

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ Α.Π.Ε. ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΟΣΙΜΟΥ ΝΕΡΟΥ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: 1) ΑΒΡΑΜΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ
2) ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: 1) ΓΙΑΝΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
2) ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΑΥΡΙΔΗΣ

ΠΑΤΡΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2014

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στην χρήση τεχνικών ΑΠΕ και άλλων για τον καθαρισμό του υφάλμυρου και αλμυρού νερού και σαν αποτέλεσμα να ληφθεί πόσιμο νερό.

Στην αρχή μελετάται το θέμα της ελλείψεως νερού και της ανεπάρκειας του πόσιμου νερού ανά τον κόσμο και οι δυνατότητες που υπάρχουν σχετικά με τις διατιθέμενες τεχνολογικές λύσεις από ΑΠΕ για την παροχή ενέργειας σε συστήματα αφαλάτωσης.

Στην συνέχεια γίνεται ανάλυση των διατιθέμενων ΑΠΕ (αιολική, γεωθερμική) και παρουσιάζονται αναλυτικά διαφορετικές τεχνικές λύσεις ανά τον κόσμο και δυνατότητες που υπάρχουν για μελλοντικές βελτιώσεις, καθώς επίσης γίνεται αναφορά και στα οικονομικά στοιχεία αρκετών τέτοιων συστημάτων.

Ευχαριστούμε θερμά τους Επιβλέποντες Καθηγητές μας κ. Κωνσταντίνο Μαυρίδη, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας, και τον Συνεργάτη του Τμήματος Μηχανολογίας κ. Ιωάννη Γιαννάκη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφεραν για την πραγματοποίηση της εργασίας.

Γεωργακόπουλος Ιωάννης
Αβραμοπούλου Μαρία

Φεβρουάριος 2014

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στην χρήση τεχνικών ΑΠΕ και άλλων για τον καθαρισμό του υφάλμυρου και αλμυρού νερού και σαν αποτέλεσμα να ληφθεί πόσιμο νερό.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε τρία Κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θέμα της ελλείψεως νερού και της ανεπάρκειας του πόσιμου νερού ανά τον κόσμο, επίσης η ανάγκη για παροχή ενέργειας σε κάθε σύστημα επεξεργασίας νερού. Επίσης παρουσιάζονται συνοπτικά οι διατιθέμενες τεχνολογίες ΑΠΕ και μέθοδοι φυσικοί και χημικοί σχετικά με τον αφαλάτωση νερών (υφάλμυρων και αλμυρών)

Στο δεύτερο Κεφάλαιο αναλύεται η χρήση της αιολικής ενέργειας για την παροχή ενέργειας σε συστήματα αφαλάτωσης νερού και οι διατιθέμενες τεχνικές λύσεις σχετικά με τη σύνδεση συστημάτων αιολικής ενέργειας με εγκαταστάσεις αφαλάτωσης νερού.

Στο τρίτο Κεφάλαιο αναλύεται η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για την αφαλάτωση του νερού και παρουσιάζονται οι τεχνολογίες μεμβρανών και υβριδικές τεχνολογίες για την αφαλάτωση του νερού.

Επίσης παρουσιάζονται αναλυτικά διαφορετικές τεχνικές λύσεις ανά τον κόσμο και δυνατότητες που υπάρχουν για μελλοντικές βελτιώσεις, καθώς επίσης γίνεται αναφορά και στα οικονομικά στοιχεία αρκετών τέτοιων συστημάτων.

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΤΙΤΛΟΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ	ΣΕΛΙΔΑ
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : Έλλειψη πόσιμου νερού και Α.Π.Ε.	5
1.1 Εισαγωγή	5
1.2 Το πρόβλημα του νερού	6
1.3 Το πρόβλημα ενέργειας	11
1.4 Επισκόπηση τεχνολογιών βασισμένων σε Α.Π.Ε. για παραγωγή πόσιμου νερού	14
1.4.1 Βιώσιμες λύσεις πόσιμου νερού μέσω επεξεργασίας λυμάτων και επαναχρησιμοποίησης μέσω ΑΠΕ.	15
1.4.2 Βιώσιμες λύσεις πόσιμου νερού μέσω της αφαλάτωσης από ηλιακή και αιολική ενέργεια.	17
1.4.3 Γεωθερμικές πηγές για αφαλάτωση	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : Τεχνολογίες αιολικής ενέργειας για παραγωγή πόσιμου νερού	29
2.1 Εισαγωγή	29
2.2 Τεχνολογία αιολικής ενέργειας	30
2.3 Αιολική ενέργεια για παραγωγή πόσιμου νερού	34
2.3.1 Αιολικά συστήματα αντίστροφης ώσμωσης	35
2.3.2 Συστήματα συμπίεσης ατμού ανέμου	49
2.3.3 Συστήματα ηλεκτροδιάλυσης ανέμου	54
2.4 Αγορά μονάδων αφαλάτωσης με αιολική ενέργεια.	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : Επεξεργασία νερού με γεωθερμική ενέργεια-τεχνολογίες αφαλάτωσης μεμβρανών και υβριδικές.	57
3.1 Εισαγωγή	57
3.2 Τεχνολογίες μεμβρανών	58
3.2.1 Τύποι διαδικασιών μεμβράνης	60
3.3 Υβριδικές διαδικασίες αφαλάτωσης	65

3.4 Γενικό πλαίσιο για αφαλάτωση γεωθερμικού νερού	68
3.4.1 Παρουσία και ποιότητα γεωθερμικών νερών	69
3.4.2 Επιλογή των τεχνολογιών αφαλάτωσης	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Έλλειψη πόσιμου νερού και Α.Π.Ε.

1.1 Εισαγωγή

Η πρόσβαση στο νερό σε ικανοποιητική ποσότητα και ποιότητα είναι κρίσιμη για την ανθρώπινη ανάπτυξη. Όμως, οι πηγές πόσιμου νερού αντιμετωπίζουν αυξημένη πίεση λόγω της μόλυνσης και της υπερεκμετάλλευσης του. Η συνεχής αυξανόμενη ζήτηση απαιτεί όλο και περισσότερες πηγές νερού οι οποίες δεν είναι κατάλληλες για πόση, άρδευση ή άλλες χρήσεις χωρίς προηγούμενη επεξεργασία. Η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού ή του ορυκτού υπόγειου νερού και η επεξεργασία του νερού που περιέχει ανεπιθύμητα στοιχεία όπως αρσενικό ή άλλες τοξίνες είναι μερικά παραδείγματα. Το δημόσιο και το βιομηχανικό υπολειπόμενο νερό, μετά την επεξεργασία, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σαν πηγή πόσιμου νερού ή σαν τεχνητή επαναφόρτιση υπόγειων υδάτων. Τέτοιες επεξεργασίες συχνά απαιτούν ενέργεια, άλλη αναγκαιότητα που αυξάνεται για μικρές παροχές, ειδικά για συμβατικές πηγές ενέργειας όπως κάρβουνο, φυσικό αέριο και πετρέλαιο.

Βιώσιμη πρόβλεψη πόσιμου νερού απαιτεί οικονομικές και περιβαλλοντικές προβλέψεις για ενεργειακές λύσεις, οι οποίες στον 21^ο αιώνα είναι αμιγώς συνδεδεμένες με την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη.

Η βιωσιμότητα έχει πολλές όψεις. Δεν περιλαμβάνει μόνο την προστασία των πηγών του νερού ενάντια στην υπερεκμετάλλευση και την μόλυνση αλλά και επίσης και τις μεθόδους παραγωγής πόσιμου νερού που είναι βιώσιμες σε ευρύτερη έννοια. Αυτό περιλαμβάνει μεθόδους που είναι αρκετά οικονομικοί και οικολογικά φιλικόι, π.χ. αυτοί που βασίζονται στις λύσεις της βιώσιμης ενέργειας όπως τις πηγές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή αποδοτικές ενεργειακά και χαμηλού άνθρακα μεθόδους που επιτρέπουν τη μείωση της αλλαγής του παγκόσμιου κλίματος.

Η αυξανόμενη πίεση στις πηγές νερού και η ανάγκη για καλύτερη πρόσβαση σε καθαρές πηγές ενέργειας, απαιτούν την ανάπτυξη και εφαρμογή εργαλείων υψηλής τεχνολογίας και τεχνολογίες αιχμής. Σε πολλές περιπτώσεις, οι υπάρχουσες συμβατικές τεχνολογίες για την παραγωγή νερού, που έχουν αναπτυχθεί για τις συμβατικές πηγές ενέργειας μπορούν να ενσωματωθούν και να χρησιμοποιηθούν σε μονάδες που υποστηρίζονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ή/και μπορούν να μεταβληθούν έτσι ώστε να γίνουν περισσότερο αποδοτικές ενεργειακά.

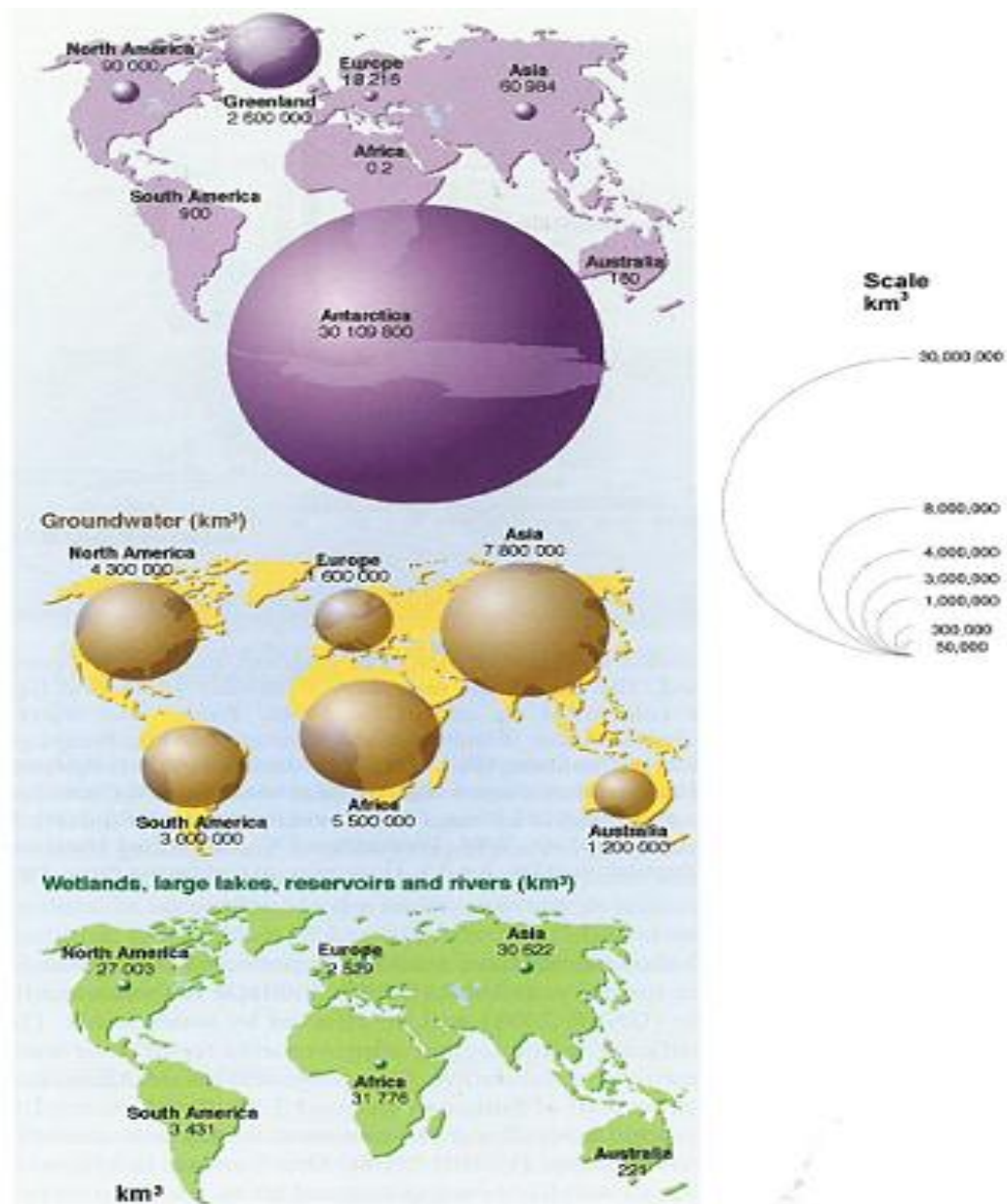
1.2 Το πρόβλημα του νερού

Σύμφωνα με μια ερευνητική εκτίμηση η γή περιέχει περίπου $1400 \times 10^6 \text{ Km}^3$ νερού, 97,5% του οποίου περιέχεται σε ωκεανούς. Οι πηγές του πόσιμου νερού αντιπροσωπεύουν περίπου το 2,5% στο συνολικό όγκο του παγκόσμιου νερού. Αυτές οι πηγές του πόσιμου νερού δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένες στο χώρο (υπόγεια νερά, επιφανειακά νερά) και στο χρόνο (επιφανειακά νερά).

Πολλές από τις λεκάνες των μεγάλων ποταμών της γής ρέουν μέσω αραιοκατοικημένων περιοχών. Όμως το 70% περίπου του πόσιμου νερού βρίσκεται στη μορφή του πάγου και αιώνιου χιονιού που καλύπτει βουνά και πολικές περιοχές και μόνο το 30% περίπου είναι αποθηκευμένο στη μορφή του υπόγειου νερού (σε λεκάνες ρηχές και βαθιές μέχρι και 2000m), σε υγρασία εδάφους και πάγους. Οι λίμνες και τα ποτάμια αντιπροσωπεύουν μόνο το 0.3% του παγκόσμιου πόσιμου νερού. Έτσι, δεν είναι έκπληξη που περίπου 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι εξαρτώνται από το υπόγειο νερό για τις ανάγκες παροχής πόσιμου νερού (UNEP, 2012).

Η εικόνα 1.1 δείχνει τους όγκους των πηγών πόσιμου νερού στον κόσμο.

Το καθαρό νερό παραμένει ένα κύριο πρόβλημα, με το 20% του παγκόσμιου πληθυσμού να μην έχει πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό. Εκτιμήσεις από σχετικές υπηρεσίες του ΟΗΕ δείχνουν ότι 1.2 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε πόσιμο νερό και άλλα 2 δισεκατομμύρια χρησιμοποιούν μολυσμένο νερό. Οι ασθένειες που δημιουργούνται από τα μολυσμένα επιφανειακά νερά είναι η κύρια αιτία ασθενειών στις αναπτυσσόμενες χώρες. Έχει εκτιμηθεί ότι επηρεάζει την υγεία 1.2 δισεκατομμυρίων ανθρώπων και συμβάλλει στο θάνατο 15 εκατομμυρίων παιδιών διεθνώς σε ετήσια βάση.



Εικόνα 1.1: Παγκόσμιες πηγές πόσιμου νερού. Όγκοι (km³) και κατανομή για πόσιμο νερό από α) πάγο και κάλυψη χιονιού στα βουνά και πολικές περιοχές, β) υπόγεια νερά (ρηχές και βαθιές λεκάνες έως και 2000m βάθος), υγρασία εδάφους και γ) λίμνες και ποτάμια.

Οι πηγές του πόσιμου νερού είναι περιορισμένες. Πολλές περιοχές ήδη εμφανίζουν έλλειψη νερού. Οι ακόλουθες στρατηγικές ενέργειες έχουν δοκιμαστεί με τις ελλείψεις νερού κατά τη διάρκεια των περασμένων δεκαετιών: εξόρυξη πηγαδιών υπόγειου νερού και δημιουργία φραγμάτων και τεχνητών αποθηκών νερού, κατασκευή καναλιών, συστημάτων σωληνώσεων και άλλων παρεχοτεύσεων. Όμως,

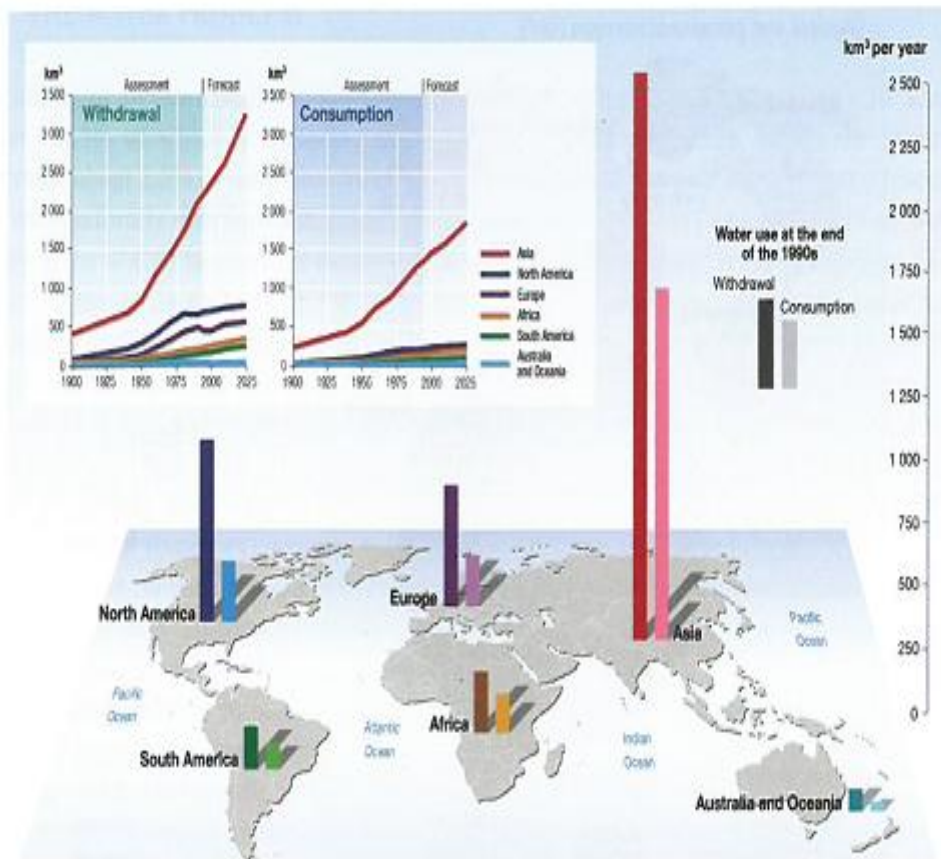
αυτές οι προσεγγίσεις είναι σύμφωνα με φυσικά όρια της επάρκειας νερού και σε προβλήματα σχετικά με την υπερεκμετάλλευση των υδροφορέων. Τα φράγματα επίσης υποφέρουν από μεγάλες περιβαλλοντικές ανησυχίες και από την απουσία νέων κατάλληλων περιοχών.

Η παροχή πόσιμου νερού είναι μια κρίσιμη παράμετρος σε πολλές χώρες, ειδικά σε αυτές που έχουν περιορισμένες πηγές νερού. Η εικόνα 1.2 δείχνει την κατανάλωση νερού διεθνώς και ανά περιοχή. Στις επόμενες δεκαετίες η μεγαλύτερη αύξηση σε έλλειψη νερού αναμένεται να συμβεί στην Ασία, ακολουθούμενη από την Αφρική και Νότια Αμερική ενώ η μείωση θα είναι μικρότερη στην Ευρώπη και στη Βόρειο Αμερική.

Παγκόσμια μέχρι το 1990 η απαίτηση για νερό δεν αυξανόταν με μεγάλους ρυθμούς λόγω των συνθηκών ζωής και των απαιτήσεων των εφαρμογών της τεχνολογίας. Από το 1940 που ο παγκόσμιος πληθυσμός έχει μια μέση ετήσια αύξηση περίπου 2% ενώ η εξόρυξη νερού αυξήθηκε σε 3% ετήσια βάση. Στα επόμενα χρόνια, η ετήσια συνολική μείωση νερού εκτιμάται ότι θα αυξηθεί περίπου 10-12% ανά δεκαετία φτάνοντας τα 5300Km³ το έτος 2025, ακολουθώντας μια αύξηση περίπου 38% από το 1995. Η κατανάλωση νερού εκτιμάται ότι για την ίδια περίοδο θα αυξηθεί περίπου 33% (UNESCO, 2009).

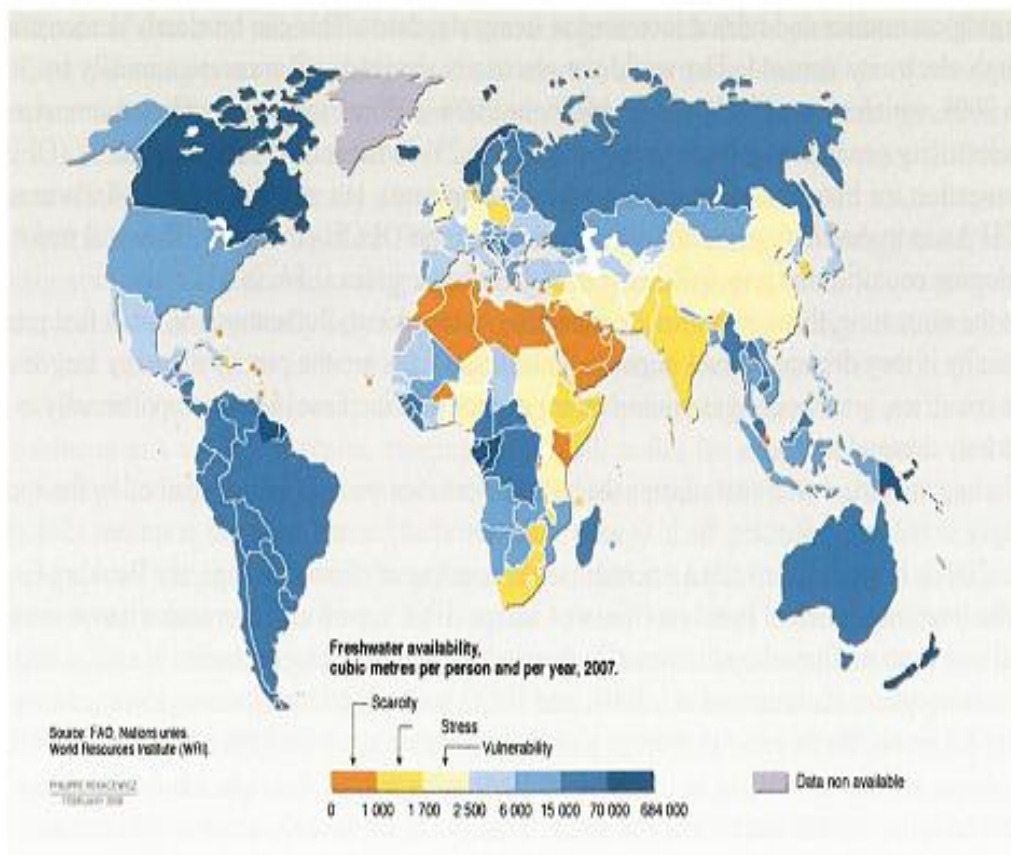
Σήμερα, η χρήση νερού για αγροτικές εφαρμογές υπολογίζεται σε περίπου 75% της ετήσιας παγκόσμιας κατανάλωσης πόσιμου νερού, κυρίως μέσω της άρδευσης καλλιεργειών ενώ η βιομηχανική χρήση υπολογίζεται σε περίπου 20% ενώ το υπόλοιπο 5% χρησιμοποιείται σε οικιακές ανάγκες.

Στη σημερινή εποχή οι άνθρωποι έχουν ανάγκη από 27 έως 200L ανά ημέρα για να ικανοποιούν τις διάφορες ανάγκες τους. Η Αφρική και η Μέση Ανατολή είναι οι δύο περιοχές του κόσμου όπου είναι διαθέσιμο το λιγότερο πόσιμο νερό. Η Αμερικάνικη ήπειρος είναι η πλουσιότερη σε πηγές νερού.



Εικόνα 1.2: Παγκόσμια μείωση νερού και κατανάλωση. Τα διαγράμματα δείχνουν τις αλλαγές για την περίοδο 1900-2025.

Αυτή η άνιση κατανομή της κατανάλωσης του νερού γίνεται εμφανής κάνοντας σύγκριση με στοιχεία των UN: στον Καναδά κάθε κάτοικος καταναλώνει περίπου $91,640\text{m}^3/\text{χρόνο}$, στην Αυστραλία $26,032\text{m}^3$, στο Μεξικό 4547m^3 , στη Νότια Αφρική 1109m^3 και στην Αίγυπτο 29m^3 . Και σύμφωνα με μελέτες του ΟΗΕ, η ποσότητα του νερού που ένα άτομο χρειάζεται είναι περίπου 5000m^3 το χρόνο. Λιγότερο από 1700m^3 ανά άτομο/ ανά έτος ονομάζεται **πίεση νερού**, λιγότερο από 1000m^3 θεωρείται **σπανιότητα**, ενώ λιγότερο από 500m^3 ανά άτομο **σοβαρή σπανιότητα**. Η εικόνα 1.3 δείχνει τη διαθεσιμότητα του πόσιμου νερού ανά Km^2 για διαφορετικές περιοχές του κόσμου και χώρες (UNEP).



Εικόνα 1.3: Πίεση νερού και σπανιότητα ανά περιοχή και χώρα το 2007.

Εκτιμάται ότι μέχρι το έτος 2050 τουλάχιστον 9 δισεκατομμύρια άνθρωποι θα επηρεαστούν από την πίεση του νερού και οι τεχνολογικές βελτιώσεις δεν θα αυξήσουν δραματικά την παροχή νερού, όπως η μαζική επιτάχυνση της αφαλάτωσης του θαλασσινού νερού. Στη σημερινή εποχή, σοβαρές ελλείψεις σε παροχή και ποιότητα νερού επηρεάζει περίπου τη μισή ανθρωπότητα (3.5 δισεκατομμύρια). Περίπου 1.2 δισεκατομμύρια άνθρωποι ή το 1/5 του παγκόσμιου πληθυσμού ζεί σε περιοχές φυσικής σπανιότητας και 500 εκατομμύρια πλησιάζουν αυτή την κατάσταση. Προβλέψεις διεθνών οργανισμών δείχνουν ότι μέχρι το έτος 2025 τα 2/3 των ανθρώπων παγκοσμίως θα διαβιούν σε περιοχές με πίεση νερού. Μόνο στην Αφρική εκτιμάται ότι 25 χώρες θα αντιμετωπίσουν αυτή την κατάσταση αν και στη σημερινή εποχή είναι σε αρκετά δυσμενή θέση λόγω και των καιρικών συνθηκών αλλά και της έλλειψης νερού από τη χρήση του σε επιχειρήσεις μεγάλων συμφερόντων πολυεθνικών εταιριών.

Η έλλειψη νερού και η σχετική αύξηση της πίεσης νερού και της σπανιότητας χειροτερεύει καθημερινά λόγω της αύξησης του πληθυσμού, της πυκνότητας του πληθυσμού και της χωρικής επέκτασης σε πολυπληθείς και αγροτικές περιοχές για την παροχή της αυξανόμενης απαίτησης τροφής.

Επιπλέον, η αλλαγή του κλίματος και η ρύπανση επηρεάζουν την ποιότητα του νερού και την διαθεσιμότητά του. Πολλές περιοχές με ελάχιστες ή καθόλου πηγές νερού κατάλληλες για πόση ή άρδευση που δεν κατοικούνταν στο παρελθόν (λόγω της έλλειψης νερού) είναι τώρα αυξανόμενα κατοικήσιμες και επίσης χρησιμοποιούνται για παραγωγή τροφής μέσω αυξημένης άρδευσης. Αυτή η επέκταση είναι πιθανή μόνο εάν το τοπικό νερό χρησιμοποιείται ή αφαλατώνεται ή το νερό οδηγείται από άλλες περιοχές μέσω σωληνώσεων ή καναλιών.

Βρίσκοντας ή εφαρμόζοντας βιώσιμους τρόπους για διαχείριση των πηγών νερού, περιλαμβάνοντας την παραγωγή πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, είναι μια μεγάλη πρόκληση.

Αν και το υπόγειο νερό είναι η πιο άφθονη και άμεσα διαθέσιμη πηγή νερού σε περιοχές μακριά από τη θάλασσα, η οικονομική και περιβαλλοντική επεξεργασία υψηλής αλατότητας ή μολυσμένου υπόγειου νερού είναι μεγάλης σημασίας.

Ένας μεγάλος αριθμός προσμίξεων μπορεί να είναι παρών μέσω φυσικών διαδικασιών. Π.χ. το αρσενικό εμφανίζεται σε πολλές περιοχές ειδικά σε βαθύτερους υδροφορείς.

