

Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Αφαλάτωση Νερού με χρήση ΑΠΕ

Ευαγγία Τζέν
Μηχ. Μηχανικός, BSc, MSc
Τμήμα Αιολικής Ενέργειας ΚΑΠΕ
email: etzen@cres.gr

Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Το πρόβλημα της λειψυδρίας

- Το καθαρό νερό στις περισσότερες χώρες της Μεσογείου είναι ανεπαρκές να καλύψει ακόμα και βασικές ανάγκες
- Το επίπεδο άντλησης νερού σε πολλές περιοχές έχει ξεπεράσει τα όρια με αποτέλεσμα την υφαλμύρωση των υπόγειων νερών. Σε χώρες της Μεσογείου όπως η Αίγυπτος, Μάλτα, Λιβύη, κλπ έχει ξεπεράσει το 50%, ή έχει καλύψει το 100% των διαθέσιμων υδάτων.

Οι καταναλώσεις νερού αυξάνονται ραγδαία λόγω της:

- Αύξησης του πληθυσμού
- Αύξηση των αναγκών άρδευσης
- Ανάπτυξη της βιομηχανίας
- Αύξηση τουρισμού

Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Το πρόβλημα νερού στην Ελλάδα/Ελληνικά Νησιά

Μείωση βροχοπτώσεων
Ακραίες μετεωρολογικές μεταβολές
Κακή διαχείριση των υδάτινων πόρων

Λειψυδρία

Αναζήτηση Εναλλακτικών Λύσεων

Μεταφορά Νερού με πλοία
Επαναχρησιμοποίηση Νερού

Αφαλάτωση Νερού

Αποδοτικότητα του υδατικού πόρου
Ελαφινή σχεδίου διαχείρισης
κακή υποδομή (δικτύα ύδρευσης, αποβλήτους νερού)
τάση για προσωρινές και μη αποτελεσματικές λύσεις

Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Η Τεχνολογία της Αφαλάτωσης

Saline Water

Energy

DESALTING DEVICE

Brine

Fresh Water

Μέθοδοι Αφαλάτωσης

Οι εμπορικά διαθέσιμες μέθοδοι αφαλάτωσης χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

```

graph TD
    A[Μεμβρανών] --> B[Ηλεκτροδιάλυση]
    A --> C[Αντίστροφη Οσμωση]
    D[Θερμικές] --> E[Πολυβάθμια Εξάτμιση]
    D --> F[Πολυβάθμια Εκτόνωση]
    D --> G[Εξάτμιση με Επανασυμπίεση Ατμών]
    G --> H[TVC]
    G --> I[MVC]
  
```

Intelligent Energy Europe

Μέθοδοι Αφαλάτωσης

Οι εμπορικά διαθέσιμες μέθοδοι αφαλάτωσης χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Πολυβάθμια Εκτόνωση Source: UNIPK

Πολυβάθμια Εξάτμιση

Εξάτμιση με Επανασυμπίεση Ατμών

Ηλεκτροδιάλυση Source: CHES

Αντίστροφη Οσμωση

Intelligent Energy Europe

Αφαλάτωση με ΑΠΕ

Οι μέθοδοι αφαλάτωσης χαρακτηρίζονται ως τεχνολογίες ενεργειακά ενεργοβόρες.

Μια εναλλακτική εφαρμογή των συστημάτων αφαλάτωσης, όσον αφορά τις ενεργειακές τους καταναλώσεις, είναι ο συνδυασμός τους με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).

Ο συνδυασμός των δύο τεχνολογιών είναι τεχνικά εφικτός και έχει πλέον αρκετές εφαρμογές παγκοσμίως.

Η πλειονότητα των εφαρμογών αυτών αφορά μικρές, αυτόνομες πιλοτικές μονάδες που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια Εθνικών ή Κοινοτικών προγραμμάτων.

Μέχρι σήμερα έχουν καταγραφεί παγκοσμίως περίπου 133 εφαρμογές μονάδων αφαλάτωσης με ΑΠΕ, για την αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού.

Οι περισσότερες από τις εφαρμογές είναι «custom designed», για συγκεκριμένες περιοχές και κάνουν χρήση κυρίως ηλιακής και αιολικής ενέργειας για την παραγωγή πόσιμου νερού.

