Energy* 2023; 00: 1–16.
170. Varsha M V., Nageswaran G. Operando X-Ray Spectroscopic Techniques: A Focus on Hydrogen and Oxygen Evolution Reactions. *Front Chem*; 8. Epub ahead of print 2020. DOI: 10.3389/fchem.2020.00023.
171. Hydrogen Produced from Methane Pyrolysis: Key Considerations for Investors, <https://www.third-derivative.org/blog/hydrogen-produced-from-methane-pyrolysis-key-considerations-for-investors> (2024).
172. Abbas MK, Hassan Q, Tabar VS, et al. Techno-economic analysis for clean hydrogen production using solar energy under varied climate conditions. *Int J Hydrogen Energy* 2023; 48: 2929–2948.
173. Dehdari L, Burgers I, Xiao P, et al. Purification of hydrogen from natural gas/hydrogen pipeline mixtures. *Sep Purif Technol* 2022; 282: 120094.
174. Hwang J, Maharjan K, Cho HJ. A review of hydrogen utilization in power generation and transportation sectors: Achievements and future challenges. *Int J Hydrogen Energy* 2023; 48: 28629–28648.
175. Ural T, Karaca G. Hydrogen Economy. *J Glob Eng Stud e-ISSN* 2016; 3: 145–154.
176. Li J, Yu T. Sensors integrated control of PEMFC gas supply system based on large-scale deep reinforcement learning. *Sensors (Switzerland)* 2021; 21: 1–19.
177. Chen Y, Xu Z, Wang J, et al. Multi-objective optimization of an integrated energy system against energy, supply-demand matching and exergo-environmental cost over the whole life-cycle. *Energy Convers Manag* 2022; 254: 115203.