Σε περιοχές κοντά στην ακτή, η αφαλάτωση θαλασσινού νερού είναι μια επιλογή αφού το 70% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει μέσα σε απόσταση 70Km από τη θάλασσα. Επιπλέον, ο καθαρισμός των υπολειμματικών ή βιομηχανικών υδάτων είτε για πρόνοια πόσιμου νερού ή για τεχνητή επαναφόρτιση υδροφορέων είναι απαραίτητη.

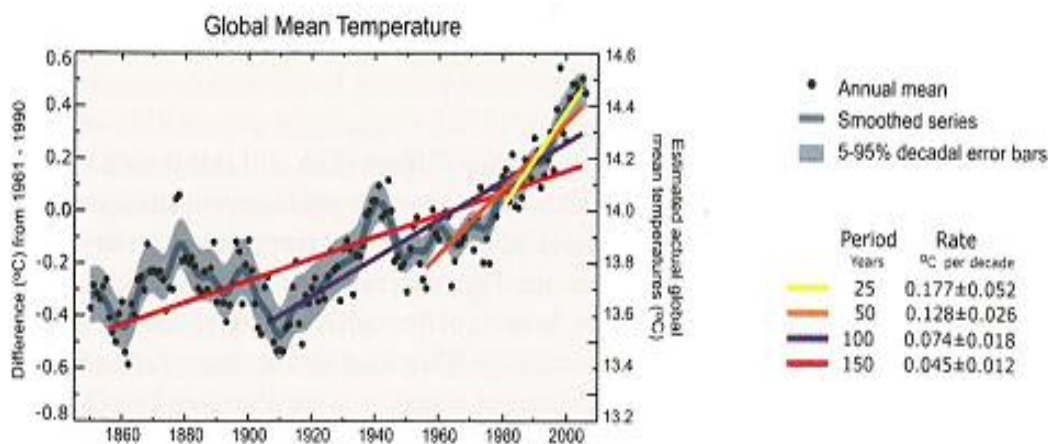
1.3 Το πρόβλημα ενέργειας

Όπως πολλές σχετικές μελέτες δηλώνουν η σύγχρονη κοινωνία συνεχίζει να βασίζεται σε πηγές ορυκτών καυσίμων για να διατηρήσει την οικονομική ανάπτυξη και ένα επίπεδο ζωής που επιζητά. Όμως, η οικονομική εκμετάλλευση συμβατικών πηγών ενέργειας έχει γίνει αυξητικά ελάχιστη λόγω των φυσικών ορίων. Η χρήση τους είναι επίσης υπό ερώτηση από μεγάλες ομάδες του πληθυσμού ειδικά στις βιομηχανικές χώρες λόγω των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων και λόγω της

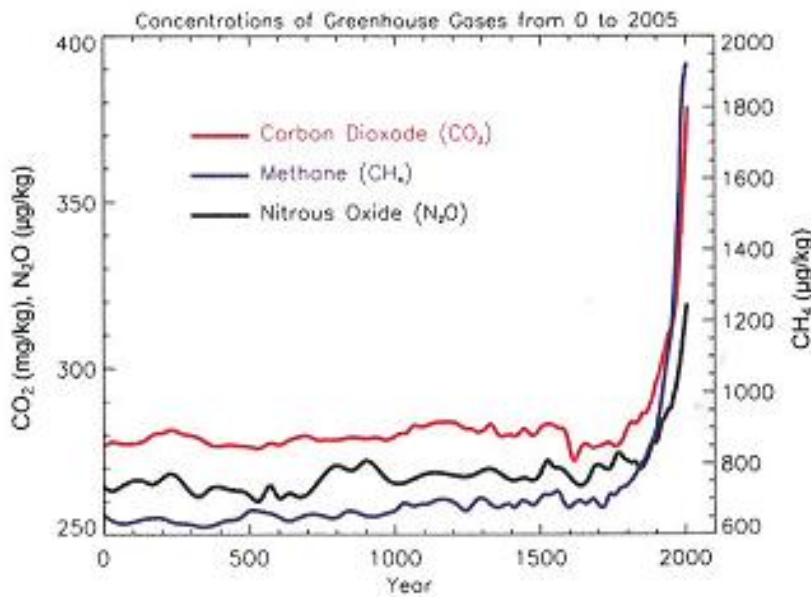
συνεισφοράς τους στην αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος. Αυτό υποθέτει ότι η επίδραση του φαινομένου του θερμοκηπίου που επηρεάζεται από τη χρήση άνθρακα και πηγών υδρογονανθράκων δεν μειώνεται από τη χρήση τεχνολογιών όπως: έγχυση CO₂ σε βαθιά σημεία στο έδαφος, ή χημική/βιολογική μετατροπή σε άλλες χημικές ουσίες.

Η απαίτηση για ενέργεια αυξάνεται απότομα λόγω των ίδιων λόγων που αναφέρθηκαν πριν για την αύξηση της απαίτησης νερού: αύξηση πληθυσμού και οικονομική αύξηση που είναι μεγαλύτερη στις αναπτυσσόμενες χώρες και σε χώρες που έχουν υψηλούς ρυθμούς πληθυσμιακής αύξησης, ταχύτερες επεκτεινόμενες αναδυόμενες οικονομίες και σχετικές αυξήσεις στις απαιτήσεις διαβίωσης. Αυτό φαίνεται επαρκώς με την αύξηση απαίτησης παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Την ίδια στιγμή, αυτές οι χώρες είναι ιδιαίτερα ευάλωτες σε διακυμάνσεις των τιμών των ορυκτών καυσίμων ειδικά εάν εξαρτώνται από εισαγωγές καυσίμων. Αφού τα ορυκτά καύσιμα είναι ακόμα η κύρια ενεργειακή πηγή για τις περισσότερες χώρες, οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου εκτιμάται ότι θα αυξηθούν σχεδόν αναλογικά με την αύξηση της ζήτησης ηλεκτρισμού.

Έτσι η αλλαγή του κλίματος είναι «ανθρώπινη κατάκτηση» λόγω των επιδράσεων των αερίων και των άλλων ρυπαντών από τις ανθρώπινες δραστηριότητες που απαιτούν συνεχή κατανάλωση καυσίμων που μακροπρόθεσμα οδηγούν σε μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις και μεταβολή του κλίματος (εικόνες 1.4 και 1.5).



Εικόνα 1.4: Ετήσια παγκόσμια μέσες παρατηρούμενες θερμοκρασίες.



Εικόνα 1.5: Σύνολο μέσων συγκεντρώσεων συναρτήσει του χρόνου για τα κύρια συστατικά της αλλαγής του κλίματος

Η χρήση εσωτερικών Α.Π.Ε. μαζί με την εφαρμογή ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών είναι βιώσιμες επιλογές για την υπερπήδηση των φυσικών ορίων των συμβατικών πηγών ενέργειας. Αυτές οι επιλογές θα συνεισφέρουν στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και θα κάνει τις διάφορες χώρες να εξαρτώνται λιγότερο από τις εισαγωγές ενέργειας και τις μεταπτώσεις των τιμών των ορυκτών καυσίμων.

Οι Α.Π.Ε. μπορεί να γίνουν σύντομα πιο ελκυστικές λόγω των συνεχών βελτιώσεων των σχετικών τεχνολογιών ειδικά σε απομακρυσμένες περιοχές. Σε αυτές τις περιοχές η ηλιακή, η αιολική και η γεωθερμική ενέργεια μπορούν να δώσουν οικονομική και περιβαλλοντική ποσότητα ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αφαλάτωση του νερού ή την επεξεργασία του νερού σε διάφορες διαβαθμίσεις από οικιακό επίπεδο σε μικρές κοινότητες και σε μεγάλο επίπεδο π.χ. για τις μονάδες αφαλάτωσης που μπορεί να έχουν ικανοποιητική επάρκεια για άρδευση μεγάλων αγροτικών περιοχών.

Η χρήση δωρεάν και τοπικών διαθέσιμων πηγών ενέργειας όπως άνεμος, ήλιος και γεωθερμία επιτρέπει τη λύση δύο προβλημάτων που παρέχουν προσιτό ηλεκτρισμό και ασφαλές νερό την ίδια στιγμή.

Οι Α.Π.Ε. και οι αποδοτικές τεχνολογίες ενέργειας για την αφαλάτωση του νερού μπορούν να παρέχουν ιδανικές λύσεις για μεγάλης κλίμακας αφαλάτωση και εγκαταστάσεων επεξεργασίας μαζί σε κεντρικές περιοχές αλλά και σε απομακρυσμένες περιοχές. Τα μεγάλα ποσά ενέργειας που απαιτούνται για την αφαλάτωση μπορούν να παρασχεθούν από τοπικές διαθέσιμες πηγές Α.Π.Ε. είτε άμεσα από τις διαφορετικές εγκαταστάσεις, είτε έμμεσα από τη χρήση της προσωρινής παραγωγής ηλεκτρισμού σε διάφορες εγκαταστάσεις ισχύος.

Ο βιομηχανοποιημένος κόσμος πρέπει να βοηθήσει τις αναπτυσσόμενες χώρες και τις χώρες σε μετάβαση να αναπτύξουν εσωτερικές πηγές Α.Π.Ε. και στην εφαρμογή ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών.

Υπάρχουν τρεις λόγοι για αυτή τη βοήθεια: α) για συνεισφορά στην πρόνοια ασφαλούς πόσιμου νερού, β) για τη βελτίωση της κοινωνικής και οικονομικής ανάπτυξης μέσω βελτίωσης της ασφάλειας ενέργειας και ενεργειακής ανεξαρτησίας και γ) για τον μετριασμό της αλλαγής του παγκόσμιου κλίματος.

Τα θέματα και τα προβλήματα σχετικά με την παραγωγή πόσιμου νερού, ενέργειας και παγκόσμιας υπερθέρμανσης δεν θα επιλυθούν με βιώσιμο τρόπο εκτός και εάν οι αναπτυσσόμενες χώρες λάβουν έναν ενεργό ρόλο.

1.4 Επισκόπηση τεχνολογιών βασισμένων σε Α.Π.Ε. για παραγωγή πόσιμου νερού

Ο σκοπός αυτής της παραγράφου είναι να δώσει μια σύντομη επισκόπηση των διαθέσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας του νερού που βασίζεται στις ΑΠΕ και τις κύριες προκλήσεις τους.

Οι ΑΠΕ για χρήση στις διαδικασίες αφαλάτωσης περιλαμβάνουν την ηλιακή θερμική, την αιολική, την φωτοβολταϊκή τεχνολογία και τη γεωθερμική.

Οι ΑΠΕ που καθοδηγούν την αφαλάτωση χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει διαδικασίες απόσταξης που οδηγούνται από τη θερμότητα που παράγεται από τα συστήματα των ΑΠΕ, ενώ η δεύτερη περιλαμβάνει διαδικασίες μεμβράνης και απόσταξης που καθοδηγούνται από ηλεκτρική και μηχανική ενέργεια που παράγεται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.4.1 Βιώσιμες λύσεις πόσιμο νερού μέσω επεξεργασίας λυμάτων και επαναχρησιμοποίησης μέσω ΑΠΕ.

Λόγω της αυξημένης έλλειψης νερού, υπάρχει μια παγκόσμια τάση στις περιοχές που είναι πιεσμένες λόγω νερού να μειώσουν την απαίτηση για τις πηγές πόσιμου νερού με την ανακύκλωση επεξεργασμένων λυμάτων.

Οι κύριες εφαρμογές του ανακτημένου νερού τότε μπορεί να είναι: α) βιομηχανική χρήση, β) άρδευση αγροτικών καλλιεργειών, γ) έμμεση επαναχρησιμοποίηση πόσιμου όπως μέσω επαναφόρτισης υπόγειων υδάτων, δ) άρδευση πάρκων και περιοχών με γκαζόν και ε) οικιακά διπλών σωληνώσεων συστήματα.

Σε πρόσφατη μελέτη αναγνωρίστηκαν πάνω από 200 περιπτώσεις μεγάλης κλίμακας επαναχρησιμοποίησης νερού στην Ευρώπη, όπως και πολλές άλλες που σχεδιάζονται να γίνουν στο αμέσως επόμενο χρονικό διάστημα.

Η τεχνολογία επεξεργασίας ενσωματώνει ένα μεγάλο αριθμό από επιλογές και διαδικασίες με μεμβράνες που είναι στοιχεία κλειδιά της προκεχωρημένης ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης.

Λόγω αυτού του γεγονότος, στην τεχνολογία του βιοαντιδραστήρα μεμβράνης (membrane bioreactor, MBR) έχει επιδειχθεί μεγάλο ενδιαφέρον την τελευταία δεκαετία. Η τεχνολογία MBR συνδέει τη συμβατική διαδικασία βιολογικής λάσπης με το σύστημα μικροδιήθησης και υπερδιήθησης και έτσι δεν χρειάζεται δεξαμενή τακτοποίησης για το διαχωρισμό της βιομάζας. Η τεχνολογία MBR προσφέρει το πλεονέκτημα της υψηλής ποιότητας του παραγόμενου νερού και χαμηλού ενεργειακού αποτυπώματος.

Λόγω των πλεονεκτημάτων, η τεχνολογία μεμβράνης βιοαντιδραστήρα έχει μεγάλο δυναμικό σε μια σειρά από εφαρμογές που περιλαμβάνουν δημοτική και βιομηχανική επεξεργασία λυμάτων και διαδικασία επαναχρησιμοποίησης του νερού. Μέχρι το 2011, περίπου 120 δημοτικές σε πλήρη κλίμακα εγκαταστάσεις (>500 ισοδύναμο πληθυσμό με μέση παροχή ανά εγκατάσταση $100\text{m}^3/\text{day}$) και περίπου 300 βιομηχανικές σε πλήρη κλίμακα εγκαταστάσεις (> $40\text{m}^3/\text{day}$) ήταν σε λειτουργία στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Στα πρόσφατα χρόνια ο τομέας των λυμάτων έχει ερευνήσει την σκοπιμότητα και την εμπορική βιωσιμότητα των ΑΠΕ για τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Σε αυτό το σκεπτικό οι ΑΠΕ μπορούν να παρέχουν ενέργεια για παραδοσιακή ή συμβατική τεχνολογία επεξεργασίας του νερού όπως και για νέες αναδυόμενες

τεχνολογίες. Οι ΑΠΕ , όπως η ηλιακή, η αιολική , η βιομάζα και οι πηγές των βιοκαυσίμων γίνονται πιο ελκυστικές για την παροχή νερού και για τις εφαρμογές επεξεργασίας λυμάτων.

Η χρήση συνδυασμένων διαδικασιών βιολογικής αερόβιας-αναερόβιας επεξεργασίας επίσης εμφανίζεται να είναι μια υποσχόμενη τεχνολογία, ειδικά για υψηλά ρυπασμένα βιομηχανικά λύματα λόγω του υψηλού επιπέδου του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD). Η αναερόβια διαδικασία επεξεργασίας παράγει αέριο μεθάνιο και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σαν ενεργειακή πηγή για να καθοδηγήσει τη διαδικασία αερόβιας επεξεργασίας (π.χ. με τη χρήση συνδυασμένων συστημάτων ισχύος και θερμότητας, CHP).

Όμως, τα συμβατικά συστήματα αερόβιας-αναερόβιας επεξεργασίας έχει βρεθεί ότι έχουν λειτουργικά όρια λόγω του μεγάλου χρόνου υδραυλικής συγκράτησης (HRT), χωρικές απαιτήσεις και τις εγκαταστάσεις που χρειάζονται για να δεσμεύσουν το βιοαέριο.

Επομένως, αρκετά μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στην ενσωμάτωση των βιοαντιδραστήρων αερόβιας-αναερόβιας. Λόγω αυτής της τεχνολογίας σχετικά χαμηλού κόστους και την παραγωγή ΑΠΕ και λόγω της εξαιρετικής απόδοσης επεξεργασίας, είναι γενικά αποδεκτό ότι οι συμπαγείς ενσωματωμένοι βιοαντιδραστήρες είναι ικανοί να επεξεργαστούν ένα ευρύ πεδίο υψηλών σε οργανικά στοιχεία βιομηχανικών και οικιακών λυμάτων.

Βέβαια, οι περισσότεροι βιοαντιδραστήρες δεν έχουν ακόμα ενσωματωθεί στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις σε πλήρη κλίμακα και επιπλέον μελέτες και έρευνα χρειάζονται για την σωστή εκτίμηση της χρήσης τους στις εφαρμογές καθαρισμού λυμάτων και προσφοράς πόσιμου νερού.

Για αυτό το λόγο οι τεχνολογίες βασισμένες στις συνδυασμένες μεμβράνες είναι υψηλού ενδιαφέροντος λόγω των πλεονεκτημάτων όπως η υψηλή απόδοση απομάκρυνσης, η υψηλή ποιότητα νερού και το χαμηλό ενεργειακό αποτύπωμα.

Η απευθείας χρήση της ηλιακής ενέργειας για την επεξεργασία των λυμάτων είναι μια αναδυόμενη τεχνολογία που ευρέως μελετάται λόγω των πλεονεκτημάτων της όπως, χαμηλό σχετικά κόστος, περιβαλλοντική φιλικότητα και βιωσιμότητα.

Στα πρόσφατα χρόνια προκεχωρημένες διαδικασίες οξειδωσης (advanced oxidation processes, AOP), έχουν αναπτυχθεί για να καλύψουν τις ανάγκες μιας αποδοτικής επεξεργασίας λυμάτων. AOP παράγει ρίζες υδροξυλίου, ισχυρούς οξειδωτικούς παράγοντες που μπορούν να εξαλείψουν τους ρύπους στα νερά των λυμάτων.

Ετερογενής φωτοκατάλυση μέσω του φωτισμού με UV ή ηλιακού φωτός σε μια επιφάνεια ημιαγωγού (π.χ. TiO_2), είναι μια ελκυστική διαδικασία οξειδωσης για την απομάκρυνση τοξικών οργανικών ουσιών και ανοργάνων προσμίξεων από τα λύματα. Λόγω της επίδρασης του κόστους, η ανάπτυξη πρακτικών φωτοκαταλυτικών συστημάτων χρειάζεται να εστιάσει στην χρήση πηγών ηλιακής ενέργειας.

Για το μειωμένο κόστος γίνονται προσπάθειες σε πιλοτικές εφαρμογές για συνδυασμό βιολογικών και ηλιακών διαδικασιών και τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά.

Πρόσφατα, τα κελιά καυσίμου (Fuel Cells, FCs), έχουν ευρέως μελετηθεί σαν παροχείς ενέργειας για μια ομάδα εφαρμογών και σαν καύσιμα έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερο το υδρογόνο και η μεθανόλη.

Τα FCs αν συνδεθούν με αντιδραστήρες βιομάζας μπορούν να μετατρέψουν την ανανεώσιμη ενέργεια σε χρήσιμη μορφή και περιβαλλοντικά φιλική και ουδέτερη όσον αφορά την εκπομπή του CO_2 . Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ενέργεια για χρήση στον καθαρισμό λυμάτων και σαν αποτέλεσμα η παροχή πόσιμου νερού.

Επίσης, τα κελιά καυσίμου στερεού οξειδίου (Solid Oxide Fuel Cells, SOFC), λογίζονται σαν μια πολύ ελκυστική πρόταση για τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, αφού μπορούν να τροφοδοτούνται από βιοαέριο που παράγεται μέσω αναερόβιας διαδικασίας διάσπασης υψηλής συγκέντρωσης λυμάτων ή από περίσσεια λάσπης επεξεργασιών.

Ο ηλεκτρισμός και η θερμότητα που χρειάζεται για τη λειτουργία της εγκατάστασης επεξεργασίας μπορεί πλήρως να καλύπτεται από την ίδια την εγκατάσταση και ο επιπλέον ηλεκτρισμός που θα παράγεται μπορεί να παροχετευθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο.

1.4.2 Βιώσιμες λύσεις πόσιμου νερού μέσω της αφαλάτωσης από ηλιακή και αιολική ενέργεια.

Ξέχωρα από την επεξεργασία των λυμάτων, η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού και του υφάλμυρου νερού μπορεί να θεωρηθεί σαν μια αυξανόμενης σημασίας τεχνική για την ασφαλή παραγωγή νερού.

Η βιομηχανία αφαλάτωσης του νερού αναπτύσσεται ταχέως και σταθερά εξελίσσεται μέσω μεγαλύτερων μειώσεων κόστους και πιο αξιόπιστη παραγωγή νερού υψηλής ποιότητας.

Όμως, οι διαδικασίες αφαλάτωσης, θα απαιτούν πάντα αξιόλογες ποσότητες ενέργειας. Εάν συμβατικές μορφές ενέργειας χρησιμοποιηθούν, θα συνεισφέρουν στην κλιματική αλλαγή λόγω των υψηλών εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα.

Για να είναι βιώσιμες, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πρέπει να χρησιμοποιούνται τουλάχιστον για μέρος των απαιτήσεων ενέργειας.

Όμως, οι ΑΠΕ που καθοδηγούν την αφαλάτωση αντιμετωπίζουν μεγάλα εμπόδια, όπως:

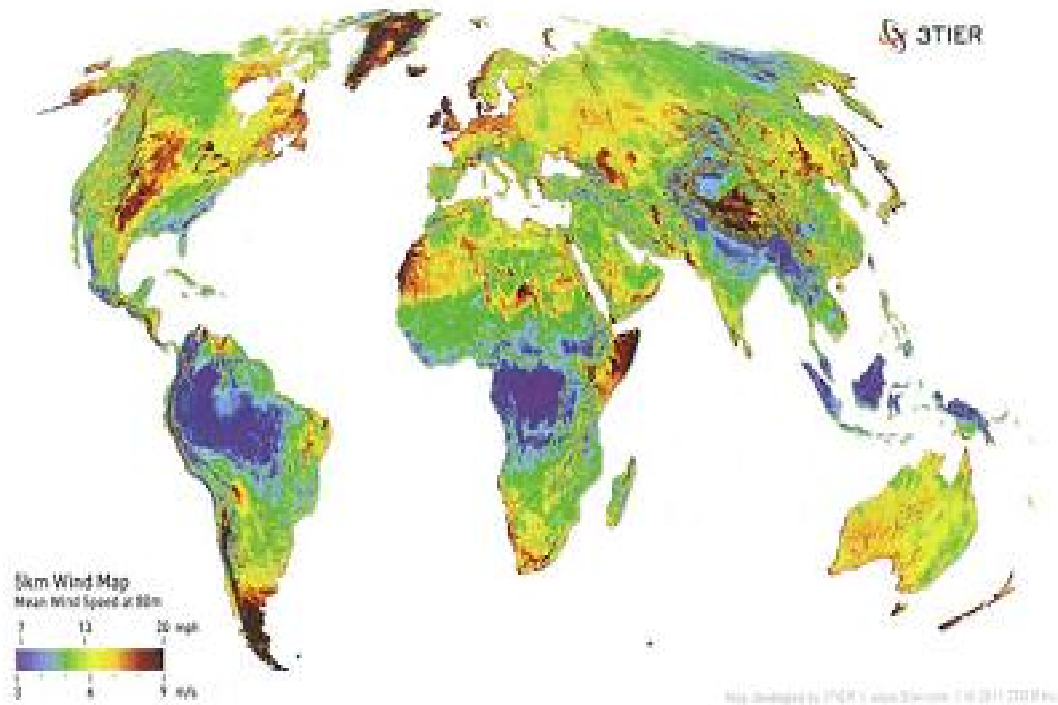
- Τα περισσότερα συστήματα δεν έχουν αναπτυχθεί με ολιστική προσέγγιση αλλά είναι απλώς ένας συνδυασμός συστατικών στοιχείων που αναπτύχθηκαν ανεξάρτητα και επομένως έχουν χαμηλή αξιοπιστία και αυξημένα κόστη νερού.
- Η ανάπτυξη της τεχνολογίας της αφαλάτωσης εστιάζει σε μεγάλα συστήματα, έτσι υπάρχει έλλειψη μερών κατάλληλων για μικρές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης. Έτσι, υπάρχει ανάγκη για συμπαγή, βιώσιμα αυτόνομα συστήματα που μπορούν να τοποθετηθούν σε δύσκολα περιβάλλοντα.
- Η τωρινή τεχνολογία αφαλάτωσης έχει σχεδιαστεί για χρήση με σταθερή παροχή ενέργειας. Όμως, τα περισσότερα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παρέχουν μεταβλητή παροχή ενέργειας (π.χ. ηλιακή, αιολική). Έτσι, υπάρχει ανάγκη για ανάπτυξη εξαρτημάτων και συστημάτων ελέγχου που να επιτρέπουν στην τεχνολογία αφαλάτωσης να χειρίζεται καλύτερα με τη διαθέσιμη είσοδο ενέργειας όπως τα υβριδικά συστήματα και η αποθήκευση ενέργειας.

Υπάρχουν πολλές τεχνικές για να καθοδηγήσουν την αφαλάτωση περιλαμβάνοντας την απόσταση και τις βασισμένες στις μεμβράνες τεχνικές.

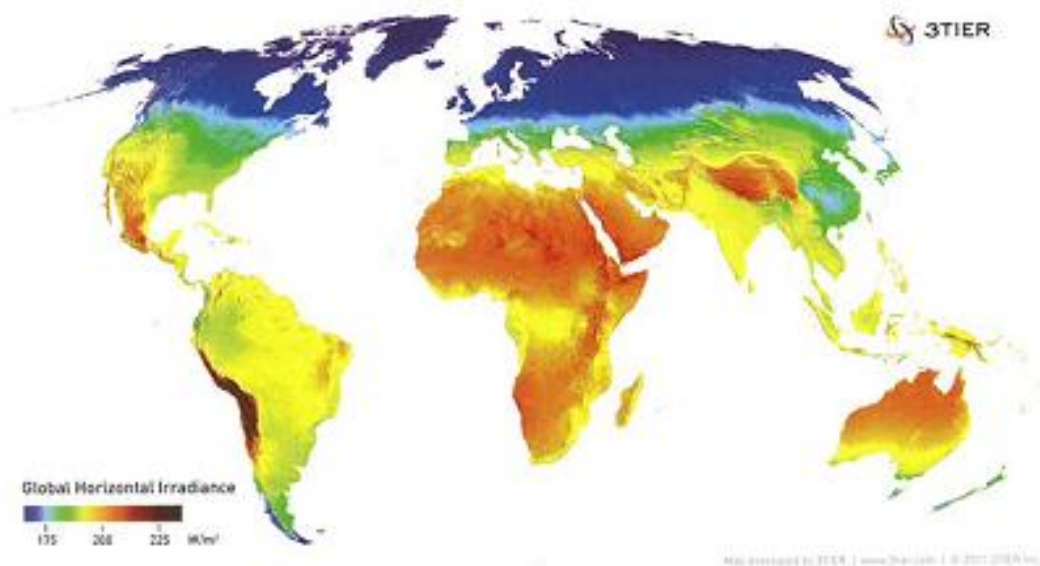
Η εφαρμογή τους σημαντικά εξαρτάται από την τοπική διαθεσιμότητα των ΑΠΕ και την ποιότητα του νερού που πρόκειται να αφαλατωθεί.

Η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας ΑΠΕ εξαρτάται από μια ομα΄δα παραγόντων όπως: μέγεθος εγκατάστασης, αλατότητα νερού (υφάλμυρο ή θαλασσινό), απόσταση-απομάκρυνση, διαθεσιμότητα ενεργειακού δικτύου, τεχνική υποδομή και τον τύπο και το δυναμικό των τοπικών ΑΠΕ.

Οι εικόνες 1.6 και 1.7 παρουσιάζουν την παγκόσμια ταχύτητα ανέμου και την παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία.