Intelligent Energy Europe

Συνδυασμοί Τεχνολογιών Αφαλάτωσης με ΑΠΕ

Αιολική Ενέργεια → ΑΠΕ (Α/Γ, Φ/Β) → Ηλεκτρική Μηχανική Ενέργεια → Αφαλάτωση (Αντίστροφη Οσμωση (RO), Ηλεκτροδιάλυση (ED), Επανασυμπίεση Ατμών (TVC, MVC), Πολυβάθμια Εκτόνωση (MSF), Πολυβάθμια Εξάτμιση (MED)) → Καθαρό Νερό

Ηλιακή Ενέργεια → Θερμικοί Ηλιακοί Συλλεκτές Γεωθερμία → Θερμική Ενέργεια → Αφαλάτωση (Αντίστροφη Οσμωση (RO), Ηλεκτροδιάλυση (ED), Επανασυμπίεση Ατμών (TVC, MVC), Πολυβάθμια Εκτόνωση (MSF), Πολυβάθμια Εξάτμιση (MED)) → Καθαρό Νερό

Γεωθερμική Ενέργεια → Θερμική Ενέργεια → Αφαλάτωση (Αντίστροφη Οσμωση (RO), Ηλεκτροδιάλυση (ED), Επανασυμπίεση Ατμών (TVC, MVC), Πολυβάθμια Εκτόνωση (MSF), Πολυβάθμια Εξάτμιση (MED)) → Καθαρό Νερό

Αλμυρό Νερό → Αφαλάτωση → Καθαρό Νερό

Intelligent Energy Europe

PRODES

Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Άλλοι συνδυασμοί Τεχνολογιών Αφαλάτωσης με ΑΠΕ

- Ηλιοθερμα
- Ηλιακή Αφύγρανση
- Ηλιακή Απόσταξη με Μεμβράνες
- Αντίστροφη Όσμωση με Κυματική Ενέργεια



Source: UNES



Source: P. Koutoulas

Intelligent Energy Europe



PRODES

Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Κριτήρια Επιλογής Τεχνολογίας

Η τελική επιλογή τεχνολογίας Αφαλάτωσης με ΑΠΕ βασίζεται σε βασικές παραμέτρους όπως:

- Διαθεσιμότητα νερού τροφοδοσίας, ποιότητα και ποσότητα
- Απαιτήσεις σε παραγόμενο νερό, ποιότητα και ποσότητα
- Ενεργειακές καταναλώσεις
- Δυναμικό ΑΠΕ
- Μέγεθος Μονάδας
- Διαθεσιμότητα γης
- Διαθεσιμότητα Προσωπικού
- Προϋπολογισμός




Intelligent Energy Europe

PRODES

Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination


Συνδυασμός Τεχνολογιών

Αυτόνομα Συστήματα

- ✓ Μονάδα ΑΠΕ (Α/Γ, Φ/Β, Υβριδικό, κλ.π.)
- ✓ Ρυθμιστής Φόρτισης
- ✓ Αποθήκευση Ενέργειας
- ✓ Μετατροπείς Ισχύος

Συνδεδεμένα στο δίκτυο

- ✓ Η μονάδα αφαλάτωσης συνδέεται στο δίκτυο
- ✓ Η μονάδα ΑΠΕ συνδέεται στο δίκτυο. Η παραγωγή της σε ηλ. ενέργεια καλύπτει τις ενεργειακές καταναλώσεις της αφαλάτωσης



Intelligent Energy Europe

PRODES Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Εφαρμογές Αφαλάτωσης με ΑΠΕ

Ηλιακή Μονάδα Πολλαπλής Εξάτμισης (1)

Δυναμικότητα Νερού: 80 κ.μ/ημ
 Νερό τροφοδοσίας: θαλασσινό
 Επιφάνεια Συλλεκτών: 1862 τ.μ
 Αριθμός Συλλεκτών: 1064
 Θερμοκρασία Νερού Τροφοδοσίας: 99°C



Umm Al Nar, Abu Dhabi, UAE (1984)

Source: CRES

Intelligent Energy Europe

PRODES Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Ηλιακή Μονάδα Πολλαπλής Εξάτμισης (2)

Δυναμικότητα Νερού: 3 κ.μ/ώρα (72 κ.μ/ημ)
 Νερό τροφοδοσίας: θαλασσινό
 Επιφάνεια Συλλεκτών: 500 τ.μ
 Αριθμός Συλλεκτών: 252
 Θερμοκρασία Νερού Τροφοδοσίας: 70°C