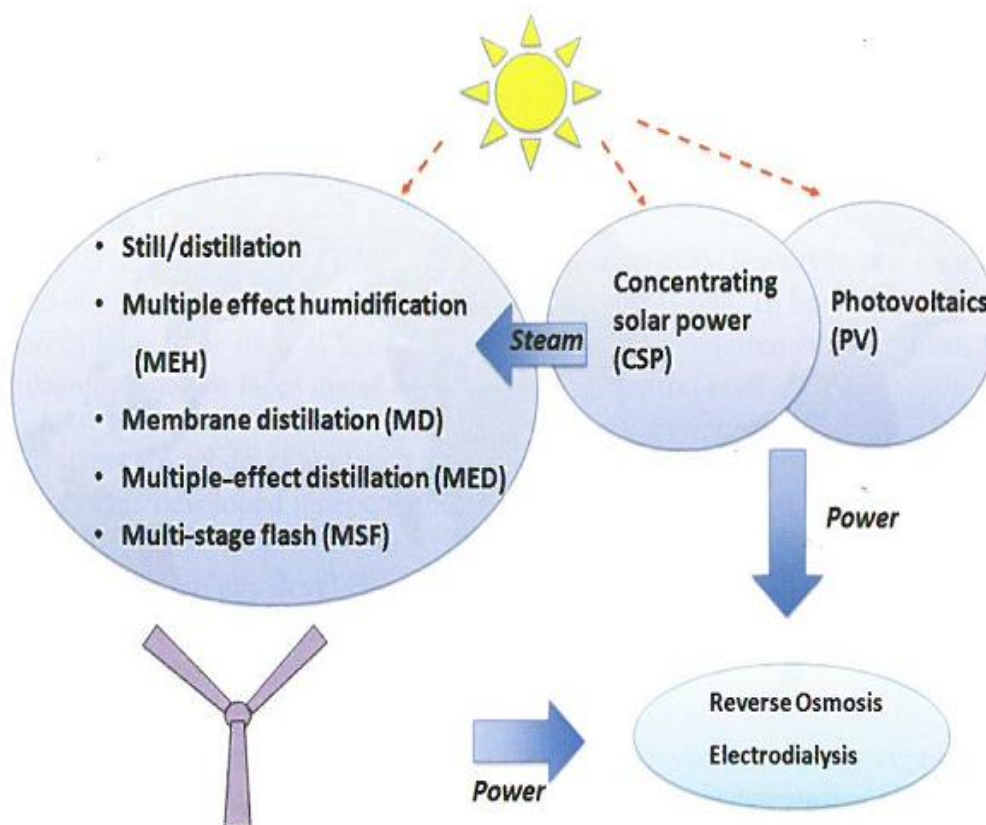
Εικόνα 1.6: Παγκόσμια μέση ταχύτητα ανέμου στα 80m.



Εικόνα 1.7: Παγκόσμια μέση ηλιακή ακτινοβολία.

Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας ή μέσω ατμού και παραγωγής ισχύος. Επιπρόσθετα, η αιολική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και επομένως μπορεί να οδηγήσει μονάδες αντίστροφης ώσμωσης και μονάδες ηλεκτροδιάλυσης.

Η εικόνα 1.8 δείχνει μια άποψη των διαθέσιμων διαφορετικών τεχνικών που είναι εμπορικά διαθέσιμες ή εξετάζονται σε μεγάλης κλίμακας πιλοτικά έργα.



Εικόνα 1.8: Διαφορετικές τεχνολογίες αφαλάτωσης για την παραγωγή πόσιμου νερού

Η ηλιακή διαδικασία υγροποίησης-αφύγρανσης (Humidification-dehumidification, H-DH), επίσης καλείται πολλαπλού αποτελέσματος H-DH ή πολλαπλού αποτελέσματος υγροποίηση (MEH), μιμείται τον φυσικό κύκλο του νερού (εξάτμιση και συμπύκνωση) χρησιμοποιώντας τον αέρα σαν μεταφορέα του ατμού, με άλλα λόγια, θερμός αέρας

φορτώνεται με ατμό νερού που συμπυκνώνεται όταν ο αέρας ψύχεται. Η διαφορά με την ηλιακή είναι ότι στην ΜΕΗ και οι δύο διαδικασίες γίνονται ξεχωριστά.

Κατά τη διάρκεια της επανασυμπύκνωσης του υγρού αέρα, η περισσότερη από την ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε πριν για την εξάτμιση μπορεί να ανακτηθεί για να προθερμάνει το εισερχόμενο νερό και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε επόμενους κύκλους εξάτμισης και συμπύκνωσης που κάνει την όλη διαδικασία πολύ αποδοτική ενεργειακά. Οι συλλέκτες ηλιακής θερμικής ΜΕΗ απαιτούν θερμοκρασίες 70-85°C.

Η μεμβράνη απόσταξης (membrane distillation, MD) είναι μια τεχνική διαχωρισμού που συνδυάζει μια διαδικασία απόσταξης θερμικά οδηγούμενη με μια διαδικασία μεμβράνης. Η μεμβράνη είναι μόνο διαπερατή για ατμό νερού αλλά όχι για υγρό νερό: διαχωρίζει το καθαρό απόσταγμα από το διάλυμα σε μια τυπική θερμοκρασία λειτουργίας 60-80°C.

Η απόσταξη πολλαπλού αποτελέσματος (multiple-effect distillation, MED) λαμβάνει χώρα σε μια σειρά από δοχεία και χρησιμοποιεί την αρχή της εξάτμισης και της συμπύκνωσης σε μειωμένη πίεση περιβάλλοντος.

Μια σειρά από δοχεία παράγουν πόσιμο νερό σε σταδιακά χαμηλότερη πίεση. Αφού, το νερό βράζει σε χαμηλότερες θερμοκρασίες όσο η πίεση μειώνεται, ο ατμός του νερού του 1^{ου} δοχείου λειτουργεί σαν μέσο θέρμανσης για το 2^ο και έτσι συνεχίζει. Όσα περισσότερα τα δοχεία που υπάρχουν, τόσο αυξάνει και η απόδοση ενέργειας (συνήθως υπάρχουν 15-20 δοχεία).

Η διαδικασία πολλαπλών σταδίων άμεσης απόσταξης (multi-stage flash distillation, MSF) βασίζεται σε πολλούς θαλάμους που παράγουν ατμό καθαρό από άλατα. Πρώτα, η MSF θερμαίνει το εισακτέο νερό με ατμό που εξάγεται υπό υψηλή πίεση. Ο ατμός μπορεί να παραχθεί από την τεχνολογία CSP που θα αναλυθεί παρακάτω. Υστερα, ο ατμός τροφοδοτείται μέσα στο πρώτο θάλαμο όπου το νερό βράζει γρήγορα μέσω μια απότομης διαδικασίας εξάτμισης (flashing). Σε κάθε επιτυχημένο στάδιο του “flashing” μέρους του νερού εισαγωγής συνεχίζει μιας και η πίεση σε κάθε στάδιο είναι χαμηλότερη από το προηγούμενο. Ο ατμός παράγεται μέσω flashing και ψύχεται από το νερό που εισέρχεται και έτσι μετατρέπεται σε πόσιμο νερό μέσω της συμπύκνωσης. Το σύστημα MSF μπορεί επίσης να συνδυαστεί με το σύστημα Μηχανικής συμπίεσης ατμού (MVC) που έχει το πλεονέκτημα του μικρότερου εξοπλισμού και χαμηλότερων λειτουργικών εξόδων.

Ενας πιο αποδοτικός τρόπος να χρησιμοποιείς την ηλιακή ενέργεια είναι εφαρμόζοντας την τεχνολογία συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας (Concentrating Solar Power, CSP).

Η τεχνολογία αυτή στηρίζεται σε καθρέπτες από γυαλί που συνεχώς παρακολουθούν την τροχιά και τη θέση του ήλιου έτσι ώστε να βελτιστοποιούν την παραγωγή ενέργειας.

Στη σημερινή εποχή τέσσερις διαμορφώσεις είναι εμπορικά διαθέσιμες: κεντρικοί συλλέκτες, παραβολικούς συλλέκτες, παραβολικά πιάτα και γραμμικά συστήματα Fresnel.

Συνήθως η τεχνολογία CSP χρειάζεται μεγάλες ποσότητες πόσιμου νερού για λειτουργία (σύστημα ψύξης, καθαρισμός καθρεπτών) αλλά η ενσωμάτωση της CSP και της αφαλάτωσης κάνει την ιδέα της ηλιακής ενέργειας πλήρως βιώσιμη αφού μπορεί να παρέχει πόσιμο νερό για το δικό του σύστημα ψύξης και για τον καθαρισμό των κατόπτρων του.

Αφού η RO (αντίστροφη ώσμωση) και η ED/EDR (ηλεκτροδιάλυση/αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση) υποστηρίζονται ενεργειακά από την ηλεκτρική ενέργεια, αυτές οι τεχνολογίες αφαλάτωσης μπορούν να συνδυαστούν με τα φωτοβολταικά (PV) που είναι ήδη ώριμα και καλά εδραιωμένα τεχνολογία με μεγάλο αριθμό προμηθευτών σε πολλές χώρες.

Στη σημερινή εποχή υπάρχει πιο πολλή τεχνολογική εμπειρία με το συνδυασμό PV-RO από ότι με το συνδυασμό PV-ED/EDR. Αφού και η PV και η RO είναι μαζί ώριμες τεχνολογίες, ο συνδυασμός τους αυξάνει τη χρήση τους σε πολλές χώρες παγκοσμίως. Όμως, υπάρχουν και εντατικές R&D προσπάθειες για βελτίωση των διαδικασιών PV και RO όσον αφορά την απόδοσή τους.

Η αιολική ενέργεια έχει χρησιμοποιηθεί σαν πάροχος ενέργειας για συστήματα αφαλάτωσης ειδικά για μονάδες RO. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αιολική ενέργεια δεν χρησιμοποιείται άμεσα αλλά αντίθετα μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια για να κατευθύνει τις αντλίες της διαδικασίας RO.

Για λειτουργικούς και οικονομικούς λόγους, οι πιο πολλές από τις εγκαταστάσεις αφαλάτωσης με παροχή από τον άνεμο είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο και δεν υπάρχει πολύ εμπειρία για αιολικά συστήματα εκτός δικτύου εντελώς ανεξάρτητα.

Όμως, τα αυτόνομα αιολικά συστήματα εγκαταστάσεων αφαλάτωσης είναι αρκετά ενδιαφέροντα για απομακρυσμένες περιοχές ειδικά για μικρά νησιά χωρίς πρόσβαση σε δίκτυο.

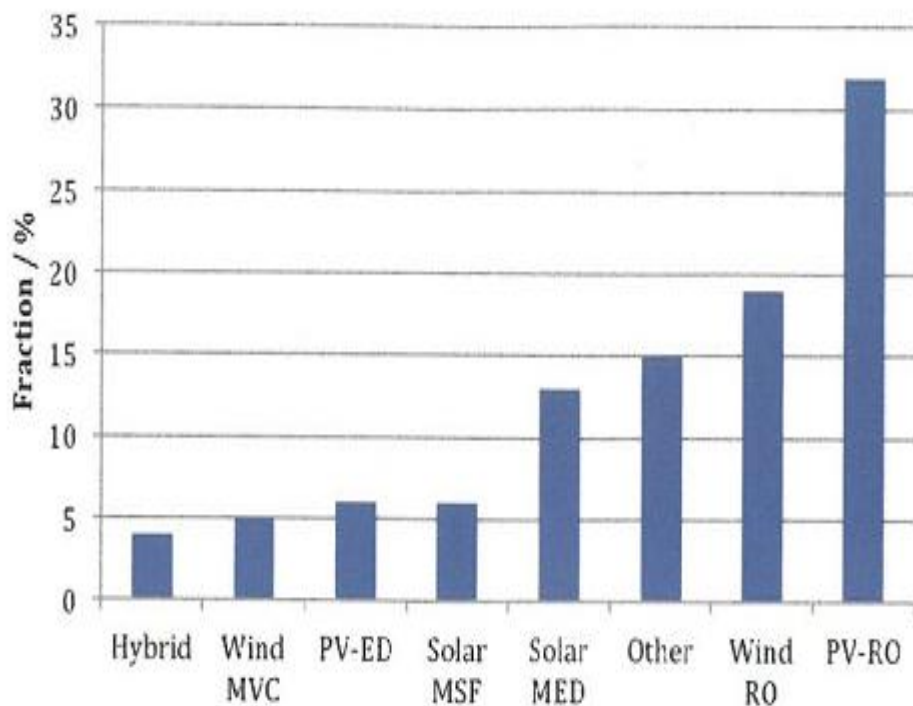
Ειδικά, σε περιοχές με καλό αιολικό δυναμικό και υψηλά ενεργειακά κόστη, μια μονάδα ανέμου-RO αποδεικνύεται μια ανταγωνιστική οικονομικά λύση συγκρινόμενη με τα συμβατικά συστήματα αφαλάτωσης.

Ο πίνακας 1.1 παρουσιάζει βασικές πληροφορίες για τις πιο κοινές τεχνολογίες αφαλάτωσης περιλαμβάνοντας τωρινές ικανότητες απόδοσης, κατανάλωση ενέργειας, εκτίμηση κόστους και στάδιο ανάπτυξης.

Πίνακας 1.1: Ηλιακές και αιολικές τεχνολογίες αφαλάτωσης και τυπικές ιδιότητες.

Μέθοδος	Ικανότητα (m ³ /day)	Κατανάλωση ενέργειας (kWh/ m ³)	Εκτίμηση κόστους για πόσιμο νερό (Ευρώ/ m ³)	Στάδιο ανάπτυξης
Ηλιακή	<0.1	Παθητική ηλιακή	1-2	ΕΦΑΡΜΟΖΕΤΑΙ
ΜΕΗ	1-100	Θερμική: 100 Ηλεκτρική: 1.5	2-5	ΕΦΑΡΜΟΖΕΤΑΙ/R&D
MD	0.15-10	Θερμική: 150-200	8-15	R&D
CSP & MED	>5000	Θερμική: 60-70 Ηλεκτρική: 1.5-2	1.8-2.2	R&D
PV-RO	<100	Ηλεκτρική: 0.5-5	5-12	ΕΦΑΡΜΟΖΕΤΑΙ/R&D
PV-EDR	<100	Ηλεκτρική: 3-4	8-9	R&D
Αιολική-RO	50-2000	Ηλεκτρική: 0.5-5	A) Μονάδες <100m ³ /day, 3-7 B) Μονάδες >1000m ³ /day, 1.5-4	ΕΦΑΡΜΟΖΕΤΑΙ/R&D

Η εικόνα 1.9 παρουσιάζει την κατανομή των ΑΠΕ που υποστηρίζουν συστήματα αφαλάτωσης με την PV-RO να έχουν το μεγαλύτερο ποσοστό, περίπου το 1/3 της συνολικής ικανότητας. Ανεμο-RO συστήματα είναι δεύτερα με ποσοστό περίπου 20% και όλα τα άλλα συστήματα είναι κάτω από 20% περιλαμβάνοντας τα υβριδικά συστήματα που χρησιμοποιούν συμπληρωματικές ΑΠΕ.



Εικόνα 1.9: Κατανομή των ΑΠΕ που υποστηρίζουν τεχνολογίες αφαλάτωσης

Βασικά κάθε εγκατάσταση αφαλάτωσης μπορεί να λειτουργήσει με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ένας μελλοντικός στόχος μπορεί να είναι η ανάπτυξη τυποποιημένων, συμπαγών και αξιόπιστων συστημάτων που ενσωματώνουν τη χρήση ανανεώσιμης ενέργειας με μια μονάδα αφαλάτωσης και αυτό θα προσφέρει την διασφάλιση απόδοσης στον τελικό χρήστη.

Οι κύριες μελλοντικές προκλήσεις στο R&D περιλαμβάνουν:

- Μεταβλητότητα των παροχών ενέργειας
- Συνδυασμό υπαρχόντων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε μια ολιστική προσέγγιση (π.χ. ανεμογεννήτρια με τεχνολογία PV)
- Υβριδισμός με ένα ηλεκτρικό δίκτυο μέσω έξυπνων αισθητήρων και συστημάτων ελέγχου
- Βελτίωση των θερμικών και ηλεκτρικών τεχνικών αποθήκευσης
- Βελτίωση των στρατηγικών ελαχιστοποίησης της ενέργειας
- Ανάπτυξη αποδοτικών και συμπαγών μικρής κλίμακας συστημάτων αφαλάτωσης.

1.4.3 Γεωθερμικές πηγές για αφαλάτωση

Η γεωθερμική επιλογή για παραγωγή ηλεκτρισμού και απευθείας χρήση της γεωθερμικής θερμότητας για αφαλάτωση έχει πρόσφατα αναγνωριστεί σαν μια οικονομική και περιβαλλοντική επιλογή.

Αυτή η αυξημένη αναγνώριση ειδικά τα τελευταία χρόνια έχει σαν βασικό σκοπό να δείξει ότι η γεωθερμική ενέργεια έχει το δυναμικό να καλύψει αρκετή από τη μελλοντική απαίτηση για ηλεκτρικό ρεύμα και να διασφαλίσει την ενεργειακή ασφάλεια και ενεργειακή ανεξαρτησία και στις αναπτυσσόμενες και στις υπό ανάπτυξη χώρες.

Το κύριο πλεονέκτημα της αφαλάτωσης που υποστηρίζεται από τη γεωθερμία είναι η σταθερότητα της ενεργειακής πηγής και το γεγονός ότι καμία αποθήκη ενέργειας δεν απαιτείται όπως με τις τεχνολογίες αφαλάτωσης υποστηριζόμενες από την αιολική και ηλιακή ενέργεια.

Όμως, η γεωθερμική επιλογή έχει άλλα κόστη, όπως την ανάγκη για υπεδάφιο σκάψιμο. Αυτό το κόστος εξαρτάται ισχυρά από τις τοπικές γεωλογικές συνθήκες και την τοπική περιοχή ροής θερμότητας.

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι γεωθερμικών αποθηκών που είναι οι παρακάτω:

- Διάδοση θερμότητας- υψηλής ενθαλπίας υδροθερμικά γεωθερμικά συστήματα (ατμός ή ατμός) που βρίσκονται σε ηφαιστιακές και/ή τεκτονικά ενεργές περιοχές και επομένως είναι ελάχιστες σε όρια ενεργών τεκτονικών πλακών σε ηπείρους και ωκεανούς. Εδώ, μάγμα ή υλικά σε μεγάλα βάθη είναι οι κύριες πηγές θερμότητας για χαμηλής (<150°) και υψηλής (>150°) γεωθερμικών συστημάτων διάδοσης ενθαλπίας τα οποία επαναφορτίζονται από το μετεωρικό νερό.
- Διάδοση θερμότητας- χαμηλής ενθαλπίας υδροθερμικά γεωθερμικά συστήματα (<150°) τα οποία δεν είναι μόνο σε ηφαιστιακές και/ή τεκτονικά ενεργές περιοχές και επομένως έχουν ευρύτερη χωρική κατανομή και πολύ μεγαλύτερο γεωθερμικό δυναμικό σχετικά με τα υψηλής ενθαλπίας συστήματα. Όμως, εκτός αυτού του οφέλους, τα συστήματα χαμηλής ενθαλπίας είναι πρακτικά χρησιμοποιήσιμα για παραγωγή ηλεκτρισμού σε χώρες αναπτυσσόμενες και υπό ανάπτυξη χώρες.
- Γεωθερμικά συστήματα που κυριαρχούνται από διάδοση θερμότητα με αγωγή (EGS), τα οποία δεν είναι περιορισμένα σε ηφαιστιακές και/ή τεκτονικές ενεργές περιοχές ή στην παρουσία φυσικών ρευστών και για αυτό έχουν πολύ

μεγαλύτερο ενεργειακό δυναμικό σχετικά με τους δύο προηγούμενους τύπους των γεωθερμικών αποθηκών.

Σε αυτά τα συστήματα, η θερμότητα παρέχεται από φυσική ακτινοδραστικότητα στοιχείων όπως U, Th και K και από μεταφορά θερμότητας με αγωγή από το μανδύα της γής σε πηχότερα βάθη μέσω της βαθιάς ηπειρωτικής κρούστας.

Οι πηγές EGS που είναι διαθέσιμες πρακτικά σε κάθε χώρα έχουν λάβει μεγάλη προσοχή πρόσφατα. Σύμφωνα με μια έρευνα του MIT, οι ΗΠΑ μόνο έχουν ένα δυναμικό EGS περίπου 13,000,000 Exa Joules ($EJ=10^{18}$ Joules) (βάθος 3-10 Km) από τα οποία 200,000 EJ μπορούν να εξαχθούν για χρήση που αντιστοιχεί σε περίπου 2000 φορές την ετήσια κύρια κατανάλωση ενέργειας της χώρας. Μέχρι το 2050, οι ΗΠΑ μπορεί οικονομικά να παράγει περίπου 100,000 MW μόνο με μια μέτρια R&D επένδυση.

Αν και λάμβανε σχετικά λίγη προσοχή στο παρελθόν, η αφαλάτωση είναι μια από τις πιο ελκυστικές περιοχές για εφαρμογή της γεωθερμικής ενέργειας λόγω της ανάγκης για συνεχή παροχή ενέργειας, 24 ώρες την ημέρα, 365 μέρες το χρόνο. Και έχει εφαρμογή σε περιοχές όπου το νερό είναι σπάνιο ή η ποιότητα του νερού έχει προβλήματα.

Επομένως, η γεωθερμική αφαλάτωση μπορεί να είναι ευρέως διαθέσιμη από χαμηλής ενθαλπίας γεωθερμικές πηγές (<150°).

Ελάχιστη απαιτούμενη θερμοκρασία είναι 60°C για MD και άλλα συστήματα που υποστηρίζονται ενεργειακά από θερμότητα.

Η ED και RO δεν είναι κατάλληλες για άμεση χρήση της γεωθερμικής ενέργειας αλλά μπορούν να λειτουργήσουν από ηλεκτρισμό που παράγεται από γεωθερμικές πηγές που απαιτούν υψηλότερης θερμοκρασίας γεωθερμικά ρευστά.

Χρησιμοποιώντας τη σημερινή τεχνολογία π.χ. εφαρμόζοντας πρόσφατες καινοτομίες στη μορφή των δυαδικών ρευστών και εναλλακτών θερμότητας, οι θερμοκρασίες των ρευστών με περισσότερους από 85°C είναι κατάλληλα για οικονομική γεωθερμική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η πρόσβαση στη γεωθερμική ενέργεια χρειάζεται γενικά γεώτρηση, και επομένως οι εφαρμογές είναι περιορισμένες σε μεγάλες και μεσαίου μεγέθους εγκαταστάσεις αφαλάτωσης.

Η γεωθερμική αφαλάτωση είναι εφαρμόσιμη σε μικρής κλίμακας μονάδες αφαλάτωσης κατάλληλες για παροχή νερού σε μικρές κοινότητες μόνο σε λίγες περιπτώσεις που γεώτρηση δεν χρειάζεται, π.χ. όπου τα γεωθερμικά ρευστά επαρκούς υψηλής θερμοκρασίας εκρέουν φυσικά ή πολύ κοντά στην επιφάνεια της γης που είναι η σχετική εγκατάσταση.

Η γεωθερμική αφαλάτωση για νερό ωκεανού (μακριά από τις ακτές) χρησιμοποιώντας υποβρύχια γεωθερμικά ρεζερβουάρ σαν πηγή ενέργειας είναι μια ενδιαφέρουσα μελλοντική τεχνολογία για βασικά μεγάλης κλίμακας εφαρμογές.

Έχει το πλεονέκτημα ότι οι άλμες που παράγοντες (π.χ. από τη RO) μπορούν απευθείας να εκρέουν στη θάλασσα. Μπορούν να διακριθούν δύο μορφές υποβρύχιων γεωθερμικών αποθηκών: βαθιά και ρηχά.

Τα βαθιά ρεζερβουάρ (γενικά >2000m) σχετίζονται με την ύπαρξη υδροθερμικών αρτηριών που υπάρχουν σε πολλά σημεία κατά μήκος των ωκεανών μεταξύ των τεκτονικών πλακών που εκτείνονται σε μήκος περίπου 65,000Km στην ωκεάνια κρούστα της γης. Αυτά έχουν πρακτικά άπειρο ενεργειακό δυναμικό.

Τα ρηχά ρεζερβουάρ σχετίζονται με σφάλματα και ρωγμές κοντά στις ηπειρωτικές πλατφόρμες σε ενεργά όρια πλακών και μπορούν να βρεθούν σε βάθη μεταξύ 1 και 50m.

Υπάρχουσες γεωτρήσεις πετρελαίου και αερίων μπορεί να παρέχουν ακόμα μια οικονομική επιλογή για πρόσβαση σε πηγές γεωθερμικής ενέργειας επειδή το κόστος της γεώτρησης έχει ήδη γίνει. Όμως μιας και τα πηγάδια των γεωτρήσεων πετρελαίου έχουν άλλο σχεδιασμό από αυτό των γεωθερμικών γεωτρήσεων, κάποιες μετατροπές χρειάζεται να γίνουν.

Οι υπάρχουσες γεωτρήσεις πετρελαίου δίνουν επίσης πολύ καλή πληροφόρηση για την υπόγεια θερμοκρασία, γεωλογική δομή, υδραυλική διαπερατότητα και το πορώδες του δυνητικού ρεζερβουάρ. Με τεχνολογία αιχμής αυτές οι γεωτρήσεις μπορούν να παράγουν γεωθερμική ηλεκτρική ενέργεια εάν η θερμοκρασία είναι υψηλότερη από 85°C.

Τοπικά, το νερό από εγκαταλειμμένα βαθιά υπόγεια ορυχεία μπορεί να έχουν θερμοκρασίες πολύ υψηλές για εφαρμογές αφαλάτωσης και αυτές μπορεί να ξαναγίνουν μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική γεωθερμική πηγή για αφαλάτωση.

Όμως, δεν υπάρχουν τόσα πολλά ορυχεία με θερμοκρασίες που να συναντούν ή να ξεπερνούν την συνθήκη ελάχιστης θερμοκρασίας για αφαλάτωση με απευθείας θερμότητα ($>60^{\circ}\text{C}$) ή παραγωγή γεωθερμικής ηλεκτρικής ενέργειας ($>85^{\circ}\text{C}$).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Τεχνολογίες αιολικής ενέργειας για παραγωγή πόσιμου νερού

2.1 Εισαγωγή

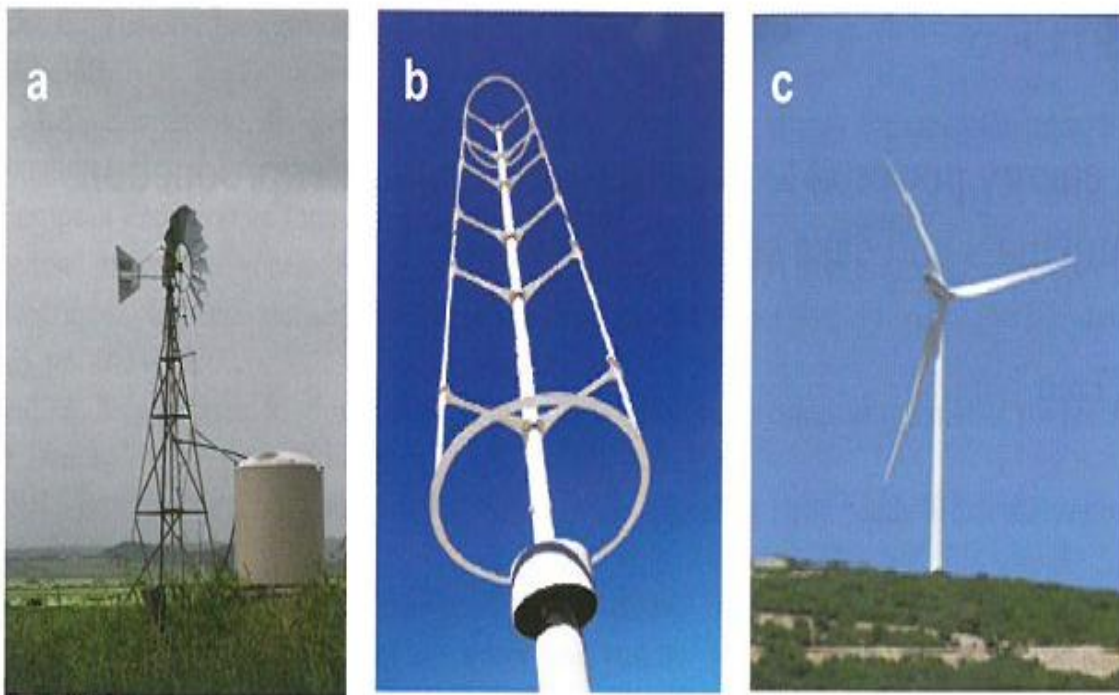
Τα συστήματα ΑΠΕ μετατρέπουν φυσικά παραγόμενη ενέργεια (ηλιακό φως, αέρας κ.α) σε χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική, μηχανική ή θερμική ενέργεια. Τα περισσότερα από αυτά τα συστήματα είναι καλά μελετημένα και αξιόπιστα, με έναν σημαντικό αριθμό από εφαρμογές σε όλο τον κόσμο. Η ιδέα της χρήσης ΑΠΕ για να κινούν τις διαδικασίες αφαλάτωσης είναι βασικά ελκυστική όπως πολλές μελέτες και εφαρμογές της καθημερινότητας παρουσιάζουν.

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να συζευχθούν με συστήματα αφαλάτωσης με σκοπό να παρέχουν την απαραίτητη είσοδο ενέργειας, η οποία από μόνη της γίνεται μια σημαντική συνεισφορά σε περιοχές απομακρυσμένες και ξηρές. Επιπρόσθετα, το αφαλατωμένο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν προσωρινή αποθήκη ενέργειας, έτσι παρέχοντας τα μέσα για τη “ρύθμιση” ενός από τα βασικά συμφύη χαρακτηριστικά των ΑΠΕ, π.χ. την διακοπτόμενη λειτουργία τους. Όταν το σύστημα είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο, η μονάδα αφαλάτωσης μπορεί να λειτουργεί συνεχώς σαν μια συμβατική μονάδα και η ΑΠΕ απλώς δρά σαν υποκατάστατο καυσίμου. Όμως, ακόμα και σε τέτοιες περιπτώσεις, το φορτίο αφαλάτωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετριάσμο του ποσού της ενέργειας που εγχέεται στο δίκτυο, που τείνει να γίνει ένα πολύ χρήσιμο δεδομένο στα υβριδικά συστήματα ηλεκτρισμού με υψηλή διείσδυση των διακοπτόμενων ανανεώσιμων πηγών ηλεκτρισμού.

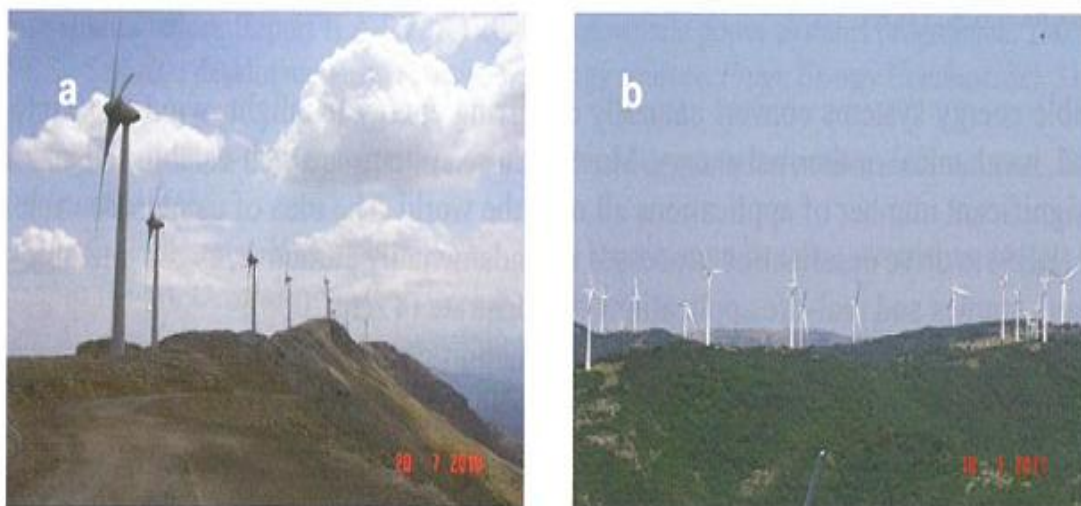
Η επιλογή της πιο κατάλληλης τεχνολογίας αφαλάτωσης για συγκεκριμένη περιοχή όπως και ο τεχνολογικός συνδυασμός των ΑΠΕ αφαλάτωσης είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την επιτυχία της εφαρμογής. Τρεις διαδικασίες αφαλάτωσης απαιτούν ηλεκτρισμό για τη λειτουργία τους και μπορούν εύκολα να συζευχθούν με ανεμογεννήτριες. Αυτές είναι αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis, RO) για την αφαλάτωση υφάλμυρου και θαλασσινού νερού, ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED) για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού και μηχανική συμπίεση ατμού (mechanical vapor compression, MVC) για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού.

2.2 Τεχνολογία αιολικής ενέργειας

Η αιολική ενέργεια έχει ένα μεγάλο πλεονέκτημα που μπορεί να αξιοποιηθεί σε ένα μεγάλο πεδίο κλιμάκων, οι εγκαταστάσεις μπορούν να ποικίλλουν από ανεμογεννήτριες μερικών Watts έως και κλίμακας MW αιολικών πάρκων (εικόνα 2.1). Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν εφαρμογές που στέκονται μόνες τους ή μπορούν να συνδεθούν σε ένα δίκτυο μονάδας ισχύος (εικόνα 2.2). Μπορούν επίσης να συνδυαστούν με σύστημα φωτοβολταϊκού (photovoltaic, PV) ή σε γεννήτρια ντίζελ και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (π.χ. μπαταρίες) και έτσι μπορούν να σχηματίσουν “υβριδικά” συστήματα, που τυπικά χρησιμοποιούνται σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η σύνδεση σε μονάδα δικτύου δεν είναι διαθέσιμη.



Εικόνα 2.1: Τύποι ανεμογεννητριών: α) πολλαπλών πτερυγίων, β) κάθετου άξονα, γ) οριζόντιου άξονα

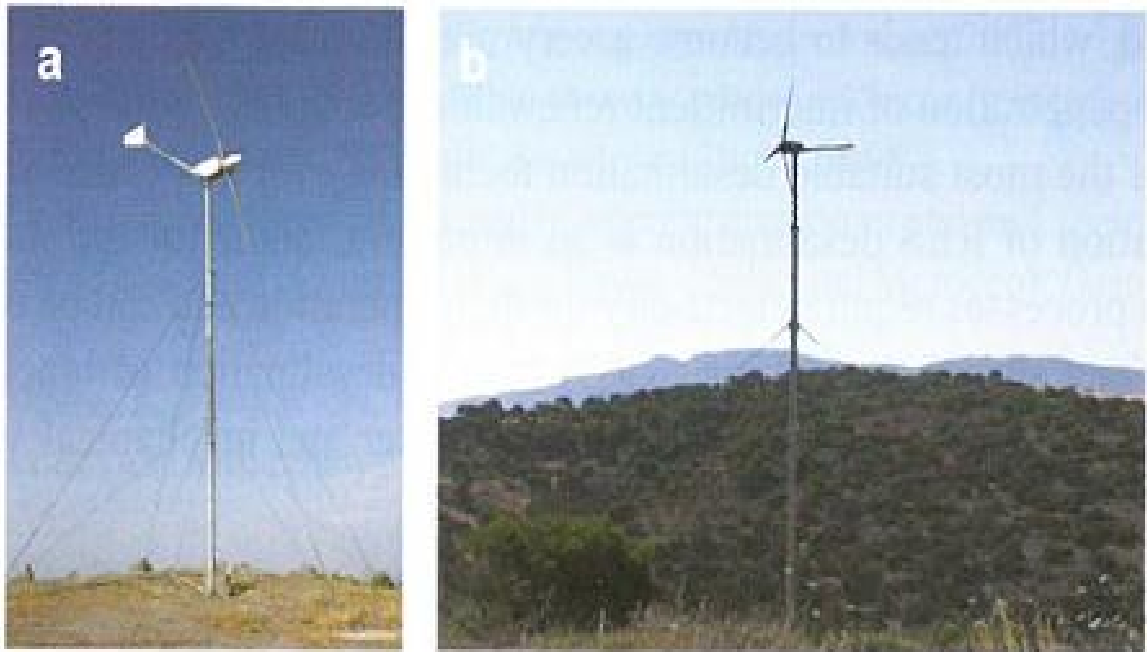


Εικόνα 2.2: Πάρκα ανεμογεννητριών στην Ελλάδα: α) Πελοπόννησο , β) Θράκη

Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών που τώρα είναι σε χρήση για μόνο 25 χρόνια και οι επενδύσεις σε αυτές είναι αρκετές συγκρινόμενες με άλλες ενεργειακές πηγές. Δυο δεκαετίες τεχνολογικής προόδου οδήγησαν στις ανεμογεννήτριες της σημερινής εποχής που είναι υψηλής και τελευταίας τεχνολογίας, μοντέρνες, ρυθμιζόμενη τεχνολογίας και εύκολες και ταχείς στην εγκατάσταση.

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες έχουν βελτιωθεί σημαντικά στην εκτίμηση ενέργειας, στην απόδοση και στην αξιοπιστία.

Οι ανεμογεννήτριες βασικά ταξινομούνται από τη θέση του άξονα περιστροφής, που μπορεί να είναι κάθετος (VAWT, Vertical Axis Wind Turbine), ή οριζόντιος (HAWT, Horizontal Axis Wind Turbine). Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες συνήθως είναι οριζόντιου τύπου (εικόνα 2.3).



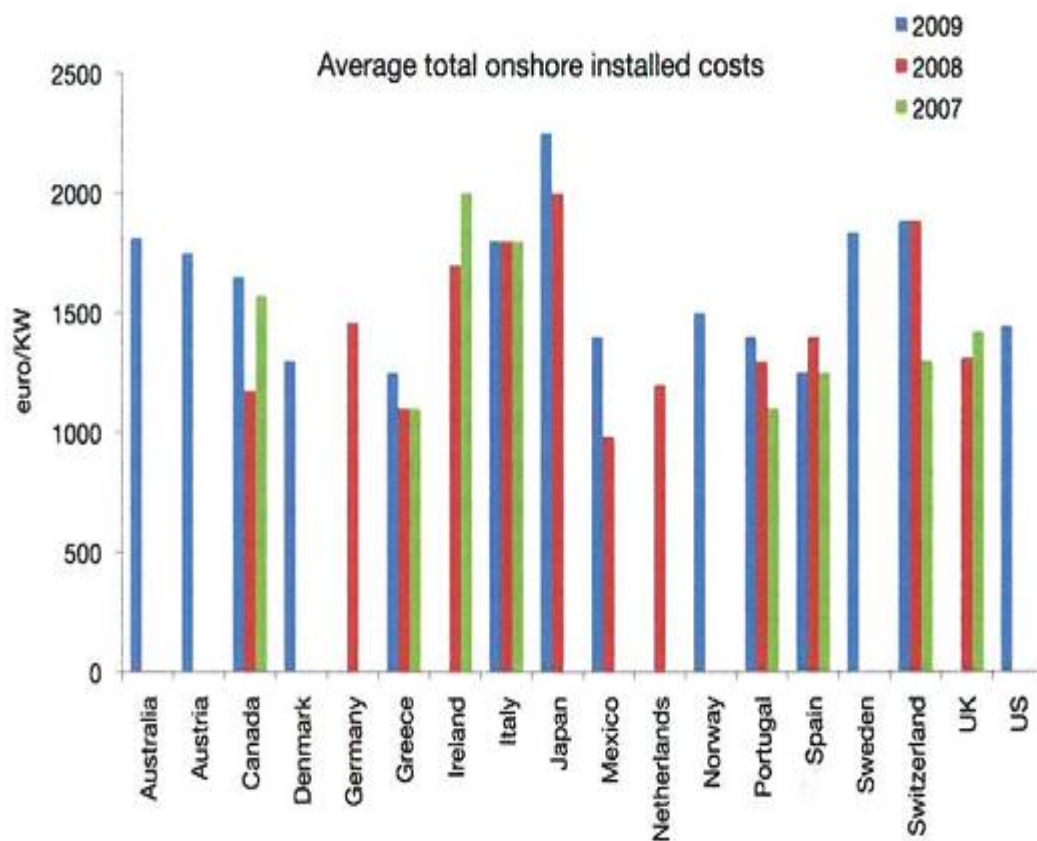
Εικόνα 2.3: Δυο και τριών πτερυγίων μικρές ανεμογεννήτριες: α) 20KW ανεμογεννήτρια στον Αγ. Ευστράτιο, β) 900W ανεμογεννήτρια στο Ενεργειακό Πάρκο του ΚΑΠΕ, Αττική

Σύμφωνα με την Διεθνή Ένωση Ενέργειας το 2012 διεθνώς η ικανότητα αιολικής ενέργειας αυξήθηκε φτάνοντας τα 250MW περίπου σε εγκατεστημένη ισχύ. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών υπολογίζονται στο 20% των συνολικά διεθνώς εγκατεστημένων και η αιολική ενέργεια αντιπροσωπεύει το 10% της συνολικής ικανότητας παραγωγής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Αυτή η ικανότητα αιολικής ενέργειας μπορεί να παράγει 180TWh που καλύπτουν το 5,5% της μέσης κατανάλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση σε έναν μέσο αιολικό χρόνο, αποφεύγοντας περίπου εκπομπές 115 εκατομμύρια τόνους CO₂.

Σήμερα, τα μαθήματα από την λειτουργία των εγκαταστάσεων αιολικής ενέργειας μαζί με το συνεχές R&D έχουν κάνει τον αιολικό ηλεκτρισμό πολύ κοντά στο κόστος από συμβατικές εγκαταστάσεις σε μερικές περιοχές. Το κόστος παραγωγής μειώθηκε κατά 50% τα τελευταία 15 χρόνια και έτσι οδηγούμαστε σε κόστη παραγόμενης ενέργειας από συμβατικές ενεργειακές πηγές. Σήμερα, η παραγωγή αιολικής ενέργειας έχει έρθει σε ένα ιστορικό σημείο, που τα κόστη εγκατάστασης να είναι ανταγωνιστικά με άλλων συμβατικών τεχνολογιών και έτσι οι επενδύσεις να ενισχύονται σε αυτή την κατεύθυνση.

Τα οικονομικά εξαρτώνται από παραμέτρους τεχνικούς, πηγών και επιμέρους επιβαρύνσεων. Αυτά σαφώς μεταβάλλονται από χώρα σε χώρα. Γενικά, το κόστος του εξοπλισμού αντιπροσωπεύει το υψηλότερο ποσοστό του συνολικού κόστους επένδυσης. Τα κόστη για κατασκευές ηλεκτρικές και δομικές, μεταφορές, αγορά περιοχής μπορούν να μεταβάλλονται από 25-35% στο κόστος των εγκατεστημένων γεννητριών. Το ετήσιο λειτουργικό κόστος και το κόστος συντήρησης είναι περίπου το 1,5% της αρχικής επένδυσης. Γενικά από μελέτες έχει προκύψει ότι το μέσο κόστος μεταβάλλεται από 720 ευρώ/ KW έως και 1800 ευρώ/KW.

Η εικόνα 2.4 δείχνει τις τάσεις των εγκατεστημένων κοστών για αιολικές εγκαταστάσεις ανά χώρα.



Εικόνα 2.4: Μέσα συνολικά κόστη αιολικών εγκαταστάσεων σε διάφορες χώρες (Πηγή από Διεθνή Ενωση Ενέργειας, IEA)

Η Αιολική Ευρωπαϊκή Βιομηχανική Πρωτοβουλία έχει σαν στόχο να κάνει την αιολική ενέργεια μια από τις φθηνότερες πηγές ηλεκτρισμού και να επιτρέψει μια ομαλή και αποτελεσματική ενσωμάτωση μεγάλων ποσών αιολικού ηλεκτρισμού στο δίκτυο. Για να επιτευχθεί αυτό, ειδικές προσπάθειες πρέπει να γίνει μεγάλη αύξηση της ικανότητας παραγωγής ενέργειας από τις μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες (από 5-6MW έως 10-20 MW) και επίσης να αξιοποιηθεί το μεγάλο δυναμικό του ανέμου στη θάλασσα.

Επιπροσθέτως στις γεννήτριες κλίμακας MW, μέσα μεγέθη των 600-850kW κατασκευάζονται σε πολλές χώρες για μονές εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών ή μικρών μονάδων αιολικής ενέργειας.

Αν και σημασία έχει δοθεί σε μεγάλα συνδεδεμένα αιολικά πάρκα, υπάρχουν πολλές άλλες εφαρμογές όπως, αυτόνομα αιολικά συστήματα για άντληση νερού, αφαλάτωση νερού ακόμα και τοπικά συστήματα παροχής ενέργειας με σύζευξη με γεννήτριες ντίζελ.

2.3 Αιολική ενέργεια για παραγωγή πόσιμου νερού

Σχετικά με θέματα ανέμου και νερού, η πρώτη εφαρμογή της αιολικής ενέργειας ήταν η χρήση των ανεμόμυλων για άντληση νερού κατά τον 19^ο αιώνα, αρχίζοντας από τον ανεμόμυλο του Halladay το 1854 (εικόνα 2.1^α). Πολλά χρόνια αργότερα η χρήση των ανεμογεννητριών για την παραγωγή πόσιμου νερού με αφαλάτωση φαίνεται να είναι μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση. Σήμερα, το ταίριασμα της αιολικής ενέργειας με την αφαλάτωση είναι ευρέως γνωστή άποψη και είναι εμπορικά διαθέσιμη σε διάφορες μορφές.

Ένα από τα προβλήματα χρήσης αιολικής ενέργειας σε εφαρμογές αφαλάτωσης είναι η μεταβλητή φύση της πηγής. Η αποθήκευση της αιολικής ενέργειας στη μορφή της ηλεκτρικής ισχύος είναι πρακτική μόνο εάν μικρές ποσότητες συμμετέχουν. Οι συσσωρευτές αποθήκευσης αυξάνουν το συνολικό κόστος επένδυσης και έτσι για να οδηγήσεις μια διαδικασία κάθε μεγέθους σε αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι μια πρακτική πρόταση.

Μεταβλητή εισαγωγή ισχύος θα οδηγήσει την εγκατάσταση αφαλάτωσης να λειτουργεί σε μη βέλτιστες συνθήκες και αυτό μπορεί να δημιουργήσει λειτουργικά προβλήματα. Για να αποφευχθούν οι διακυμάνσεις συμφυείς με τις ΑΠΕ, διαφορετικά συστήματα αποθήκευσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Σήμερα, υπάρχει μια αγορά σχετικά με αιολικά συστήματα αφαλάτωσης προσφέροντας συστήματα ατομικά ή με σύνδεση στο δίκτυο πολλών μεγεθών. Τα περισσότερα από αυτά χρησιμοποιούν τη διαδικασία αφαλάτωσης της αντίστροφης ώσμωσης.

2.3.1 Αιολικά συστήματα αντίστροφης ώσμωσης

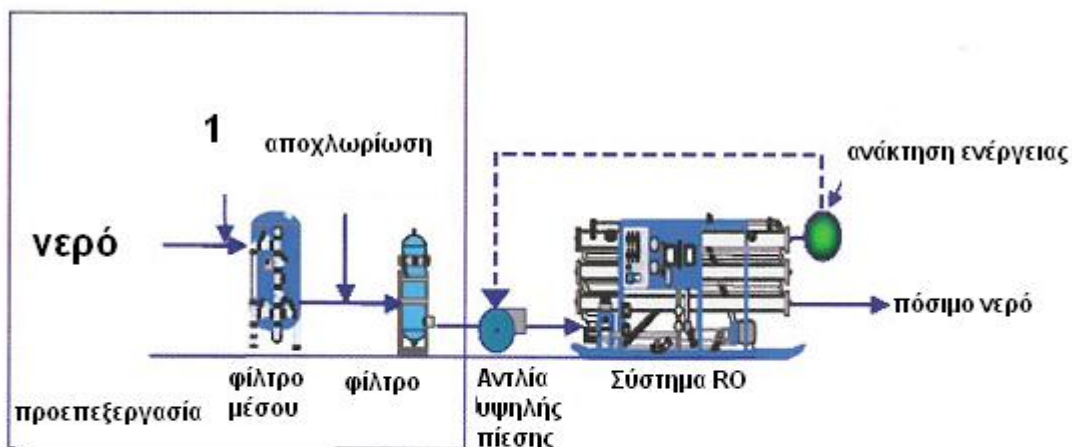
Η αντίστροφη ώσμωση (RO) είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη διαδικασία για αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Η διαδικασία RO περιλαμβάνει το αναγκαστικό πέρασμα του νερού μέσα από μια μεμβράνη ενάντια της φυσικής ωσμωτικής πίεσης για την επίτευξη διαχωρισμού του νερού και των ιόντων. Το ποσό του αφαλατωμένου νερού που μπορεί να ληφθεί μεταβάλλεται από 30-75% του όγκου του νερού εισαγωγής, εξαρτώμενο από την ποιότητα του αρχικού νερού (υφάλμυρο ή θαλασσινό), την ποιότητα του προϊόντος που απαιτείται και την τεχνολογία και τις μεμβράνες που θα εμπλακούν.

Μια τυπική εγκατάσταση μιας μονάδας RO φαίνεται στην εικόνα 2.5.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, οι απαιτήσεις ενέργειας για τη λειτουργία μονάδων RO θαλασσινού νερού με τη χρήση συστημάτων ανάκτησης ενέργειας έχουν δραματικά μειωθεί σε περίπου 3KWh/m³.

Άλλα πλεονεκτήματα της διαδικασίας RO είναι ο εύκολα διαμορφώσιμος σχεδιασμός και οι συμπαγείς εγκαταστάσεις, η ικανοποιητική απόδοση σε όλα τα μεγέθη και η εύκολη λειτουργία.

Όσον αφορά την αιολική ενέργεια και το ταίριασμα με το RO, ένας μεγάλος αριθμός μονάδων έχουν σχεδιαστεί και ελεγχθεί. Οι περισσότερες από αυτές είναι συστήματα αυτόνομα που έχουν αναπτυχθεί με ερευνητική εργασία. Ο Πίνακας 2.1 δείχνει διαφορετικές εγκαταστάσεις ανέμου-RO στην Ευρώπη.



1: Πρόσθεση χημικών:

- ρυθμίσεις pH
- χλώριο
- επικαθήσεων

Εικόνα 2.5: Τυπική διαμόρφωση και στοιχεία μιας μονάδας RO.

Πίνακας 2.1: Εφαρμογές ανέμου-RO (ενδεικτικές εφαρμογές στην Ευρώπη)

Θέση	Ικανότητα (m^3h^{-1})	RO	Ηλεκτρική παροχή	Ετος εγκατάστασης
Ile du Planier, Γαλλία	0.5		4 KW W/T	1982
Νησί Suderoog, Γερμανία	0.25-0.37		6 KW W/T	1983
Νησί Helgoland, Γερμανία	40		1.2MW W/T + ντίζελ	1988
Fuerteventura, Ισπανία	2.3		225KW W/T + 160KVA ντίζελ	1995
Κανάρια Νησιά, Ισπανία	8		460KW W/T	1995
Νησί Θηρεσία, Ελλάδα	0.2		15KW W/T + 440 Ah συσσωρευτές	1996
Νησί Σύρος,	2.5-37.5		500KW W/T,	1998

Ελλάδα		αυτόνομο + διασυνδεδεμένο	
Κερατέα, Ελλάδα	0.13	900W W/T, 4KWp PV, συσσωρευτές	2002
Κανάρια Νησιά, Ισπανία	0.8	15KW W/T + 190 Ah συσσωρευτές	2004
Παν. Loughborough, UK	0.5	2.5 kW, χωρίς συσσωρευτή	2002
Νησί Μήλος, Ελλάδα	6 x 600	850KW W/T, διασυνδεδεμένο	2008
Νησί Ηράκλεια, Ελλάδα	3.3	30kW W/T, σύστημα επίπλευσης, συσσωρευτές	2007
Παν. Ολλανδία	Delf, 0.2-0.4	Ανεμόμυλος, χωρίς συσσωρευτή	2008

W/T: Ανεμογεννήτριες, PV: φωτοβολταϊκό

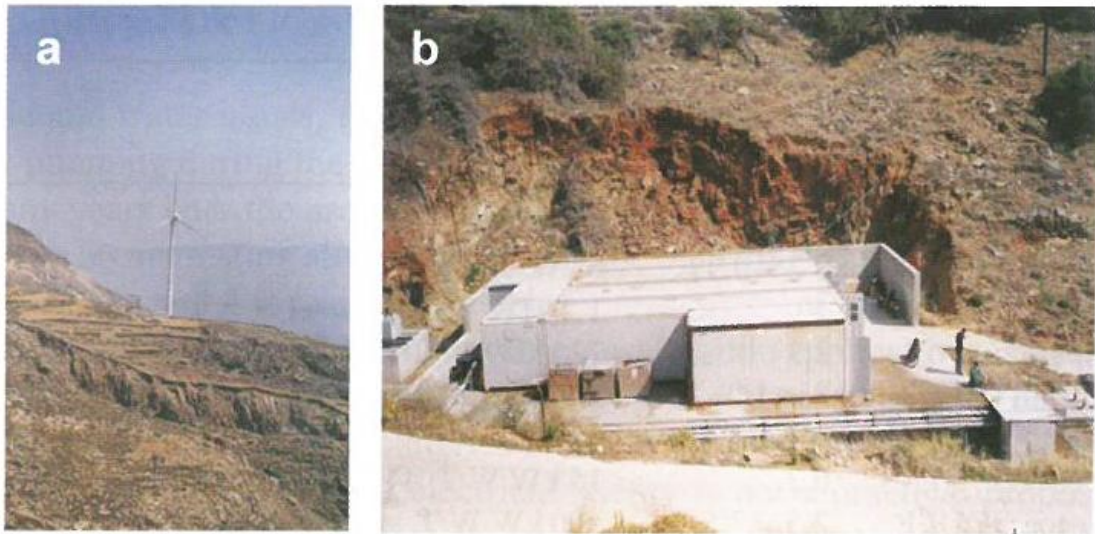
Το 1982 ένα μικρό σύστημα εγκαταστάθηκε στο Ile du Planier της Γαλλίας όπου η γεννήτρια που παρείχε 4kW ήταν σε σύζευξη με ένα σύστημα αφαλάτωσης RO ικανότητας 0.5m³/h. Το σύστημα ήταν σχεδιασμένο να λειτουργεί είτε μέσω απευθείας σύζευξης ή μέσω συσσωρευτών. Άλλο παράδειγμα ήταν η σύνδεση της αιολικής ενέργειας και της αντίστροφης ώσμωσης στο νησί Drebec στη Γαλλία όπου εγκαταστάθηκε το 1990 και μια ανεμογεννήτρια 10kW καθοδηγεί μια μονάδα RO παράγοντας 0.5m³/h πόσιμου νερού.

Πιο πρόσφατα, πολλές R&D εφαρμογές έχουν εφαρμοστεί, όπως το σύστημα αφαλάτωσης με χρήση ανέμου στην περιοχή του Δρεπάνου στη βιομηχανία τσιμέντου που εδράζεται στην περιοχή κοντά στην Πάτρα. Η εφαρμογή αυτή περιλαμβάνει μια ανεμογεννήτρια 35KW που ενεργοποιήθηκε το 1992 και ολοκληρώθηκε το 1995. Αυτή η εφαρμογή είχε δύο μονάδες RO με ικανότητα παραγωγής 5 m³/ημέρα έως και 22 m³/ημέρα αλλά μέχρι το 1995 δεν υπήρχαν καλά αποτελέσματα λόγω του χαμηλού αιολικού δυναμικού.

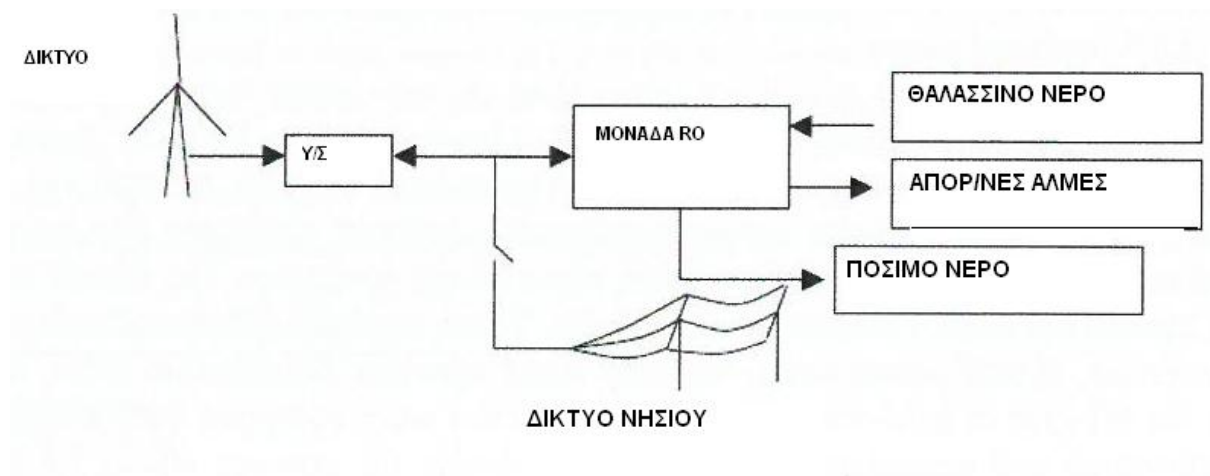
Οι πιο γνωστές RO εγκαταστάσεις που είναι μεγαλύτερες από όσες αναφέρθηκαν που ενισχύονται από άνεμο είναι αυτές στο Νησί Σύρος στην Ελλάδα και στην Τενερίφη στην Ισπανία που αναπτύχθηκαν μέσω προγράμματος έρευνας της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Ο σκοπός αυτού του προγράμματος ήταν η ανάπτυξη μιας ιδέας οικογένειας διαμορφώσιμων εγκαταστάσεων αφαλάτωσης, που θα είναι προσαρμοσμένες σε ευρύ πεδίο περιοχών και κάνοντας χρήση τοπικά διαθέσιμων πηγών αιολικής ενέργειας. Η ιδέα της οικογένειας βασίστηκε σε έναν ελάχιστο αριθμό τυποποιημένων μονάδων. Αυτές οι μονάδες (προκεχωρημένης τεχνολογίας μετατροπείς αιολικής ενέργειας, υβριδικές μονάδες ισχύος, μεταβλητού μεγέθους μονάδες αφαλάτωσης, σχεδιασμός για λειτουργία σε διασυνδεδεμένο ή όχι δίκτυο κ.α) ήταν εξοπλισμένες με υψηλά ευέλικτο σύστημα διαχείρισης και ρύθμισης της ισχύος. Επιπλέον, η ιδέα επιτρέπει την παράλληλη παραγωγή νερού και ηλεκτρισμού σύμφωνα με τις ανάγκες του διαχειριστή και χρήστη του συστήματος αυτού. Το σύστημα στην Τενερίφη ήταν το πρώτο που κατασκευάστηκε να αποτελείται από 30kW W/T σε σύζευξη με δύο μονάδες RO. Η μονάδα στη Σύρο βασίζεται σε 500kW W/T και 8 μονάδες RO με μια έξοδο μεταξύ 60 και 900m³/ημέρα πόσιμου νερού (εικόνα 2.6). Η μικρότερη μονάδα στην Τενερίφη χρησιμοποιήθηκε να ελέγξει κάποια στοιχεία πριν την κατασκευή της μεγαλύτερης μονάδας στη Σύρο (Πίνακας 2.2).