Source: CRES



Almeria, Spain (1993)
 CIEMAT, Spain

Source: CIEMAT

Intelligent Energy Europe

PRODES Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Μονάδα Πολλαπλής Εξάτμισης με Γεωθερμική Ενέργεια

Δυναμικότητα Νερού: 80 κ.μ/ημ.
 Νερό Τροφοδοσίας: θαλασσινό
 1 γεώτρηση βάθους 188μ
 T_{geo} : 61°C, μονάδα χαμηλής ενθαλπίας



Source: CRES



The Kímolos geothermal desalination unit.

Kímolos Island, Greece (2000)
 THERMIE Programme

Intelligent Energy Europe

PRODES Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Μονάδα Επανασυμπίεσης Ατμών με Α/Γ(1)

Δυναμικότητα Νερού: 50 κ.μ/ημ
 Νερό Τροφοδοσίας: θαλασσινό
 Ονομαστική Ισχύς Α/Γ: 2x230kW



Source: UNESCO, Morris R.



Pozo Izquierdo, Gran Canaria
 ITC, Spain (1999)
 JOULE Programme, SDAWES Project


Source: ITC

Intelligent Energy Europe

PRODES Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Μονάδα Επανασυμπίεσης Ατμών με Α/Γ (2)
 Δυναμικότητα Νερού: 12.5 κ.μ/ώρα, (300 κ.μ/ημ)
 Νερό Τροφοδοσίας: θαλασσινό
 Ονομαστική Ισχύς Α/Γ: 300 kW

KGW – Ruegen Island, Germany (1995)





Source: KGW

Intelligent Energy Europe

PRODES Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Μονάδα Επανασυμπίεσης Ατμών με Α/Γ (3)
 Δυναμικότητα Νερού : 450 κ.μ./ημ.
 Νερό Τροφοδοσίας: θαλασσινό
 Ονομαστική Ισχύς Α/Γ : 750 kW

Symi island, Greece, 2009



Source: CRES

Intelligent Energy Europe

PRODES Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης με Φ/Β (1)
 Δυναμικότητα Νερού : 3+2 κ.μ/ώρα (120 κ.μ/ημ)
 Νερό Τροφοδοσίας: θαλασσινό
 Ονομαστική Ισχύς Φ/Β: 100 kWp
 Αριθμός Φ/Β Πανέλων: 2272
 Χωρητικότητα Μονάδας Αποθ. Ενέργειας: 2x2000 Ah

Lampedusa island, (1990)
 ANIT, Italy




Source: UNESCO, Maria R

Intelligent Energy Europe

PRODES Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης με Φ/Β (2)
 Δυναμικότητα Νερού : 0.4 κ.μ/ώρα (9.6 κ.μ/ημ.)
 Νερό Τροφοδοσίας: θαλασσινό
 Ονομαστική Ισχύς Φ/Β: 4.80 kWp
 Αριθμός Φ/Β Πανέλων: 64
 Χωρητικότητα Μονάδας Αποθ. Ενέργειας: 19kWh

Pozo Izquierdo, Gran Canaria
 ITC, Spain (1998, 2000)
 DESSOL Project



Source: ITC

Intelligent Energy Europe

Μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης με Φ/Β (3)

Δυναμικότητα Νερού : 3.4 κ.μ/ώρα

Νερό Τροφοδοσίας: υφάλμυρο

Ονομαστική Ισχύς Φ/Β: 16.8 kWp

Αριθμός Φ/Β Πανέλων: 140

Χωρητικότητα Μονάδας Αποθ. Ενέργειας: 73.5 kWh

Aqaba, Jordan
(2004/5)