Στο έργο της Σύρου, η μονάδα 500kW W/T συζεύχθηκε με ένα σύστημα διαχείρισης δικτύου που επιτρέπει τον έλεγχο της συχνότητας του ρεύματος και τον έλεγχο της τάσης και αυτοπροσαρμογή του μετατροπέα της αιολικής ενέργειας στο ισχνό ηλεκτρικό δίκτυο του νησιού (εικόνα 2.7). Ο ηλεκτρισμός από την ανεμογεννήτρια αποθηκεύεται σε σύστημα αποθήκευσης ενέργειας που περιλαμβάνει μια γεννήτρια ντίζελ, συσσωρευτές και βολάν (ρυθμιστικό σφόνδυλο). Η έξοδος τροφοδοτεί την μονάδα RO και το δίκτυο ηλεκτρισμού.



Εικόνα 2.6: Μονάδα RO στη Σύρο: α) 500 KW W/T, β) μονάδα RO.



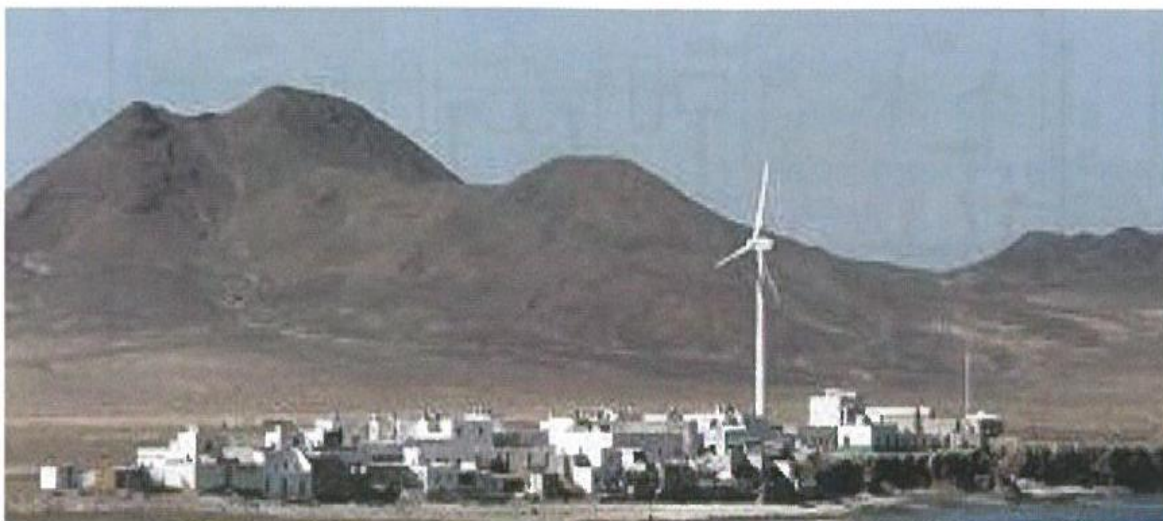
Εικόνα 2.7: Σχεδιασμός μονάδας Ανέμου-RO στη Σύρο.

Πίνακας 2.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά των 2 μονάδων στην Τενερίφη και τη Σύρο.

Μονάδα	Τενερίφη, Ισπανία	Σύρος, Ελλάδα
Θέση εγκατάστασης	Αιολικό πάρκο της Granadilla	Σύρος
Χαρακτηριστικά	ENERCON E-12 με σύγχρονη γεννήτρια με μαγνήτη, 30KW ονομαστική ισχύ και παθητικό σύστημα εκτροπής	ENERCON E-40 με σύγχρονη γεννήτρια με δακτύλιο, 500KW ονομαστική ισχύ και σύστημα διαχείρισης δικτύου
Σύστημα αποθήκευσης	Δεν περιλαμβάνει το προαιρετικό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας	Περιλαμβάνει σύστημα αποθήκευσης ενέργειας
Αριθμός μονάδων RO	1	8
Μέγιστη ισχύς της μονάδας RO	200KW	200KW
Ικανότητα αφαλάτωσης	60-110m ³ /ημέρα	60-900m ³ /ημέρα
Αποθήκευση νερού	1 δεξαμενή 14m ³ από προ-φιλτραρισμένου νερού και 1 δεξαμενή 14m ³ για παραγωγή νερού.	

Εφαρμογές RO πραγματοποιήθηκαν και για ειδικές χωρικές εγκαταστάσεις όπως στο νησί Fuerteventura στα Κανάρια νησιά για να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με ειδικές εφαρμογές και συνθήκες.

Έτσι, το σχέδιο εξέτασε τις στρατηγικές λειτουργίας ενός συστήματος ανέμου-ντίζελ που εγκαταστάθηκε σε μια απομονωμένη κοινότητα χωριού ψαράδων με έναν μόνιμο πληθυσμό 60 κατοίκων στο παραπάνω νησί. Το σύστημα αποτελείται από συνδυασμό αιολικής ισχύος-συστήματος ντίζελ για την παροχή ενέργειας, νερού, ψύξης και πάγου στο χωριό αυτό (εικόνα 2.8).



Εικόνα 2.8: Οψη της εγκατάστασης στο χωριό Punta Jandia του νησιού Fuerteventura στα Κανάρια νησιά.

Το σύστημα παροχής ισχύος αποτελείται από έναν μετατροπέα αιολικής ενέργειας 225kW και δύο ντιζελομηχανές 160kVA με βολάν και σύγχρονη γεννήτρια των 75KVA η καθεμιά για την παραγωγή ηλεκτρισμού για τη διατήρηση των αλιευμάτων, μια μονάδα επεξεργασίας νερού αποβλήτων 25m³/ημέρα, μια μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού 56m³/ημέρα και επίσης δημόσιο και ατομικό φωτισμό για περίπου 300 ανθρώπους.

Μια μονάδα ανέμου-RO εγκαταστάθηκε στο νησί Θηρεσία (Ελλάδα) το 1997. Η μονάδα αφαλάτωσης είχε ικανότητα 0.2m³/h και μια ονομαστική ισχύ 15kW. Το έργο ήταν σημαντικής σπουδαιότητας αφού ήταν η δεύτερη πηγή νερού στο νησί. Η 1^η πηγή νερού ήταν η μεταφορά νερού με δεξαμενές που το κόστος της μεταφοράς του νερού ήταν πολύ υψηλό και η ποιότητα του νερού άγνωστη και πολλές φορές ήταν επικίνδυνο για πόση και έτσι καθιερώθηκε η αφαλάτωση μιας και οι ανάγκες μπορούσαν να καλυφθούν από αναβάθμισή του.

Ένα αυτόνομο υβριδικό ηλιακό/αιολικό σύστημα αναπτύχθηκε το 2000 από την επιχείρηση ανάπτυξης της Ηλεκτρικής Εταιρίας του Ισραήλ. Ο σκοπός αυτού του έργου ήταν η ανάπτυξη και προώθηση ενός αυτόνομου συστήματος αφαλάτωσης για απομακρυσμένες και απομονωμένες περιοχές που στερούνται πηγών νερού. Το σύστημα χρηματοδοτήθηκε από την 4^ο Πλαίσιο Στήριξης της Ευρωπαϊκής Ένωσης και αποτελείται από RO μονάδα σχεδιασμένη να παράγει 3m³/day πόσιμου νερού

από υφάλμυρο νερό που έχει αλατότητα από 3500 έως 5000mg/L (TDS, Total Dissolved Solids, Ολικά διαλυμένα στερεά). Το παροχετευόμενο νερό αντλείται από ένα πηγάδι υφάλμυρου νερού. Μια δεξαμενή αποθήκευσης νερού 5m³ αποθηκεύει το παραγόμενο νερό. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί να βασίζεται στην προϋπόθεση ότι η μέση ταχύτητα του ανέμου στην εγκατάσταση θα είναι περίπου 4-5m/s και το επίπεδο της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας θα είναι περίπου 5-5.5KWh/m² την ημέρα. Η παροχή ισχύος αποτελείται από ένα σύστημα PV 3.5kWp και μια ανεμογεννήτρια 600W που χρησιμοποιείται μόνο σαν εφεδρικό σύστημα. Ένας μετατροπέας DC-AC χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της DC ισχύος από το συσσωρευτή και αντίθετα. Το κόστος της παραγωγής πόσιμου νερού είχε εκτιμηθεί σε 7.5ECU/m³ (1999).

Το 1999 μέσω του προγράμματος SDAWES (Seawater Desalination by an Autonomous Wind Energy System = Αφαλάτωση θαλασσινού νερού από αυτόνομο σύστημα αιολικής ενέργειας) μια μονάδα ανέμου-RO εγκαταστάθηκε και ελέγχθηκε στη θέση Pozo Izquierdo στα Μεγάλα Κανάρια. Η ανεμογεννήτρια που παροχετεύει την εγκατάσταση RO είναι μέρος ενός μεγαλύτερου έργου που περιλαμβάνει τριών διαδικασιών αφαλάτωσης που ήταν επιχορηγούμενο από την Ε.Ε. Η εγκατάσταση και ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε από το 1999 έως το 2002.

Η εγκατάσταση περιλαμβάνει τρία διαφορετικά συστήματα αφαλάτωσης, μια αντίστροφη ώσμωση (8 x 25m³/day), μια συμπίεση ατμού (50m³/day) και μια ηλεκτροδιάλυση αντιστροφής (190m³/day) σε μια αιολική φάρμα εκτός δικτύου (η πρώτη στον κόσμο που συνδέθηκε σε μονάδα αφαλάτωσης) με σκοπό να παράγει πόσιμο νερό. Η ονομαστική ικανότητα παραγωγής νερού ήταν 440m³/day.

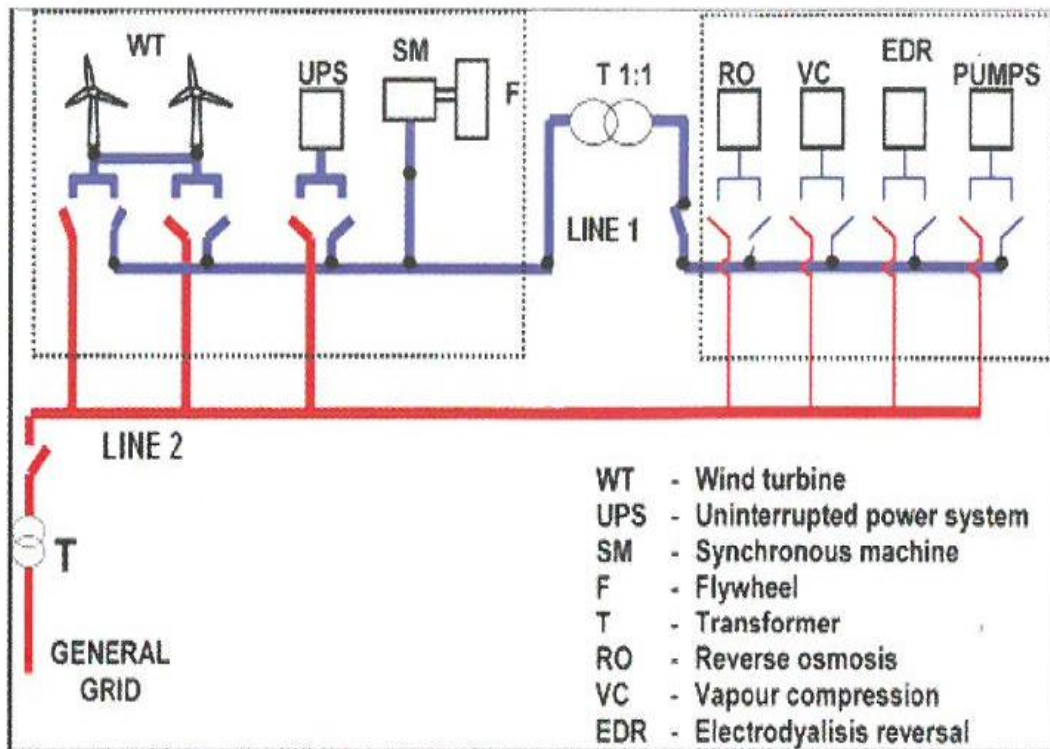
Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.9, το σύστημα βασίζεται σε δύο ηλεκτρικά κυκλώματα, τη μπλέ γραμμή (Γραμμή 1) που δείχνει την παροχή από την εκτός δικτύου αιολική φάρμα και την κόκκινη γραμμή (Γραμμή 2) που δείχνει την παροχή από το γενικό δίκτυο.

Σχετικά με τη μονάδα RO, η ροή του παραγόμενου νερού και η αγωγιμότητα επηρεάζονται ελαφρώς από τις μεταβολές στην συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου.

Οι μέσες ημερήσιες αγωγιμότητες είναι πρακτικά ανεπηρέαστες από τις αποδεκτές μειώσεις στη συχνότητα του ηλεκτρικού ρεύματος (52-48 Hz) και δεν παράγουν υψηλές αυξήσεις στην ηλεκτρική αγωγιμότητα (περίπου 28μS/cm).

Όμως, ακριβείς διακυμάνσεις ανιχνεύονται στις μικρές περιόδους με ασταθή συχνότητα (λειτουργία υπό ελάχιστη ταχύτητα ανέμου).

Σύμφωνα με σχετικές υπολογιστικές προσομοιώσεις, οι διακυμάνσεις ροής που δημιουργούνται από την μεταβλητή παροχή ισχύος μπορεί να ευνοικές σε όρους μείωσης της πολικότητας συγκέντρωσης στις RO, εξαρτώμενες από την συχνότητα και το πλάτος των διακυμάνσεων.

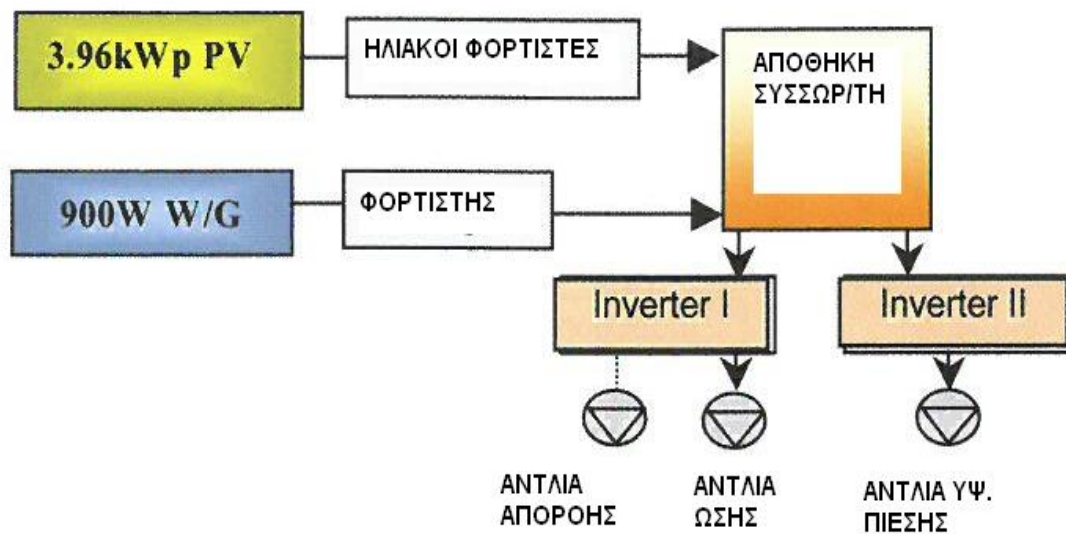


Εικόνα 2.9: Διαμόρφωση του συστήματος αφαλάτωσης.

Σύμφωνα με τους ερευνητές, ένα από τα σπουδαιότερα συμπεράσματα των ελέγχων είναι ότι η τεχνολογία RO είναι η πιο κατάλληλη για σύζευξη σε μια αιολική φάρμα εκτός δικτύου. Παρ' όλα αυτά κάθε τεχνολογία αφαλάτωσης έχει δυνατότητες να βελτιώσει τη λειτουργία με εκτός δικτύου αιολικές φάρμες αναπτύσσοντας ειδικούς σχεδιασμούς.

Το 2001 μέσω ενός Εθνικού προγράμματος, το Υπουργείο Ανάπτυξης και το ΚΑΠΕ ανέπτυξαν ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα RO. Αυτό το έργο σχετίζεται με το σχεδιασμό και ανάπτυξη μιας μικρής υβριδικής αυτόνομης μονάδας RO θαλασσινού νερού που θα είναι ικανή να παρέχει πόσιμο νερό σε απομακρυσμένη περιοχή με περίπου 10 κατοίκους έχοντας στη σκέψη ότι η Ελλάδα έχει ένα μεγάλο αριθμό από

μικρά νησιά με λίγους κατοίκους που στις πιο πολλές περιπτώσεις είναι απομακρυσμένα και απομονωμένα με προβλήματα παροχής ηλεκτρισμού και νερού. Το υβριδικό αυτό σύστημα RO κύρια αποτελείται από φωτοβολταικές γεννήτριες 3.96kWp, μια ανεμογεννήτρια 900W, μια μονάδα θαλασσινού νερού-RO 130L/h, μια αποθήκη συσσωρευτή 1800Ah/100h και δύο μετατροπείς με ονομαστικές ισχύεις 1.5kW και 4kW (εικόνες 2.10 και 2.11). Το σύστημα είναι ακόμα και σήμερα σε λειτουργία για σκοπούς παρουσίασης.

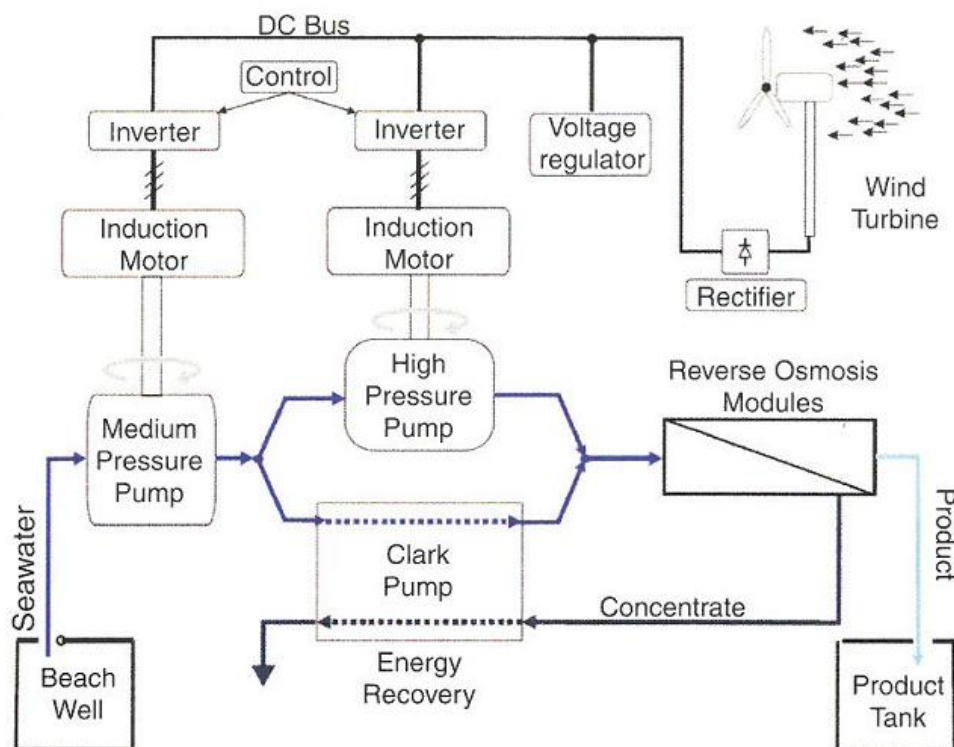


Εικόνα 2.10: Διαμόρφωση της υβριδικής μονάδας RO του ΚΑΠΕ.



Εικόνα 2.11: Μονάδα RO υβριδική στο ΚΑΠΕ, α) μονάδα 130L/h θαλασσινού νερού, β) σύστημα αποθήκευσης συσσωρευτή, μετατροπείς

Μια μικρής κλίμακας μονάδα θαλασσινού νερού-RO με παροχή από τον άνεμο χωρίς συσσωρευτές (εικόνα 2.12) παρουσιάστηκε το 2003 στο Πανεπιστήμιο του Loughborough στο UK. Το σύστημα λειτουργούσε σε μεταβλητή ροή και μεταβλητή πίεση σύμφωνα με την διαθέσιμη μεταβλητή ισχύ από τον άνεμο. Η πίεση του συστήματος κυμαινόταν από 38 έως 51 bar (3.8-5.1 MPa) κατά τη διάρκεια των ελέγχων. Η ανάκτηση ενέργειας παρέχονταν από μια αντλία. Το νερό που παρεχόταν για τον έλεγχο ήταν καθαρό διάλυμα NaCl με TDS περίπου 32800mg/L για μίμηση της ωσμωτικής πίεσης του θαλασσινού νερού. Η συγκέντρωση του παραγόμενου νερού ποίκιλε από 470 έως 800mg/L. Η ανεμογεννήτρια ήταν 2.5kW χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων με μεταβλητής ταχύτητας γεννήτριας μόνιμου μαγνήτη. Έχει τρία πτερύγια, διάμετρο ρότορα 3.5m και μια ταχύτητα ρότορα των 300rpm. Δεν υπάρχουν συσσωρευτές ή άλλης μορφής αποθήκευση ενέργειας. Αυτό οδηγεί την εγκατάσταση σε συχνή αντικατάσταση της μεμβράνης.

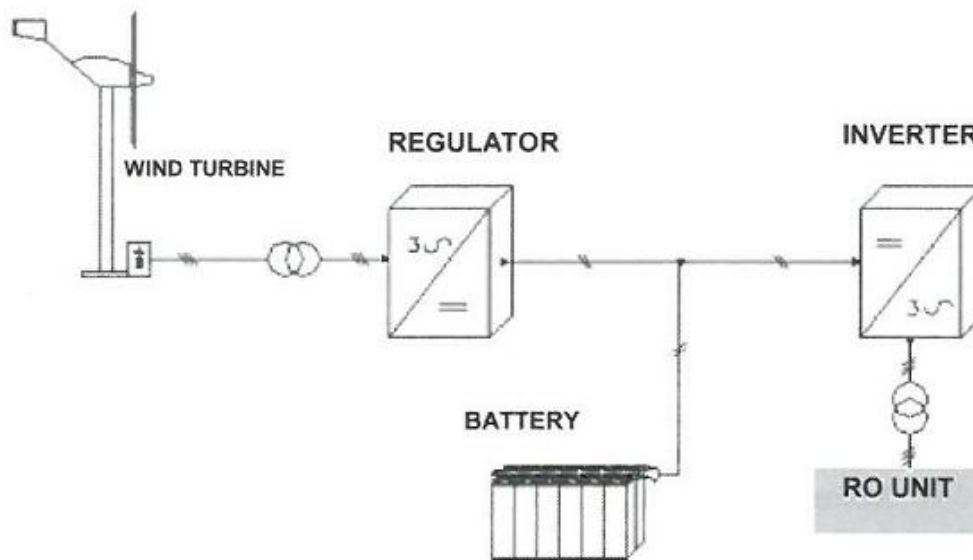


Εικόνα 2.12: Διάγραμμα ροής της πιλοτικής μονάδας ανέμου-RO του Παν. Loughborough.

Ένα αυτόνομο σύστημα ανέμου-RO εγκαταστάθηκε στο Pozo Izquierdo στα Μεγάλα Κανάρια το 2003. Η εγκατάσταση άρχισε τη λειτουργία της το 2004. Ο σκοπός αυτού του έργου ήταν η ηλεκτρική σύζευξη μιας εμπορικής ανεμογεννήτριας σε μονάδα RO για αφαλάτωση νερού, λειτουργώντας υπό σταθερό καθεστώς και διαχείριση της αποθήκευσης και της διαθέσιμης χρήσης της αιολικής ενέργειας μέσω μικρής μονάδας συσσωρευτή.

Το σύστημα αποτελείται από μια ανεμογεννήτρια 15kW, ένα συσσωρευτή 190Ah μολύβδου-οξέος, έναν μετατροπέα και μια μονάδα RO 0.8m³/h (εικόνα 2.13). Η μονάδα RO αποτελείται από 2 δοχεία πίεσης σε σειρά με δύο μεμβράνες καθένα. Η αλατότητα του νερού που παρέχεται είναι 35500 mg/L TΔΣ. Το παραγόμενο νερό έχει αλατότητα μικρότερη των 500mg/L TDS.

Η ονομαστική πίεση της λειτουργίας της μονάδας RO είναι 55 bar (5.5 MPa) και ο ρυθμός ανάκτησης είναι του 37%. Η αντλία υψηλής πίεσης που είναι το κυριότερο φορτίο της μονάδας RO είναι 7.5kW. Ο κινητήρας της αντλίας είναι τριφασικός. Η ειδική κατανάλωση ενέργειας της μονάδας RO είναι 7kWh/m³.



Εικόνα 2.13: Τυπική διαμόρφωση ενός αυτόνομου συστήματος ανέμου-RO.

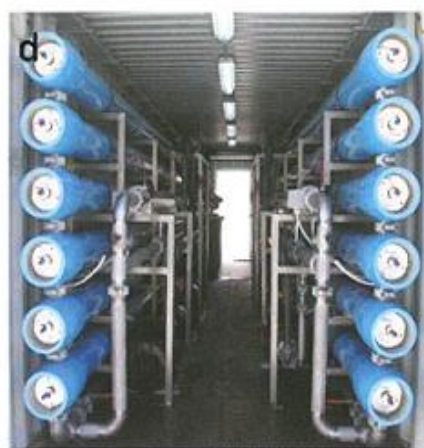
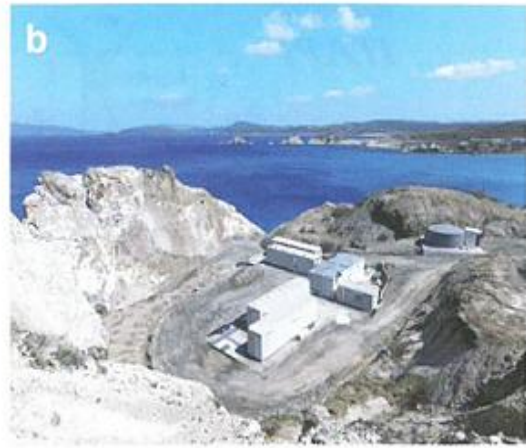
Το 2008, μια μονάδα αφαλάτωσης εγκαταστάθηκε και άρχισε τη λειτουργία της στο νησί της Μήλου στην Ελλάδα (εικόνα 2.14). Το έργο χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Ανάπτυξης. Η μονάδα ανέμου-RO αποτελείται από μια ανεμογεννήτρια 850kW συνδεδεμένης στο δίκτυο για να καλύπτει την ενέργεια της μονάδας RO για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού. Το 2009 η μονάδα αύξησε την ικανότητά της από 2000m³/day σε 3600m³/day πόσιμου νερού.

Αυτή η παραγωγή είναι επαρκής για να καλύψει τις σημερινές ανάγκες του νησιού. Έως το 2008 το νησί κάλυπτε τις ανάγκες του σε νερό μέσω της μεταφοράς με δεξαμενές, όπως και στα περισσότερα νησιά των Κυκλάδων. Τα κόστη νερού κυμαίνονταν από 5-8 ευρώ/m³, ενώ από το 2010 και μετά το κόστος μεταφοράς του νερού στα περισσότερα νησιά του Αιγαίου αυξήθηκε σε 12.5 ευρώ/m³.

Αυτό το έργο σχεδιάστηκε να καλύψει τη συνεχή αύξηση των αναγκών για πόσιμο νερό σε νησί, παρέχοντας υψηλής ποιότητας νερό που θα συμμορφώνεται με τα υψηλότερα πρότυπα σε 24ωρη βάση σε πολλή μικρότερο κόστος από το τωρινό. Στη σχετική βιβλιογραφία, το κόστος παραγωγής νερού από τη μονάδα ανέμου-RO είναι περίπου 1.8 ευρώ/m³, άρα πολύ χαμηλό σε σχέση με τα κόστη μεταφοράς και την επικινδυνότητα λόγω της ανασφαλούς ποιότητας λόγω συνθηκών μεταφοράς αλλά και πηγής προέλευσης.

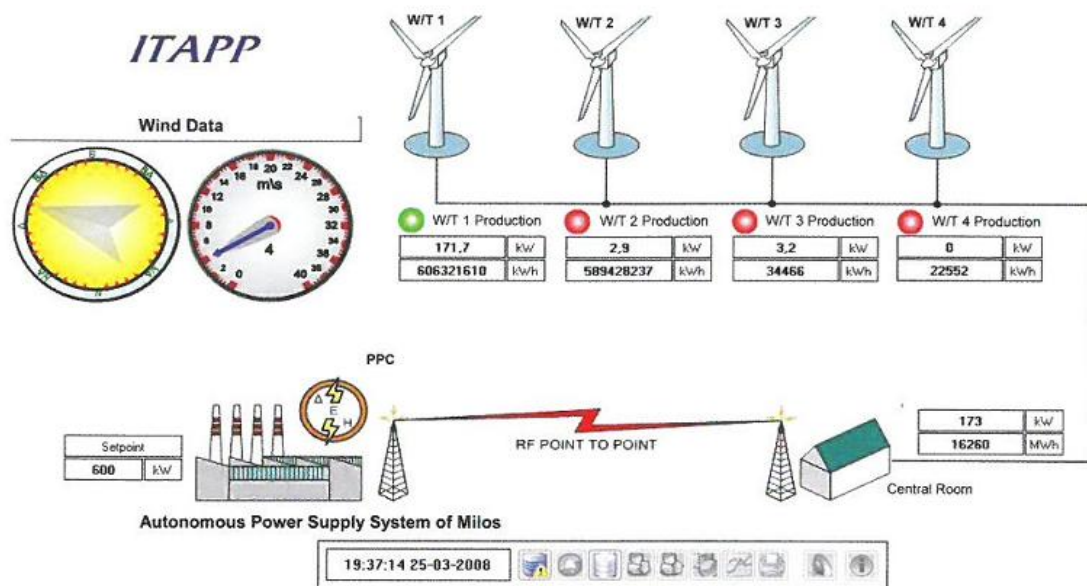
Η μονάδα RO εδράζεται σε παλιό ορυχείο στη Μήλο και αποτελείται από τις παρακάτω μονάδες:

- Μονάδα RO για αφαλάτωση νερού 3600m³/day (6 x 600m³/day)
- Δεξαμενές πόσιμου νερού ικανότητας 3000m³.
- Σωληνώσεις μεταφοράς για πόσιμο νερό από τη μονάδα RO στις δεξαμενές αποθήκευσης.
- Ανεμογεννήτρια 850kW (η ανεμογεννήτρια εγκαταστάθηκε σε ήδη υπάρχον αιολικό πάρκο), η μέση ετήσια παραγωγή ηλεκτρισμού της ανεμογεννήτριας εκτιμάται σε 1,800,000 kWh.
- Σύστημα SCADA για έλεγχο και ισορροπία της λειτουργίας των μονάδων σύμφωνα με το ηλεκτρικό φορτίο του νησιού και την κατάσταση λειτουργίας της θερμικής μονάδας (εικόνα 2.15).



Εικόνα 2.14: Αποψη της μονάδας ανέμου-RO στη Μήλο, α) το αιολικό πάρκο, β) η μονάδα RO, γ) δωμάτιο ελέγχου της μονάδας RO, δ) μονάδες RO σε κονταίνερ.

Με την χρήση των συσκευών ανάκτησης ενέργειας παλιότερης τεχνολογίας και τη χρήση υψηλής απόδοσης αντλιών, η ειδική κατανάλωση ενέργειας της μονάδας RO είναι περίπου 2.5KWh/m^3 .



Εικόνα 2.15: Το σύστημα SCADA που παρέχει δεδομένα για την κατάλληλη λειτουργία και συνεργασία της ανεμογεννήτριας με το δίκτυο ηλεκτρισμού.

2.3.2 Συστήματα συμπίεσης ατμού ανέμου

Η απόσταξη συμπιεσμένου ατμού (Vapor Compression, VC) είναι μια θερμική διαδικασία που συνήθως χρησιμοποιείται για μικρής και μεσαίας κλίμακας μονάδες αφαλάτωσης. Η απόσταξη VC παίρνει πλεονέκτημα από την αρχή της μείωσης της θερμοκρασίας του σημείου βρασμού μειώνοντας την περιβάλλουσα πίεση, αλλά η θερμότητα για εξάτμιση του νερού προέρχεται από τη συμπίεση του ατμού, παρά από την απευθείας ανταλλαγή θερμότητας από τον ατμό που παράγεται σε καυστήρα. Ο ατμός μπορεί να συμπιεστεί είτε με μηχανικό συμπιεστή ή με τη χρήση θερμοσυμπιεστή δέσμης ατμού. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένας μηχανικός συμπιεστής χρησιμοποιείται. Δύο μέθοδοι συμπίεσης χρησιμοποιούνται (εικόνα 2.16):

- Μηχανική συμπίεση ατμού (Mechanical Vapor Compression, MVC)
- Θερμική συμπίεση ατμού (Thermal Vapor Compression, TVC)



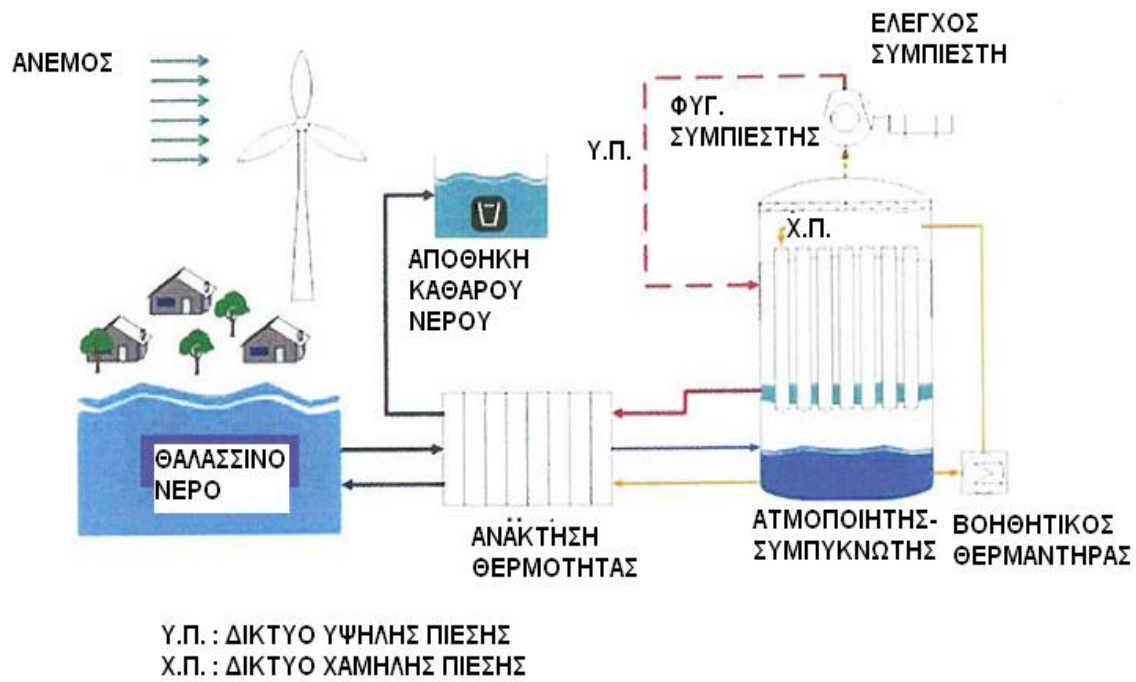
Εικόνα 2.16: Συμβατικές μονάδες συμπίεσης ατμού (MVC στη Σικελία, β) 25 TVC στο Σουέζ.

Στη MVC, ο συμπιεστής λειτουργεί με έναν ηλεκτρικό κινητήρα ή μια ντιζελομηχανή. Υψηλής πίεσης ατμός χρησιμοποιείται για τη συμπίεση του ατμού που παράγεται σε δοχείο. Ο συμπιεσμένος ατμός μετά χρησιμοποιείται σαν τη θερμική πηγή για επιπλέον εξάτμιση του νερού τροφοδοσίας (εικόνες 2.17 και 2.18).

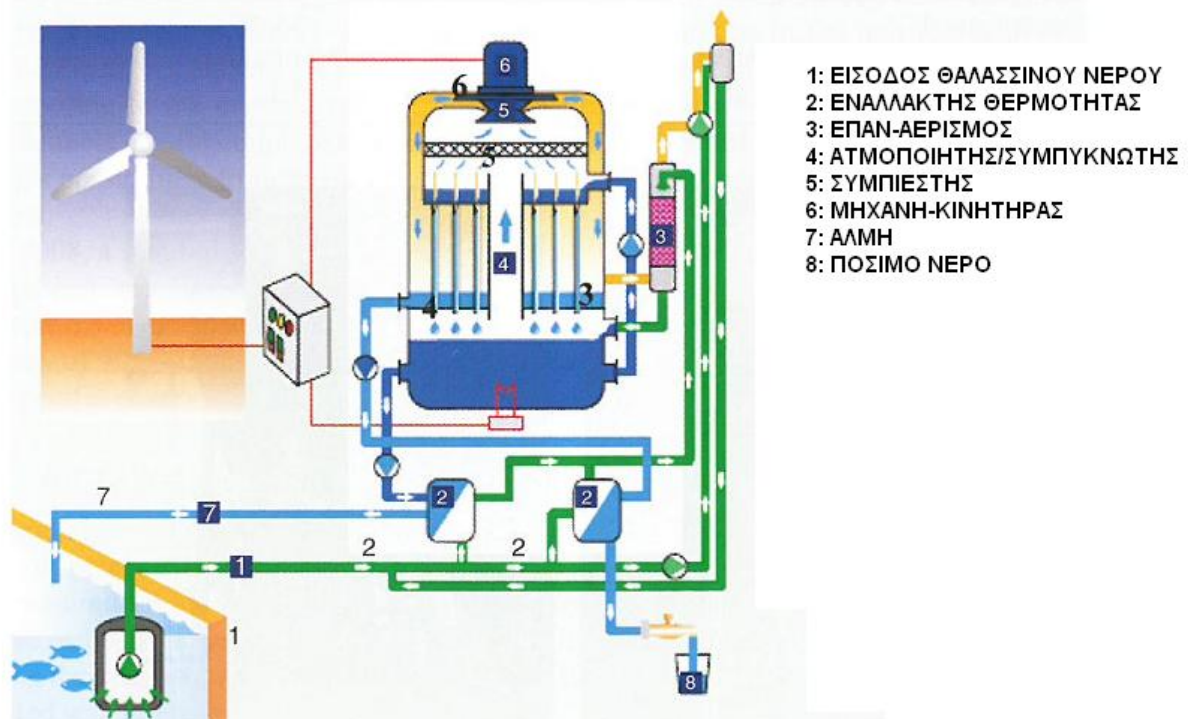
Η μονάδα αποτελείται από έναν εξατμιστή, έναν συμπιεστή ατμού και τους εναλλάκτες ανάκτησης θερμότητας. Στη διαδικασία MVC ο ατμός που παράγεται μέσα στον εξατμιστή απευθείας αποσύρεται από το συμπιεστή που αυξάνει την ενθαλπία του και έτσι επιτρέπει τη χρήση του σαν ατμός θέρμανσης.

Το απόσταγμα συμπυκνώνεται στη πλευρά του αγωγού του εξατμιστή και ψύχεται από έναν επίπεδο εναλλάκτη θερμότητας (ιδανικό για εργασία με υψηλής αλατότητας νερό και με μικρές διαφοροποιήσεις θερμοκρασίας) όπου το τροφοδοτούμενο θαλασσινό νερό προθερμαίνεται. Το ίδιο γίνεται και για την εξερχόμενη άλμη, έτσι ανακτώνται σημαντικό ποσό της θερμότητας της διαδικασίας.

Οι μονάδες MVC συχνά κατασκευάζονται στο πεδίο των 250-2500 m³/day και χρησιμοποιούνται για τουριστικά θέρετρα, μικρές βιομηχανίες και απομακρυσμένες περιοχές.



Εικόνα 2.17: Διαμόρφωση μιας μονάδας ανέμου-MVC

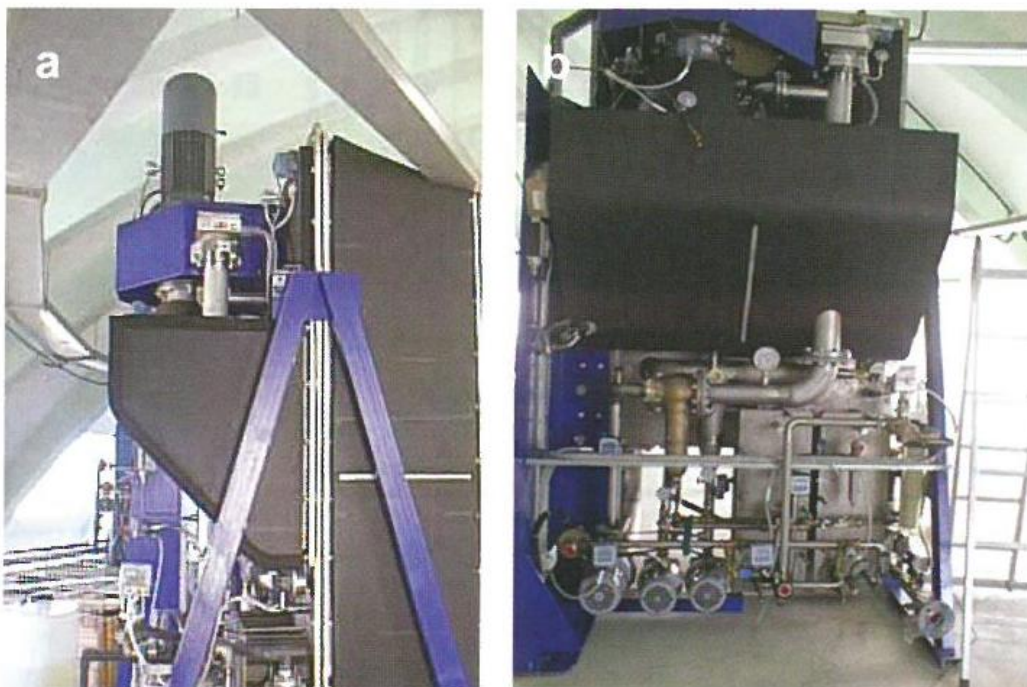


Εικόνα 2.18: Τεχνικές προδιαγραφές εγκατάστασης ανέμου-MVC

Σχετικά με τη σύζευξη ανέμου-MVC μόνο μικρός αριθμός εφαρμογών είναι γνωστός. Μια πιλοτική μονάδα εγκαταστάθηκε στο Γερμανικό νησί του Borkum, όπου η ανεμογεννήτρια με ονομαστική ισχύ 45kW είχε συζευχθεί με έναν MVC εξατμιστή σε σύστημα ικανό για αφαλάτωση νερού και παραγωγής μέχρι και 48m³/day πόσιμου νερού. Ο συμπιεστής απαιτούσε 36kW ισχύ, το σύστημα ελέγχονταν μεταβάλλοντας την ταχύτητα του συμπιεστή και υποβοηθούνταν από αντίσταση θέρμανσης όπου ο συμπιεστής λειτουργούσε στο όριο ταχύτητάς του.

Αυτή η εμπειρία ακολουθήθηκε από άλλη μεγαλύτερη μονάδα στο νησί του Rugen το 1995. Η ανεμογεννήτρια ήταν 300kW και η μονάδα MVC είχε μέγιστη ικανότητα νερού 12.5m³/h. Ξανά, μια αντίσταση θέρμανσης χρησιμοποιήθηκε για βοηθητική ισχύ όταν απαιτούνταν. Σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα, η ειδική κατανάλωση ενέργειας κυμαινόταν από 9 έως και 20KW/m³.

Το 1999, μέσω του προγράμματος SDAWES (Seawater Desalination by an Autonomous Wind Energy System = Αφαλάτωση θαλασσινού νερού από αυτόνομο σύστημα αιολικής ενέργειας), μια ακόμα μονάδα ανέμου-MVC εγκαταστάθηκε και δοκιμάστηκε στα Μεγάλα Κανάρια (εικόνα 2.19). Το έργο αυτό για την αφαλάτωση του νερού έχει ικανότητα 50m³/day. Η ονομαστική ισχύς των ανεμογεννητριών είναι 2 x 230kW. Η θερμοκρασία λειτουργίας είναι 62°C και η ονομαστική ισχύς του συμπιεστή είναι 30kW.



Εικόνα 2.19: Σύστημα Ανέμου-MVC στα Μεγάλα Κανάρια, Ισπανία.

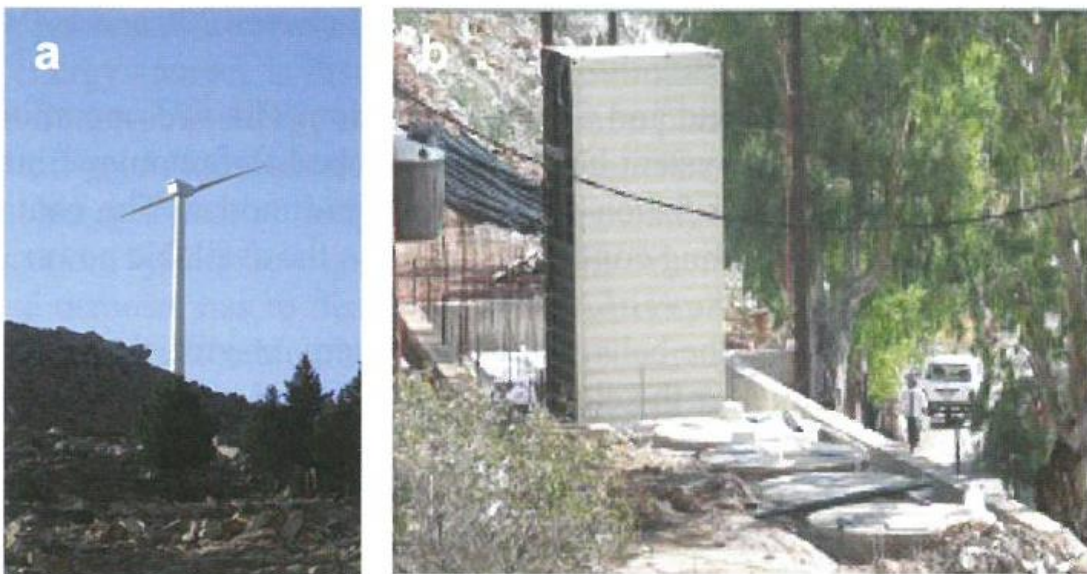
Η χρήση της εγκατάστασης ήταν περιορισμένη και υπήρχαν αρχικά προβλήματα κυρίως με την διαστασιολόγηση των επιφανειών μεταφοράς θερμότητας αν και αυτά υπερκεράστηκαν κάνοντας χρήση κατάλληλων χημικών προσθέτων. Όμως η ειδική κατανάλωση ενέργειας της μονάδας ήταν υψηλή και περίπου $15-16\text{KWh/m}^3$.

Αυτό αντανάκλα το μικρό μέγεθος της μονάδας και την περιοχή της επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας.

Σύμφωνα με σχετικές μελέτες η τεχνολογία RO είναι η πιο κατάλληλη για σύνδεση με ένα αιολικό πάρκο εκτός δικτύου. Βέβαια, κάθε τεχνολογία αφαλάτωσης έχει δυνατότητες για βελτίωση της λειτουργίας της σε εκτός δικτύου πάρκα αναπτύσσοντας ειδικούς σχεδιασμούς για κάθε περίπτωση.

Το 2008 ένα αυτόνομο σύστημα ανέμου-MVC εγκαταστάθηκε στη Σύμη (εικόνα 2.20). Το έργο χρηματοδοτήθηκε από το Υπουργείο Ανάπτυξης.

Η μονάδα αφαλάτωσης έχει μια ετήσια παραγωγική ικανότητα $90,000\text{m}^3$ από υψηλής καθαρότητας νερό και η ανεμογεννήτρια έχει μια ονομαστική ισχύ 800KW . Η ειδική κατανάλωση ενέργειας της μονάδας MVC είναι περίπου $14,5\text{kWh/m}^3$.



Εικόνα 2.20: Αυτόνομη εγκατάσταση ανέμου-MVC στη Σύμη , α) η 800 kW ανεμογεννήτρια, β) η μονάδα αφαλάτωσης MVC.

2.3.3 Συστήματα ηλεκτροδιάλυσης ανέμου

Η ηλεκτροδιάλυση είναι μοναδική μεταξύ όλων των διαδικασιών αφαλάτωσης, οι κύριες απαιτήσεις ισχύος της είναι η απευθείας ισχύς (DC- απαίτηση συνεχούς ρεύματος). Εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) απαιτείται μόνο για την λειτουργία των αντλιών AC ή αντίστροφων ελέγχων.

Είναι μια διαδικασία μεμβράνης όπως η αντίστροφη ώσμωση, όμως διαφέρει στην αρχή λειτουργίας της. Στην RO μια αντλία ωθεί το νερό μέσω των μεμβρανών αφήνοντας τα άλατα πίσω, ενώ στην ηλεκτροδιάλυση (ED), τα άλατα περνούν μέσω των μεμβρανών αφήνοντας το χωρίς άλατα νερό πίσω.

Μια τροποποίηση στη βασική διαδικασία ηλεκτροδιάλυσης είναι η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (electrodialysis reversal, EDR). Μια μονάδα EDR λειτουργεί στην ίδια γενική αρχή όπως μια βασική ED μονάδα, εκτός ότι μαζί, το προϊόν και τα κανάλια της άλμης είναι πανομοιότυπα στην κατασκευή. Σε αυτή τη διαδικασία η πολικότητα των ηλεκτροδίων αλλάζει περιοδικά στο χρόνο, αντιστρέφοντας τη ροή μέσω των μεμβρανών. Αμέσως ακολουθώντας την αντιστροφή πολικότητας και τη ροής, το προϊόν νερό αποθηκεύεται μέχρι να καθαριστούν όλες οι γραμμές των σωλήνων και η επιθυμητή ποιότητα του νερού να ανακτηθεί.

Ένα από τα εμπόδια της ED είναι ότι οι απαιτήσεις ενέργειας είναι απευθείας ανάλογες με την ποιότητα των αλάτων που απομακρύνονται, έτσι η τεχνολογία αυτή είναι ελκυστική μόνο για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού (λιγότερο από 3500mg/L TDS).

Γενικά, η συνολική κατανάλωση ενέργειας, υπό περιβαλλοντικές συνθήκες θερμοκρασίας και θεωρώντας παραγόμενο νερό των 500mg/L TDS μπορεί να είναι γύρω από 1.5-4.0 KWh/m³ για παροχή νερού 1500-3500mg/L TDS αντίστοιχα.

Μέχρι τώρα, η περισσότερη έρευνα στη ηλεκτροδιάλυση με ΑΠΕ έχει αναπτυχθεί σε ED με φωτοβολταικά. Λίγα δεδομένα έχουν αναφερθεί για το ταίριασμα την αιολικής ενέργειας με την ηλεκτροδιάλυση.

Όπως, αναφέρθηκε προηγουμένως, μέσα στο έργο SDAWES ένα σύστημα ανέμου-EDR εξετάστηκε. Η μονάδα EDR έχει ικανότητα που κυμαίνεται από 3 έως περίπου 8 m³/h και μια μέση κατανάλωση ειδικής ενέργειας των 3.3KWh/m³.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του υφάλμυρου νερού που παρέχεται κυμαίνεται από 2500 έως 7500 μS/cm, ενώ η αγωγιμότητα του παραγόμενου νερού κυμαίνεται μεταξύ 200 και 500μS/cm.

Η μονάδα δοκιμάστηκε σε λειτουργία εντός και εκτός δικτύου και οι δύο τρόποι συγκρίθηκαν. Ένα σύστημα ελέγχου αναπτύχθηκε για την αυτόματη διαχείριση και βελτιστοποίηση της λειτουργίας της μονάδας και στις δύο μορφές. Το αυτόματο σύστημα είναι ικανό να ρυθμίζει τη βέλτιστη λειτουργία βασισμένο στην διαθέσιμη ισχύ και στα κριτήρια που ο χρήστης της εγκατάστασης έχει προσδιορίσει.

Αφού εξετάστηκε η συμπεριφορά του συστήματος στο δίκτυο, το επόμενο στάδιο είναι η ανάπτυξη ενός φακέλου λειτουργίας για την μονάδα αντίστροφης ηλεκτροδιάλυσης ενώ λειτουργεί εκτός δικτύου., π.χ. μόνο συζευγμένος σε αιολικό πάρκο.

Σύμφωνα με τους ερευνητές, η μονάδα αφαλάτωσης έδειξε καλή ευελιξία, προσαρμογή ήπια σε μεταβολές της αιολικής ενέργειας ακόμα και όταν αυξάνεται πολύ και μειώνεται αρκετά. Το σύστημα ελέγχου, προσφέρει πολύ καλή υπηρεσία και είναι σε βελτίωση αφού μπορεί και ανταποκρίνεται σε ξαφνικές μεταβολές.

2.4 Αγορά μονάδων αφαλάτωσης με αιολική ενέργεια.

Στα πρόσφατα χρόνια πολλοί προμηθευτές παρέχουν στην αγορά διαμορφωμένες λύσεις αφαλάτωσης με ΑΠΕ, πολλές από τις οποίες έχουν κανονικά ή/και μεγάλα μεγέθη. Σχετικά με το ταίριασμα ανέμου-RO υπάρχει ένας μικρός αριθμός εταιριών που παρέχουν αυτόνομα και/ή διασυνδεδεμένα συστήματα στο πεδίο των περίπου 175 έως 2000m³/day για υφάλμυρο και θαλασσινό νερό.

Σχετικά με αφαλάτωση θαλασσινού νερού με χρήση ανέμου-MVC, υπάρχει μόνο μια εταιρία που παρέχει συμπαγή συστήματα για αυτόνομη ή/και για λειτουργία στο δίκτυο.

Γενικά, η εμπορικότητα της αφαλάτωσης με ΑΠΕ είναι σχετικά νέα περιοχή και λίγα είναι γνωστά σχετικά με το μέγεθος της δυνητικής αγοράς και τους τύπους των εγκαταστάσεων αφαλάτωσης με ΑΠΕ που είναι οι πιο κατάλληλοι για διαφορετικά κομμάτια της αγοράς.

Χωρίς μια περιεκτική ανάλυση αγοράς, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί 1) που και πως θα εισέλθεις στην αγορά, 2) πόσο μακριά χρονικά μπορεί να πάρει για να λάβεις επιστροφή της επένδυσης, 3) πόσο μεγάλη η επιστροφή της επένδυσης και επομένως το μέγεθος του ρίσκου που σχετίζεται με την επένδυση στην σχετική τεχνολογία.

Αν και υπάρχουν αρκετές μελέτες οργανισμών που δείχνουν την ανάγκη για ανάπτυξη τεχνολογιών ασφαλάτωσης και μια αυξημένη γενική και κυβερνητική υποστήριξη στις ΑΠΕ, δεν υπάρχει επάρκεια στοιχείων για προσδιορισμό της αγοράς αυτής.

Η ανάγκη για ασφαλάτωση με ΑΠΕ δεν είναι σύμφωνη με την ζήτηση.

Το πεδίο των τεχνολογιών ασφαλάτωσης είναι μεγάλο, με κάθε τεχνολογία να έχει ειδικά χαρακτηριστικά που χρειάζεται να ταιριάζουν με την ανάλυση αγοράς έτσι ώστε να επιτρέπουν αποφάσεις επενδύσεων να γίνουν. Αυτό το κομμάτι του επιπέδου ανάλυσης δεν υπάρχει σε επάρκεια προς το παρόν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Επεξεργασία νερού με γεωθερμική ενέργεια-τεχνολογίες αφαλάτωσης μεμβρανών και υβριδικές.

3.1 Εισαγωγή

Οι ελλείψεις πόσιμου νερού σε πολλές περιοχές του κόσμου έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη τεχνολογιών επεξεργασίας του νερού. Απλές μέθοδοι επεξεργασίας όπως φιλτράρισμα, πήξη, καθίζηση και υψηλής απόδοσης μεμβράνη και τεχνολογίες θερμικής αφαλάτωσης έχουν σταδιακά τροποποιηθεί και βελτιωθεί από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα. Τα υβριδικά συστήματα που συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των πολλαπλών μεθόδων αφαλάτωσης είναι επίσης σε σημαντικό σημείο υπό έρευνα και συνεχή ανάπτυξη. Έχουν γίνει η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για παραγωγή νερού για πόση και για οικιακή χρήση.

Οι μισές έως και τα 2/3 (εξαρτώμενες από την πηγή λήψης της πληροφορίας) των συνολικών εγκαταστάσεων αφαλάτωσης νερού στο κόσμο λειτουργούν σε ξηρές περιοχές της Μέσης Ανατολής.

Σε πολλές χώρες υπάρχει όπως έχουμε αναφέρει έλλειψη νερού αλλά και μεγάλες μεταπτώσεις στις ετήσιες βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις. Επίσης ελλείψεις παρουσιάζονται από την έλλειψη αποθηκών υπόγειου νερού σε μερικές περιοχές και σημαντική ποιοτική και ποσοτική ανθρωπογενή πίεση που οι κύριοι υδροφορείς συχνά υπόκεινται.

Αντίθετα, οι πηγές γεωθερμικού νερού που είναι παρούσες σε ιζηματογενείς/δομικές λεκάνες όχι μόνο παρέχουν μια πολύτιμη πηγή ΑΠΕ αλλά επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές άλλες περιπτώσεις, π.χ. για την παραγωγή πόσιμου νερού.

Οι δεξαμενές του γεωθερμικού νερού που υπάρχουν στο κόσμο παρουσιάζουν όπως είναι λογικό διαφορετικές φυσικές ιδιότητες (θερμοκρασία, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα) και χημική σύνθεση. Μπορεί να έχουν χαμηλά διαλυμένα ορυκτά συστατικά αλλά και άλμες με ορυκτά συστατικά.

Όταν το νερό από γεωθερμικές πηγές χρησιμοποιείται σαν πόσιμο νερό, αυτό οδηγεί και στη βελτίωση της διαχείρισης του πόσιμου νερού.

Η εξαγωγή του υφάλμυρου και του αλμυρού νερού σχετίζεται με σημαντικά προβλήματα περιλαμβάνοντας την διάβρωση και το φράξιμο των εγκαταστάσεων

γεωθερμικού νερού που σημαντικά επηρεάζει το κόστος της εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας.

Η κατακρήμνιση των δευτερευουσών ορυκτών στοιχείων από το νερό μειώνει την παραγωγικότητα και την ικανότητα απορρόφησης των πηγαδιών που χρησιμοποιούνται να εγχύεται ψυχρό νερό, ελαχιστοποιώντας το ρυθμό ροής των γεωθερμικών ρευστών μέσα στην εγκατάσταση και μειώνοντας τη διάρκεια ζωής της όλης εγκατάστασης.

Αυτές οι θεωρήσεις έχουν δώσει ώθηση σε ερευνητικά προγράμματα που έχουν σχεδιαστεί να ερευνήσουν τις ευκαιρίες για την περιεκτική χρήση των πηγών του ψυχρού γεωθερμικού νερού και βελτιστοποιώντας τη λειτουργία υπαρχόντων συστημάτων.

Ερευνώνται οι δυνατότητες ασφατωμένα γεωθερμικά νερά να βελτιώσουν την ισορροπία του πόσιμου νερού σε διάφορες χώρες. Η χρήση τεχνολογίας ασφατάωσης για μείωση των διαβρώσεων και της εισροής κατακρημνισμάτων σε γεωθερμικές εγκαταστάσεις αξιολογείται από σχετικές μελέτες.

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πόσιμου νερού σε δύο στάδια: α) τη χρήση των γεωθερμικών νερών σε σύστημα μεμβράνης (βέλτιστη θερμοκρασία γεωθερμικού νερού για διαδικασίες ασφατάωσης) και β) συγκέντρωση της παρακράτησης (χρήση νερού με θερμοκρασία των 80°C).

Στη 2^η περίπτωση η γεωθερμική ενέργεια (θερμότητα) θα υποστηρίζεται από την ηλιακή ενέργεια. Τα έργα της επεξεργασίας νερού είναι κυρίως ερευνητικής φύσεως στη σημερινή εποχή αλλά η μελλοντική ανάπτυξη θα είναι μεγάλη λόγω της ύπαρξης πολλών γεωθερμικών πεδίων σε πολλές περιοχές του κόσμου.

3.2 Τεχνολογίες μεμβρανών

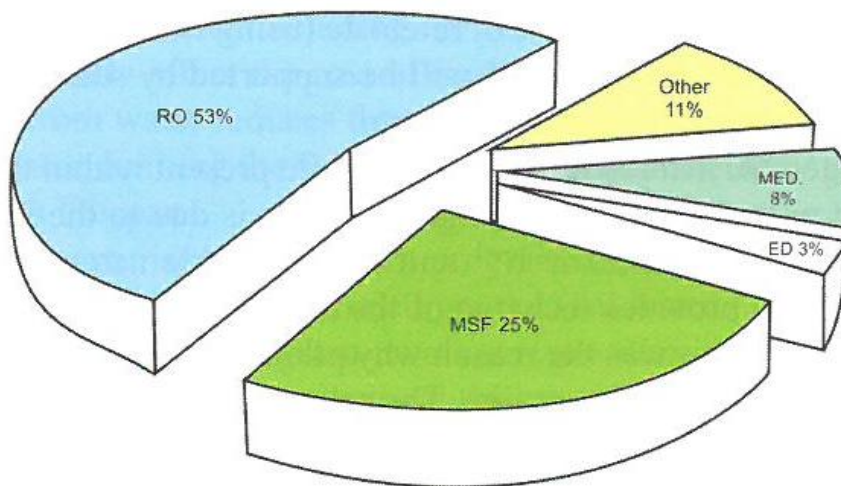
Η επιλογή των μεθόδων ασφατάωσης επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, ο κυριότερος εκ των οποίων είναι η αλατότητα του νερού.

Η πιο διαδεδομένη τεχνολογία διεθνώς είναι η βασισμένη σε μεμβράνες ασφατάωση. Σε όρους ικανότητας, οι πιο πολλές εγκαταστάσεις είναι στη Μέση Ανατολή όπου οι τεχνολογίες εξάτμισης συνεχίζουν να υπερισχύουν. Στην Ευρώπη οι πιο πρόσφατες κατασκευασμένες εγκαταστάσεις βασίζονται στην αντίστροφη ώσμωση.

Η συνολική παγκόσμια ικανότητα για όλες τις εγκαταστάσεις είναι 66.500.000 m³/day, μια αύξηση περίπου 10% από το 2010 ενώ με αυτές υπό κατασκευή ή σε δημοπράτηση είναι 77.400.000 m³/day.

Περίπου το 80% της παγκόσμιας ικανότητας αφαλάτωσης παρέχεται από δύο τεχνολογίες: Πολλαπλών σταδίων στιγμιαία εξάτμιση (Multi-stage flash evaporation, MSF) και αντίστροφη ώσμωση (RO).

Η εικόνα 3.1 δείχνει την παγκόσμια ικανότητα αφαλάτωσης ανά διαδικασία, δείχνοντας το μοίρασμα της υψηλής ικανότητας των δύο αυτών μεθόδων. Στην πράξη, αν και αυτές οι εγκαταστάσεις λειτουργούν σε 120 χώρες, 65% της παραγωγής παράγεται στην περιοχή του Περσικού Κόλπου. Υπάρχουν 45 MSF εγκαταστάσεις, 32 MED (πολλαπλού αποτελέσματος αφαλάτωση) εγκαταστάσεις, και 41 RO εγκαταστάσεις στην περιοχή του κόλπου. Η χρήση της ED τεχνολογίας είναι περιορισμένη σε επεξεργασία αλμυρού νερού σε μικρής κλίμακας μονάδες αφαλάτωσης. Υπάρχει μια αυξημένη τάση για αντικατάσταση της απόσταξης από μεθόδους μεμβράνης, ειδικά με αντίστροφη ώσμωση.



Εικόνα 3.1: Παγκόσμιες ικανότητες διαφορετικών διαδικασιών που χρησιμοποιούνται σε μονάδες αφαλάτωσης.

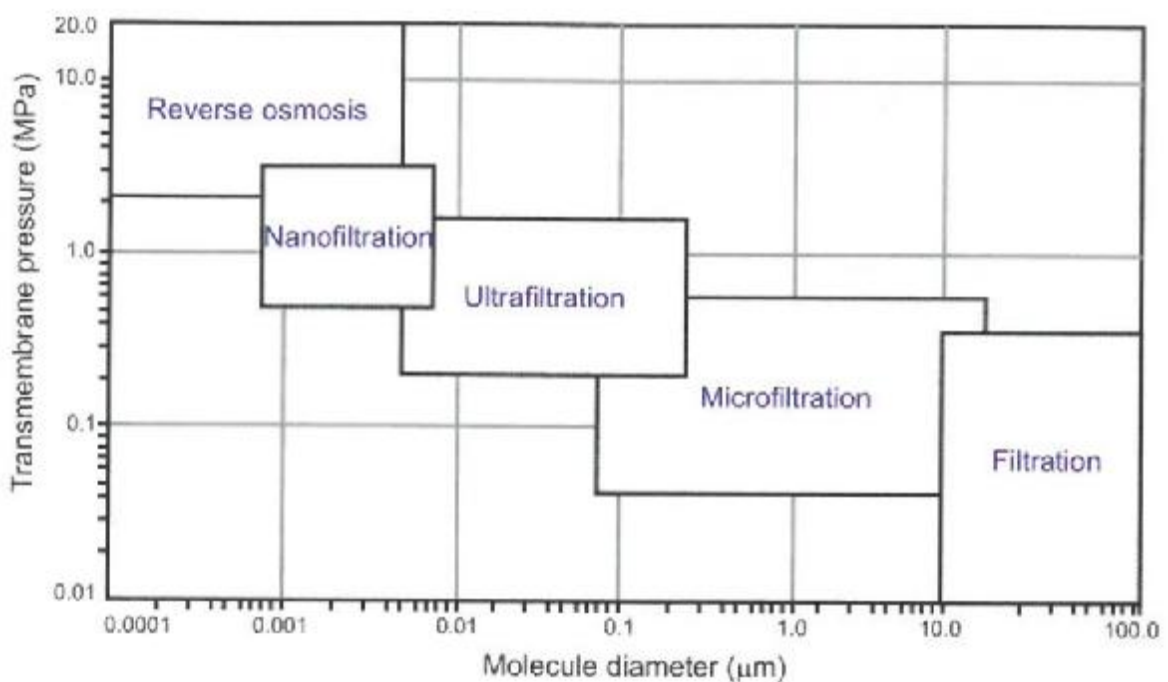
3.2.1 Τύποι διαδικασιών μεμβράνης

Η ιστορία της αφαλάτωσης νερού χρησιμοποιώντας μεθόδους με μεμβράνες οδηγείται πίσω 100 χρόνια περίπου.

Η αφαλάτωση με μεμβράνη πρωτίστως χρησιμοποιεί RO και ED που βασίζονται στη χρήση των μεμβρανών ιοντό-ανταλλαγής για διαχωρισμό των ιόντων.

Οι διαδικασίες των μεμβρανών, που καθοδηγούνται από τη διαφορά πίεσης (Δp) μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης (microfiltration (μικροδιήθηση, ultrafiltration (υπερδιήθηση, nanofiltration (νανοδιήθηση) και RO) χρησιμοποιούνται συνήθως για τη συγκέντρωση και/ή καθαρισμός αραιωμένων υδατικών διαλυμάτων. Κάτω από την εφαρμοζόμενη πίεση, ο διαλύτης και χαμηλού μοριακού βάρους διαλυμένες ουσίες περνούν μέσω της μεμβράνης, ενώ άλλα μόρια με υψηλότερο μοριακό βάρος, κολλοειδή και λεπτά εναιωρήματα δεν μπορούν να περάσουν.

Εξαρτώμενα εάν η μικροδιήθηση, υπερδιήθηση, νανοδιήθηση ή αντίστροφη ώσμωση εφαρμόζεται, τα σωματίδια με αυξητικά μικρότερα μοριακά βάρη εγκλωβίζονται (εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2: Μεγέθη σωματιδίων που εγκλωβίζονται στις διαδικασίες μικροδιήθησης, υπερδιήθησης, νανοδιήθησης ή αντίστροφης ώσμωσης.

Η περιοχή της εφαρμογής προσδιορίζει το μέγεθος των σωματιδίων που η μεμβράνη σταματά.

Μέσα στο σημερινό τεχνολογικό και θεωρητικό πλαίσιο, οι τεχνολογίες μεμβράνης που χρησιμοποιούνται είναι:

- **Αντίστροφης ώσμωσης (RO):** χρησιμοποιείται για να σταματά τα ιόντα και τις περισσότερες οργανικές χημικές ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους. Πρωτίστως χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση του νερού και των αποβλήτων όπως και να μετακινεί μεταλλικά ιόντα, ανόργανα ανιόντα και άλλες χημικές ουσίες χαμηλού μοριακού βάρους.
- **Μεμβράνη νανοδιήθησης (NF):** σταματά τα κολλοειδή, πολλές χημικές ουσίες με χαμηλό ή μέτριο μοριακό βάρος και δισθενή ιόντα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποσκλήρυνση του νερού και να μετακινήσει οργανικούς και ανόργανους ρύπους από το νερό και τα λύματα.
- **Μεμβράνες υπερδιήθησης (UF) και μικροδιήθησης (MF):** λειτουργούν σαν εμπόδια στα διασκορπιζόμενα χημικά στοιχεία περιλαμβάνοντας κολλοειδή και μικροοργανισμούς. Οι μεμβράνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν να μετακινήσουν αυτές τις ουσίες από το νερό και τα λύματα όπως και μέσα στο πλαίσιο των διαδικασιών θερμικής αφαλάτωσης και αποβολής ορυκτών ουσιών. Εξάλλου, αυτές χρησιμοποιούνται σε ολοκληρωμένες/υβριδικές διαμορφώσεις όπως πήξη- UF/MF, απορρόφηση άνθρακα μέσω ενεργής πούδρας-UF/MF, βιολογική διήθηση, οξυγόνωση και σε μικροαντιδραστήρες μεμβράνης.

RO (Αντίστροφη Ωσμωση)

Η αφαλάτωση του υφάλμυρου νερού ήταν η πρώτη επιτυχής μεγάλης κλίμακας εφαρμογή της RO και πρώτα χρησιμοποιήθηκε στη βιομηχανία στα τέλη του 1960. Κατά τη διάρκεια της επόμενης δεκαετίας, νέες RO μεμβράνες με σχετικά υψηλή διαπερατότητα εμφανίστηκαν και ήταν κατάλληλες για αφαλάτωση θαλασσινού νερού. Στα 1980 η RO έγινε ανταγωνιστής για τις μεθόδους βασιζόμενες στην απόσταξη. Στη σημερινή εποχή πάνω από το 90% των εγκαταστάσεων RO σε λειτουργία παράγουν πόσιμο και οικιακό νερό όπως και εξαιρετικά καθαρό νερό για τη βιομηχανία ισχύος, κατασκευή υπεραγωγών κ.α.

Μια τυπική μονάδα αφαλάτωσης νερού RO αποτελείται από ένα σύστημα προεργασίας ακατέργαστου νερού, ένα σύστημα μεμβράνης αφαλάτωσης περιλαμβάνοντας μια αντλία υψηλής πίεσης και ένα τελικό σύστημα επεξεργασίας του οποίου ο σκοπός είναι η διασφάλιση ότι οι νομικές απαιτήσεις για το πόσιμο και το οικιακό νερό θα καλυφθούν.

Η εικόνα 3.3 παρουσιάζει τα πιο σημαντικά στοιχεία μιας μονάδας αφαλάτωσης RO.



Εικόνα 3.3: RO μονάδα αφαλάτωσης νερού-απλοποιημένο διάγραμμα.

Το πλεονέκτημα της RO είναι το χαμηλό κόστος του αφαλατωμένου νερού, που είναι περίπου 0.5-0.7\$/m³ αν συγκριθεί με 1-1.4\$/m³ για την πολλαπλών σταδίων στιγμιαία εξάτμιση (MSF) και την MED.

Προς το παρόν, οφειλόμενο στη μείωση του κόστους που επιτεύχθηκε τα τελευταία 20 χρόνια είναι μια γενικά αποδεκτή μέθοδος.

Η διαδικασία RO επηρεάζεται από ένα ειδικό πρόβλημα που σχετίζεται με την απόδοση – επικαθήσεις π.χ. η μόνιμη, συχνά αναντίστροφη αλλαγή στη διαπερατότητα που προκαλείται από πολλούς παράγοντες.

Οι επικαθήσεις είναι η απόθεση οργανικής ύλης στην επιφάνεια της μεμβράνης και/ή στους πόρους, που μειώνει την διαπερατότητα της μεμβράνης.

Άλλο λειτουργικό πρόβλημα είναι η διαστασιολόγηση της μεμβράνης (αποθέσεις στερεού άλατος) που προκαλείται από χημικές ουσίες όπως CaCO₃, CaSO₄ και BaSO₄, η ένταση του φαινομένου εξαρτάται από την ογκομετρική αναλογία διαπέρασης/ακατέργαστου νερού. Σε έναν λόγο 50% ανάκτησης αφαλατωμένου νερού, αυτό το φαινόμενο μπορεί αποτελεσματικά να μειωθεί προσθέτοντας δισθενείς ιοντικούς παράγοντες συμπλοκοποίησης στο νερό.

Περίπου το 80% των μεμβρανών που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες RO είναι σύνθετες μεμβράνες. Δύο τάσεις παρατηρούνται στα τελευταία δέκα χρόνια: η εισαγωγή των χαμηλής πίεσης μεμβρανών RO που χρησιμοποιούνται για αφαλάτωση και τη χρήση των μεμβρανών υψηλής πίεσης που προσφέρουν υψηλότερη απόδοση συγκρινόμενες με τις συμβατικές.

Βελτιώσεις που μελετώνται είναι η εμπορική ανάπτυξη μεμβρανών ανθεκτικών στο χλώριο που θα μειώσουν την ανάγκη για αποχλωρίωση του τροφοδότη της RO και αποχλωρίωση μετά το σύστημα μεμβράνης, μειώνοντας έτσι το συνολικό κόστος της RO.

Για τη βελτίωση της διάρκειας ζωής των μεμβρανών, χρειάζεται η μείωση του σκοπού της προεπεξεργασίας του νερού και μείωση των αποθέσεων και επιπλέον βελτίωση στην ικανότητα συγκράτησης στοιχείων.

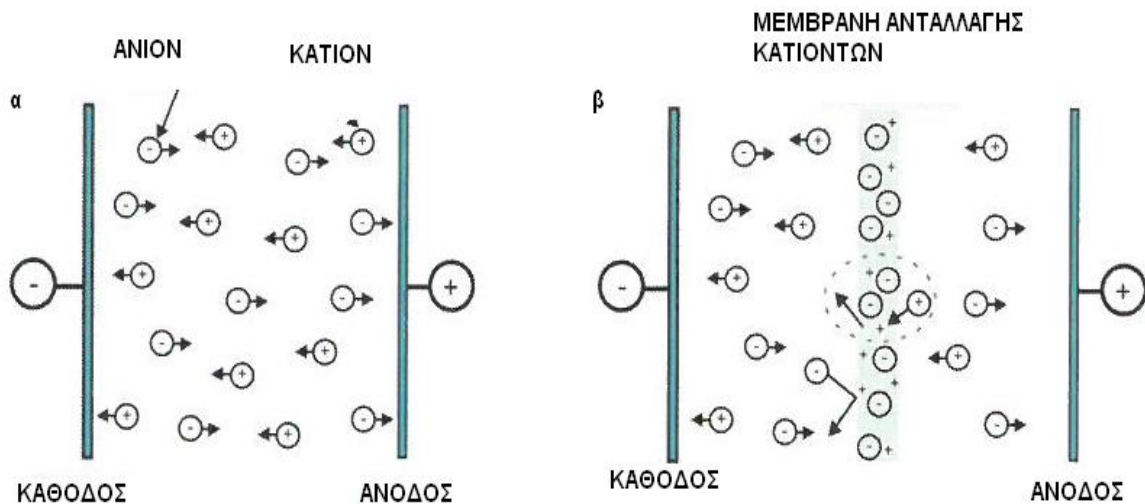
Ηλεκτροδιάλυση (ED)

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε το 1950 και χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Στην περίπτωση του θαλασσινού νερού το κόστος αφαλάτωσης είναι τόσο υψηλό σαν η κατανάλωση ενέργειας που είναι ανάλογη με την ποσότητα του άλατος που μεταφέρεται μέσω της μεμβράνης.

Η ηλεκτροδιάλυση κυρίως χρησιμοποιείται σε μικρού ή μεσαίου μεγέθους εγκαταστάσεις με ικανότητες μικρότερες από μερικά $100\text{m}^3/\text{day}$ σε περισσότερα από $20,000\text{ m}^3/\text{day}$ με αλατότητα υφάλμυρου νερού από 1000 έως 5000mg/L TDS .

Η RO θεωρείται ότι έχει οικονομικό πλεονέκτημα για την αφαλάτωση του νερού με TDS πάνω από $10,000\text{mg/L}$.

Στη διαδικασία ED, οι μεμβράνες ανταλλαγής ιόντων χρησιμοποιούνται με τέτοιο τρόπο όταν τοποθετούνται σε ηλεκτρικό πεδίο, επιτρέπουν τη μεταφορά κατιόντων και ανιόντων στο ακατέργαστο αλατούχο νερό (εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4: α) Ιόντα μετακινούνται σε ηλεκτρικό πεδίο και β) μέσω μια μεμβράνης ανταλλαγής κατιόντων.

Οι μεμβράνες ανταλλαγής ιόντων είναι ημιδιαπερατές δομές-χωρικά πολυμερή δίκτυα με ενσωματωμένες ομάδες ανταλλαγής ιόντων.

Οι μεμβράνες ανταλλαγής κατιόντων περιλαμβάνουν υψηλά συγκεντρωμένα αρνητικά φορτισμένα γκρούπ (π.χ. SO_3^-) που είναι δυνατά δεσμευμένα στο πολυμερικό δίκτυο, ενώ οι μεμβράνες ανταλλαγής ανιόντων περιέχουν θετικά φορτισμένα γκρούπ (π.χ. NH_3^+).

Η διαδικασία ED μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αφαλάτωση θαλασσινού νερού, αλλά πολλαπλών σταδίων ηλεκτροδιάλυση χρειάζεται για τη λήψη πόσιμου νερού. Αυτό το κάνει πιθανό να ληφθεί χρησιμοποιούμενο νερό με περιεχόμενο σε αλάτι 700mg/L από θαλασσινό νερό με συγκέντρωση αλατότητας 35000mg/L .

ED πρωταρχικά εφαρμόζεται σε υφάλμυρο νερό με χαμηλό TDS, έτσι το κόστος είναι χαμηλό (περίπου $0.6\$/\text{m}^3$). Η ED έχει υψηλή ανάκτηση νερού από 84-94% και συγκέντρωση από $140-600\text{mg/L}$ TDS.

3.3 Υβριδικές διαδικασίες αφαλάτωσης

Η δυνατότητα συνδυασμού διαφορετικών διαδικασιών αφαλάτωσης με σκοπό να ληφθεί ένα συνεργατικό αποτέλεσμα έχει προταθεί από πολλούς ερευνητές για πολλά χρόνια.

Εχει συχνά προταθεί ότι τα υβριδικά συστήματα μπορούν να αναπτυχθούν συνδυάζοντας τεχνολογίες μεμβράνης με συμβατικά συστήματα διαχωρισμού όπως και με άλλα συστήματα βασισμένα σε μεμβράνες.

Λύσεις αυτού του τύπου συχνά κοστίζουν λιγότερο από συστήματα βασισμένα σε μονές διαδικασίες.

Τρεις τύποι αυτών των διαμορφώσεων μπορούν να διακριθούν:

- Απλά υβριδικά συστήματα
- Ενσωματωμένα υβριδικά συστήματα
- Υβριδικά συστήματα που συνδυάζουν παραγωγή ηλεκτρισμού με παραγωγή αφαλατωμένου νερού.

Σύμφωνα με μελέτες, υπάρχουν πολλές διαφορετικές μέθοδοι για συνδυασμό διαδικασιών μεμβράνης σε υβριδικά συστήματα. Οι πιο σπουδαίες μεταξύ αυτών είναι:

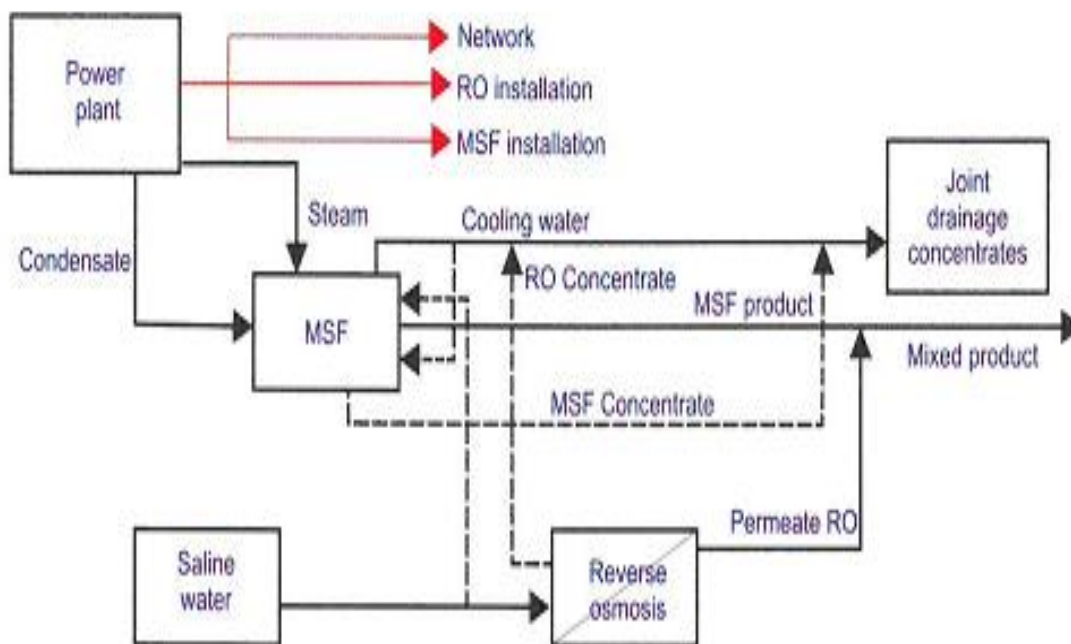
- Συνδυασμός RO με θερμικές μεθόδους και απόσταξη μεμβράνης
- Αντικατάσταση του συστήματος προ-επεξεργασίας του νερού με υπερδιήθηση και μικροδιήθηση
- Η εφαρμογή της νανοδιήθησης για να μαλακώσεις το ανεπεξεργαστο νερό πριν την απόσταξη ή την RO.

Η χρήση της υπερδιήθησης και της μικροδιήθησης για την προ-επεξεργασία του ακατέργαστου νερού είναι επίσης ευρέως διαδεδομένη στην περίπτωση των μεθόδων αφαλάτωσης μεμβράνης. Η χρήση των μεμβρανών νανοδιήθησης είναι επίσης πλεονεκτική αφού επιδεικνύουν υψηλούς συντελεστές κατακράτησης δισθενών ιόντων. Η συγκράτηση των μονοσθενών ιόντων είναι ελάχιστη. Η εφαρμογή της NF σαν προ-επεξεργασία πριν την εισαγωγή του νερού σε μια εγκατάσταση RO και/ή θερμική κάνει δυνατή την επίτευξη των επόμενων:

Μια μεγάλη υβριδική μονάδα αφαλάτωσης με ικανότητα 450,000m³/day έχει κατασκευαστεί στα ΗΑΕ και οι προδιαγραφές του δίνονται στον πίνακα 3.1 και φαίνεται στην εικόνα 3.6.

Πίνακας 3.1: Επιλεγμένες παράμετροι σχεδιασμού τριπλής υβριδικής μονάδας

Παράμετρος	Μονάδα	τιμή
Παραγωγή ηλεκτρισμού		
Μικτή	MW	662
Καθαρή	MW	500
Παραγωγή νερού	m ³ /day	454600
Εναρξη αφαλάτωσης		
MSF	m ³ /day	284125
RO	m ³ /day	170475



Εικόνα 3.6: Απλοποιημένο διάγραμμα τριπλής υβριδικής μονάδας ισχύος αφαλάτωσης νερού.

Τα πλεονεκτήματα των τριπλών υβριδικών συστημάτων MSF –SWRO σε σχέση με διπλά συστήματα ή και μονά MSF ή RO έχουν περιγραφεί σε αρκετές σχετικές δημοσιεύσεις.

Τα υβριδικά συστήματα που συνδυάζουν MSF και RO με παραγωγή ενέργειας, κάνουν δυνατή την επίτευξη πολλαπλών κερδών, τα πιο σημαντικά μεταξύ αυτών είναι:

- Η ενσωμάτωση μερικών στοιχείων κοινών σε εγκαταστάσεις RO και MSF.
- Την ανάμιξη αφαλατωμένου νερού από διαδικασίες RO και MSF, κάνοντας ευκολότερη τη λήψη πόσιμου νερού ή νερού για βιομηχανική χρήση που καλύπτει τα νομικά όρια των κανονισμών
- Η χρήση της απορριπτόμενης θερμότητας από τη μονάδα MSF και/ή μονάδα ισχύος για παροχή ενέργειας για την μονάδα RO.
- Τη πιθανότητα της χρήσης ατμού χαμηλής πίεσης νερού που παράγεται από την μονάδα MSF και/ή την μονάδα ισχύος για απαερίωση του νερού πριν εισαχθεί στις μεμβράνες.
- Η αποδοτική χρήση του ηλεκτρισμού και του αφαλατωμένου νερού.

3.4 Γενικό πλαίσιο για αφαλάτωση γεωθερμικού νερού

Το γεωθερμικό νερό και η ενέργεια χρησιμοποιούνται για πολλές χρήσεις: θέρμανση και ψύξη κτιρίων, ξήρανση υλικών κτιρίων και αγροτικών προϊόντων, εκτροφή θερμοφιλικών ψαριών, θέρμανση εδάφους κ.α.

Σε μερικές περιπτώσεις, μετά την ανάκτηση θερμότητας, το γεωθερμικό νερό εισάγεται στο δίκτυο παροχής νερού, εάν ικανοποιεί τις φυσικές, χημικές και απαιτήσεις υγείας.

Μια μοντελοποιημένη διαδικασία λαμβάνοντας υπόψη τη διαχείριση του γεωθερμικού νερού και την ενέργεια θα περιλαμβάνει την περιεκτική τους χρησιμοποίηση για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας των γεωθερμικών συστημάτων. Οι μέχρι τώρα μελέτες εστιάζουν στη βελτίωση της οικονομικής απόδοσης των υπαρχόντων εγκαταστάσεων και καθοδήγησης των λειτουργιών τους. Η θεωρητική έρευνα σχετικά με τις ευκαιρίες για αφαλάτωση γεωθερμικού νερού, περιλαμβάνοντας θεώρηση της μεταβλητότητας των φυσικών ιδιοτήτων και της χημικής σύνθεσης των γεωθερμικών νερών.

Ένα από τα κύρια αντικείμενα έρευνας είναι η εκτίμηση της δυνατότητας να χρησιμοποιηθούν πηγές γεωθερμικού νερού για να ενισχυθεί η διαχείριση του πόσιμου νερού μέσω της χρήσης αφαλατωμένου νερού. Άλλο πεδίο έρευνας σχετίζεται με την εκτίμηση πότε η τεχνολογία αφαλάτωσης νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση της διάβρωσης και της κατακρήμνισης στις γεωθερμικές εγκαταστάσεις.

Παρουσιάζεται ότι η ανάμιξη ανεπεξέργαστου ψυχρού νερού σε θερμικούς εναλλάκτες με την διαπεραστικότητα σε κατάλληλες αναλογίες μπορεί να βελτιώσει την απόδοση της εγκατάστασης.

Έρευνες που έχουν γίνει σε πιλοτικές εγκαταστάσεις έδειξαν :

- Η χρήση της θερμότητας του γεωθερμικού νερού για βέλτιστη λειτουργία της RO στους 30°C, αφού το γεωθερμικό νερό μπορεί να εξασφαλίσει αυτό το επίπεδο της θερμοκρασίας
- Η γεωθερμική και η ηλιακή ενέργεια (θερμότητα) σχεδιάζεται να χρησιμοποιείται για την παρακράτηση συγκεντρώσεων που παράγονται από την RO, το οποίο είναι 2^{ου} επιπέδου ανάκτηση του αποστάγματος.

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί επομένως να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πόσιμου νερού σε δύο στάδια: πρώτο-η χρήση των γεωθερμικών νερών σε ένα σύστημα μεμβράνης (βέλτιστη θερμοκρασία γεωθερμικού νερού για διαδικασίες αφαλάτωσης) και δεύτερο- συγκέντρωση του παρακρατήματος (χρήση θερμοκρασίας νερού 80°C).

Στη 2^η περίπτωση η γεωθερμική ενέργεια (θερμότητα) θα υποστηρίζεται από ηλιακή ενέργεια.

3.4.1 Παρουσία και ποιότητα γεωθερμικών νερών

Σε πολλές περιοχές του κόσμου υπάρχει το δυναμικό της ανάπτυξης και χρησιμοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας. Οι πηγές γεωθερμικής ενέργειας σχετίζονται με υπόγεια νερά παρόντα σε βάθη έως και 3000m μέσα σε γεωλογικούς σχηματισμούς.

Σε όρους αλατότητας τα συνήθη γεωθερμικά νερά μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις ομάδες:

Ομάδα 1: πολύ υψηλά ορυκτούχα νερά με συγκέντρωση διαλυμένων ορυκτών υλών που κυμαίνεται από 70-135g/L, και συνήθως περιέχουν θείο και χλωρίδια.

Ομάδα 2: υψηλά ορυκτούχα νερά με συγκέντρωση διαλυμένων ορυκτών υλών που κυμαίνεται από 22-58g/L, και συνήθως περιέχουν ασβέστιο, θειικό άλας, θείο, ιώδιο, βρωμιούχα, σίδηρο, στρόντιο και φθόριο.

Ομάδα 3: μεσαία ορυκτούχα νερά με μεσαίες συγκεντρώσεις διαλυμένων ορυκτών υλών που κυμαίνεται από 1.6-9g/L, και συνήθως περιέχουν θειικό άλας, χλωριούχα, ασβέστιο, θείο, μαγνήσιο και σίδηρο.

.Ομάδα 4: χαμηλά ορυκτούχα νερά, πόσιμα νερά (<41 g/L) στα οποία το περιεχόμενο των διαλυμένων ανταποκρίνεται στις οδηγίες για πόσιμο μερο ή η επεξεργασία τους δεν απαιτεί τη χρήση προκεχωρημένων τεχνολογικών λύσεων.

3.4.2 Επιλογή των τεχνολογιών αφαλάτωσης

Τα κόστη της αφαλάτωσης του νερού έχουν μειωθεί τα τελευταία χρόνια και αυτό οφείλεται στις τεχνολογικές βελτιώσεις και στον αυξανόμενο ρυθμό χρήσης ΑΠΕ και αποδοτικές ενεργειακές τεχνικές.

Διαφορετικά συστήματα αφαλάτωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξαρτώμενα από τα χαρακτηριστικά του νερού. Η σκοπιμότητα της χρήσης γεωθερμικών νερών (απευθείας ή όχι σαν ενεργειακή πηγή) για την παραγωγή πόσιμου νερού προσδιορίζεται από τις φυσικές ιδιότητες και τη χημική σύνθεση των νερών σε έρευνα.

Οι πιο πλεονεκτικές μέθοδοι αφαλάτωσης υποδεικνύονται (σε θεωρητική βάση) λαμβάνοντας υπόψη τις τέσσερις ομάδες των νερών που αναφέρθηκαν παραπάνω.

I) Αφαλάτωση υψηλών σε ορυκτά νερών (Ομάδα 1 και Ομάδα 2)

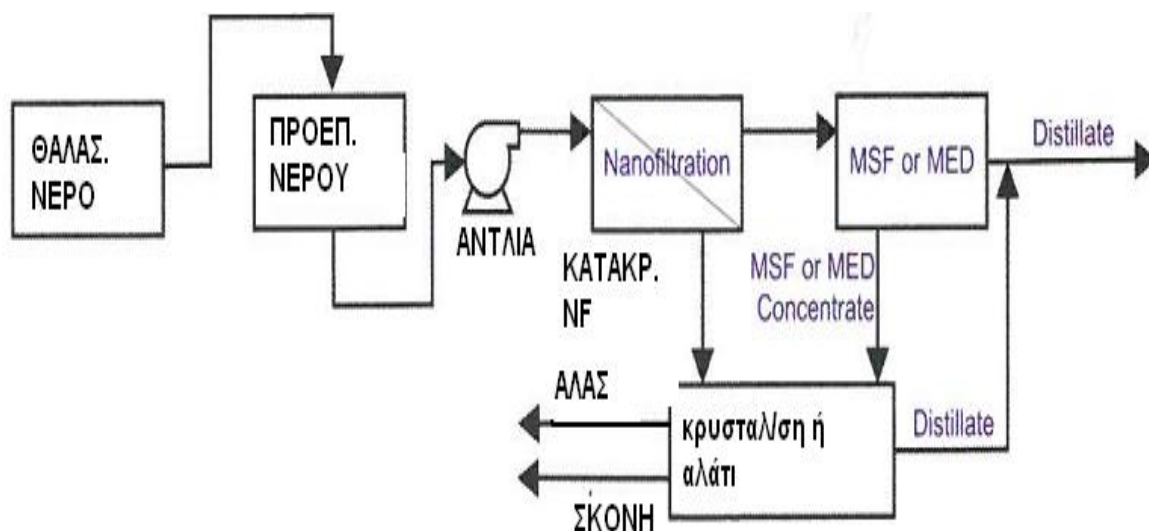
Από μια οικονομική σκοπιά, το κύριο αντικείμενο της αφαλάτωσης γεωθερμικών νερών ανήκει στις ομάδες 1 και 2 και είναι η εξάλειψη των αλάτων ειδικά στη μορφή των εμπορικών προϊόντων (αλάτι, ιατρικό, θεραπευτικά και προϊόντα ομορφιάς). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της συγκέντρωσής τους με τη ταυτόχρονη ανάκτηση του αφαλατωμένου νερού και την μεταγενέστερη κρυσταλλοποίηση των συγκρατηθέντων συστατικών.

Αυτή είναι μια υψηλώς σχετική θεώρηση όταν εξετάζουμε τα μοντέλα διαδικασίας σχετικά με την βελτίωση των γεωθερμικών νερών.

Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν πλήρως γεωθερμικές άλμες, μέθοδοι εξάτμισης ή υβριδικές διαδικασίες πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Το τελευταίο περιλαμβάνει τις μεθόδους βασισμένες σε μεμβράνες και μεθόδους εξάτμισης συχνά περιλαμβάνοντας είτε την RO και εξάτμιση ή νανοδιήθηση, RO και εξάτμιση.

Οι πιο συνήθεις μέθοδοι για αυτόν τον τύπο των νερών είναι η MSF και η MED.

Ένα γενικό πλαίσιο για την αφαλάτωση υψηλά αλατούχων νερών φαίνεται στην εικόνα 3.7.



Εικόνα 3.7: Πλαίσιο για την αφαλάτωση υψηλά ορυκτούχων νερών (ομάδες 1 και 2).

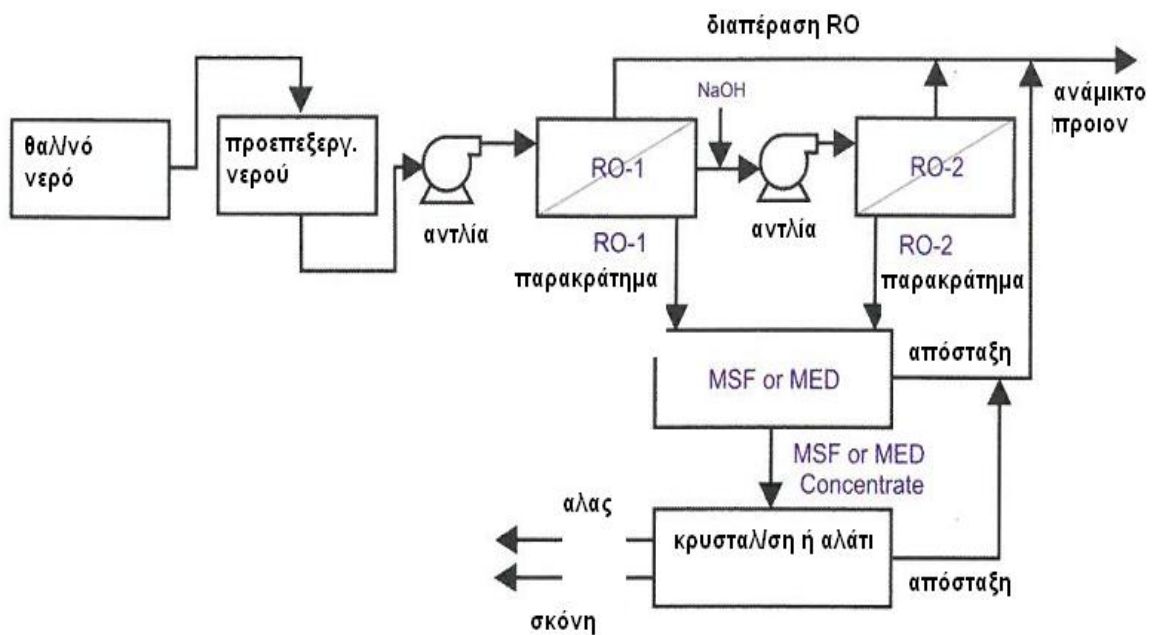
II) Αφαλάτωση μετρίων σε ορυκτά νερών (Ομάδα 3)

Λόγω της χημικής σύνθεσης των μέτριας αλατότητας νερών, προτείνεται ένα διπλό υβριδικό σύστημα που συνδυάζει αντίστροφη ώσμωση και απόσταξη MSF με την κρυσταλοποίηση του άλατος ή ένα τριπλό υβριδικό σύστημα που συνδυάζει νανοδιήθηση, RO και απόσταξη με την κρυσταλοποίηση του άλατος.

Η εγκατάσταση αφαλάτωσης του νερού πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα συστατικά στοιχεία (εικόνα 3.8):

- Μια εγκατάσταση προ-επεξεργασίας του νερού. Ο σκοπός της προ-επεξεργασίας εξαρτάται από τη θολότητα του νερού και τα διαλυμένα οργανικά συστατικά στοιχεία.

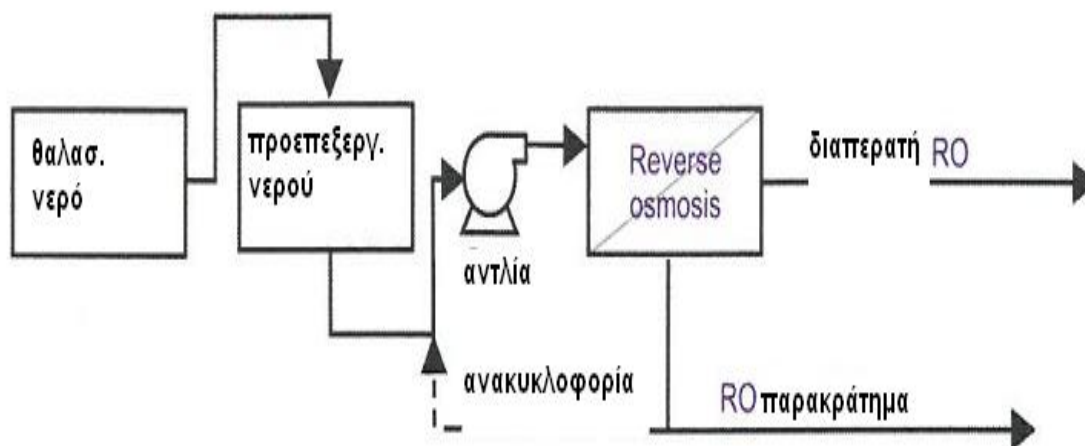
- Μια εγκατάσταση δύο σταδίων RO με δοσολογία NaOH πριν το δεύτερο στάδιο
- Θερμική συγκέντρωση
- Κρυσταλοποίηση άλατος



Εικόνα 3.8: Πλαίσιο για αφαλάτωση νερών ομάδας 3.

Το NaOH στο δεύτερο στάδιο της RO είναι αναγκαίο λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε Βόριο του ανεπεξεργαστού νερού (9-13mg/L). Το Βόριο πρέπει να μετακινηθεί στο 2^ο στάδιο της διαδικασίας RO.

Πόσιμο νερό μπορεί να ληφθεί από υφάλμυρα γεωθερμικά νερά χρησιμοποιώντας ενός σταδίου αντίστροφη ώσμωση σύμφωνα με το σχέδιο που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.9.



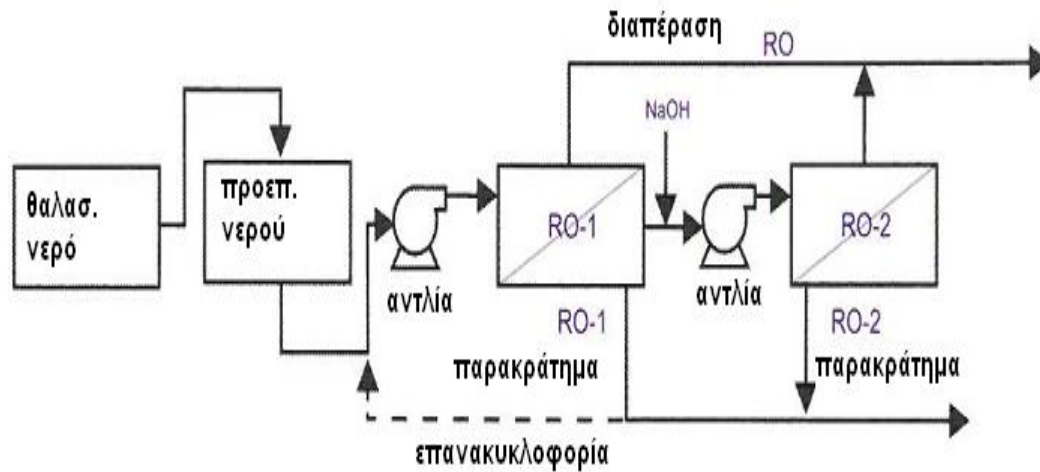
Εικόνα 3.9: Πλαίσιο για την επεξεργασία μεσαίων και χαμηλών σε άλατα νερών χρησιμοποιώντας την αντίστροφη ώσμωση (Ομάδες 3 και 4).

Όμως αυτή η διαδικασία μπορεί να αποδειχθεί ανεπαρκής εξαρτώμενη από το περιεχόμενο σε Βόριο του νερού.

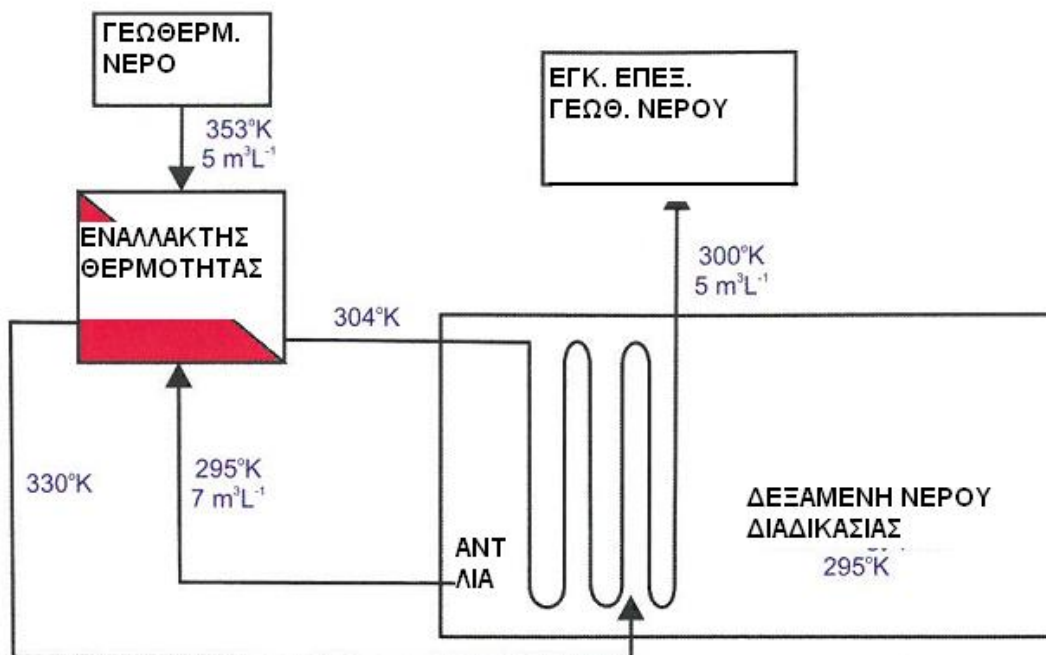
Όταν το pH είναι ουδέτερο, το βόριο είναι συχνά παρών σαν αδιάλυτο βορικό οξύ και ο συντελεστής συγκράτησης συχνά δεν υπερβαίνει το 60%.

Για γεωθερμικά νερά με υψηλό περιεχόμενο σε Βόριο, η διαδικασία RO πρέπει να έχει δύο στάδια- το 1^ο στάδιο λαμβάνει χώρα σε ουδέτερο pH και το 2^ο στάδιο όταν το pH αυξάνεται σε 9-10 περίπου. Σε αυτό το pH, το βόριο είναι παρών σαν ανιόντα υδροξυλοβορικά και μπορούν εύκολα να μετακινηθούν από τη μεμβράνη. Αυτή η λύση παρουσιάζεται στην εικόνα 3.10.

Στην εικόνα 3.11 παρουσιάζεται σύστημα ψύξης γεωθερμικού νερού και στην εικόνα 3.12 παρουσιάζονται φωτογραφίες από πραγματική εγκατάσταση γεωθερμίας για αφαλάτωση νερού.



Εικόνα 3.10: Πλαίσιο για την επεξεργασία νερών με υψηλό περιεχόμενο σε Βόριο χρησιμοποιώντας RO.



Εικόνα 3.11: Ενδεικτικό διάγραμμα συστήματος που ψύχει γεωθερμικό νερό για τις ανάγκες γεωθερμικής εγκατάστασης αφαλάτωσης νερού.



Εικόνα 3.12: Εγκατάσταση γεωθερμίας αφαλάτωσης νερού: α) προεπεξεργασία νερού (μηχανικό φίλτρο, στάδιο αφαίρεσης σιδήρου και στοιχείο υπερδιήθησης, β) ενδιάμεση δεξαμενή πριν το στοιχείο RO και τελική επεξεργασία (ορυκτοποίηση).

III) Επεξεργασία πόσιμων νερών

Νερά με ορυκτά συστατικά κάτω των 1000mg/L κανονικά καλύπτουν τις απαιτήσεις για πόσιμο νερό. Εξαρτώμενο από τη θολότητα και το οργανικό περιεχόμενο, το νερό μπορεί να πρέπει να υποβληθεί σε πολύ-επίπεδη διήθηση κλίνης μετά από προαιρετική πήξη ή μικροδιήθηση/υπερδιήθηση και απολύμανση πριν την εισαγωγή στο δίκτυο παροχής νερού. Από την άλλη μεριά, τα γεωθερμικά νερά το Βόριο, το φθοριο, το αρσενικό κ.α μπορεί να είναι τόσο υψηλά που να χρειάζονται μετακίνηση μικροστοιχείων χρησιμοποιώντας μια μονού ή διπλού σταδίου αντίστροφη ώσμωση (εικόνες 3.9 και 3.10).

Σαν συμπέρασμα, παραγωγή πόσιμου νερού από γεωθερμικά νερά είναι εφικτή αλλά απαιτεί προσέγγιση κατά περίπτωση.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ahn, Y.T., Kang, S.T., Chae, S.R., et al : Simultaneous high-strength organic and nitrogen removal with combined anerobic upflow bed filter and aerobic membrane bioreactor., Desalination 202 (2007).
2. Banu, J.R., Anandan, S., Yeon, I.T., : Treatment of dairy wastewater using anaerobic and solar photocatalytic methods, Solar Energy 82 (2008).
3. Bixio, D., et al: Wastewater reuse in Europe, Desalination 187 (2006)
4. Busch, M., Mickols, W.E., : Reducing energy consumption in seawater desalination, Desalination 165 (2004).
5. www.netl.doe.gov
6. www.waterrf.org
7. Charcosset, C., : A review of membrane processes and renewable energies for desalination, Desalination 245 (2009).
8. Chong, M.N., et al: Recent developments in photocatalytic water treatment technology, Water Research 44 (2010)
9. Coffey,M., Renewable energy: filtration and the green energy revolution, Filtration and Separation 45 (2008).
10. www.eia.doe.gov
11. El-Dessouky, H.T., & Ettouney, H.M., : Fundamentals of salt water desalination, Elsevier Science, 2002.
12. <http://geothermal.marin.org>
13. www.geothermal.org
14. www.idedesal.org
15. <http://iga.igg.cnr.it>
16. www.geothermal-energy.org
17. <http://ipcc-wg1.ucar.edu>
18. www1.eere.energy.gov
19. <http://geothermal.inel.gov>
20. Peter-Varbanets,M., Pronk, W., : Decentralised systems for potable water and the potential of membrane technology, Water Research 43 (2009).
21. www.unep.org
22. <http://maps.grida.no>

23. www.espejo.unesco.org
24. <http://solar-thermal.anu.edu.au>
25. IEA: Wind Energy 2009, IEA Annual Report
26. IEA: Wind Energy 2010, IEA Annual Report
27. CRES: Desalination guide using renewable energies: Centre for Renewable Energy Sources (CRES-KAPE), 2010.
28. Schreck, Sc: Integrated wind energy/desalination system, National Renewable Energy laboratory.
29. Veza, J.M., et al: Electrodialysis desalination designed for off-grid wind energy, Desalination 160 (2004).
30. Subiela, V.J., et al, : Experiences in desalination with renewable energy sources (1996-2008), Desalin. Water Treat. 7 (2009).
31. Bouzas, I.: Desalination with the use of wind energy in Milos Island, CRES, Athens, 2010.
32. Alishiri, M., : The economics of desalination, Desalination 223 (2008).
33. Blank, J.R., et al., : The real cost of desalted water and how to reduce it further, Desalination 205 (2007).
34. Fritzmann, C., et al., : State of the art of reverse osmosis desalination, Desalination 216 (2007).
35. www.h2ome.net
36. <http://gulfnews.com>
37. Mehzer, T., et al.: Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies, Desalination 266 (2011).
38. Susanto, H., Towards practical implementations of membrane distillation. Chem. Eng. Process (2011).
39. www.interchopen.com
40. Goosen M.F.A., et al., : Water desalination using geothermal energy, Energies 3 (2010).
41. www.solarpaces.org
42. www.oecd.org
43. www.wwindea.org
44. www.alternate-energy-sources.com
45. <http://eia.gov>
46. <http://washtech.wordpress.com>

47. www.ren21.net

48. www.energy.ca.gov

49. www.prodes-project.org

50. www.waterdesalreport.com

51. Thu, K. et al. : Operational strategy of adsorption desalination systems, Int. J. Heat Mass Trans. 52 (2009).

52. Tonn, B., et al.: A sustainable energy scenario for the USA: year 2050. Sustainability 2 (2010).