Source: CRES

Plant Location	Water Type	RO capacity	PV installed power	Commissioning Year
D Hamraein, Egypt	BW	10m ³ /h	~ 20kWp	1986
Hassi Khebi, Algeria	BW	0.95m ³ /h	2.6 kWp	1988
Utev. of Almeria, Spain	BW	2.5 m ³ /h	23.5 kWp	1988
Lampedusa Island, Italy	SW	3+2 m ³ /h	100 kWp	1990
Lipari Island, Italy	SW	2m ³ /h	63kWp	1991
Sadoun Riyadh Region, Saudi Arabia	BW	6000/hr	10.89 kWp	1994
St. Lucie, Florida	SW	0.6 m ³ /day	2.7kWp	1995
Gillen Bore, Australia	BW	1.2m ³ /day	4.16 kWp	1996
Maagan Michel, Israel	BW	0.4 m ³ /h	3.5 kWp PV, 0.6 kW W/T + 3 kW diesel	1997
Pozo Izquierdo, Gran Canaria Island, DESSOL	SW	3 - 4 m ³ /day	4.8 kWp	1998/2000
Sadoun Village, Saudi Arabia	BW	6000/hr	10.88 kWp	2001
CREST, UK	SW	3m ³ /day	2.4 kWp	2001/02
CRES, Greece	SW	130 l/h	4 kWp PV, 1 kW W/T	2002
White Cliffs, New South Wales, Australia	BW	5000/day	150 Wp	2003
Aqaba, Jordan	BW	3.4m ³ /hr	16.8kWp	2004
Kuse Chilene, Tunisia ADIRA Project	BW	2.1m ³ /hr	10.5kWp	2006
Benhalme, Morocco, ADIRA	BW	1m ³ /hr	4.8kWp	2006/07
Muam, Morocco, ADIRA Project	BW	1m ³ /hr	3.9kWp	2006/07

Source: CRES

Μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης με Α/Γ (1)

Δυναμικότητα Νερού : 0.8 κ.μ/ώρα

Νερό Τροφοδοσίας: θαλασσινό

Ονομαστική Ισχύς Α/Γ: 15 kW

Χωρητικότητα Μονάδας Αποθ. Ενέργειας: 190 Ah

Pozo Izquierdo, Gran Canaria
ITC, Spain (2004)

Source: ITC

Μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης με Α/Γ (2)

Δυναμικότητα Νερού : 56 κ.μ/ημ.


Νερό Τροφοδοσίας: θαλασσινό

Ονομαστική Ισχύς Α/Γ: 225 kW, diesel backup, αποθήκευση ενέργειας

Fuerteventura island
(2003/4)

Source: ITC

Μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης με Α/Γ (3)
 Δυναμικότητα Νερού : 2300 κ.μ/ημ.
 Νερό Τροφοδοσίας: θαλασσινό
 Ονομαστική Ισχύς Α/Γ: 850 kW, συνδεδεμένη στο δίκτυο



Milos island, Greece, seawater,
grid connected,
(2007)

Location	RO capacity (m ³ /hr)	Electricity supply	Year of installation
Ile du Planier, France	0.5	4kW W/T	1982
Island of Suderoog, Germany	0.25 - 0.37	6kW W/T	1983
Island of Helgoland, Germany	40	1.2MW W/T + diesel	1988
Fuerteventura, Spain	2.3	225 kW W/T + 160 KVA diesel, flywheel	1995
Pozo Izquierdo, SDAWES	8 x 1.0	2x230 kW W/T	1995
Therassia Island, APAS RENA	0.2	15 kW W/T, 440Ah batteries	1995/6
Tenerife, Spain: JOULE	2.5 - 4.5	30kW W/T	1997/8
Syros island, Greece: JOULE	2.5 - 37.5	500 kW W/T, stand-alone + grid connected	1998
Keratea, Greece PAVET Project	0.13	900W W/T, 4 kWp PV, batteries	2001/2
Pozo Izquierdo, Spain, AEROGEDESA project	0.80	15kW W/T, 190Ah batteries	2003/4
Loughborough Univ, UK	0.5	2.5kW W/T, no batteries	2001/2
Milos island, Greece OPC programme	2 x 42	850kW W/T, grid connected	2007
Heraklia island, Greece OPC programme	3.3	30 kW W/T off shore, batteries	2007
Delf Univ., The Netherlands	0.2 - 0.4	Windmill, no batteries	2007/2008

Source: CRES

Υβριδική Μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης, με Α/Γ και Φ/Β
 Δυναμικότητα Νερού : 130 λίτρα/ώρα (3 κμ/ημ.)
 Νερό Τροφοδοσίας: θαλασσινό
 Ονομαστική Ισχύς Α/Γ: 900 W
 Ονομαστική Ισχύς Φ/Β: 4 kWp
 Χωρητικότητα Μονάδας Αποθ. Ενέργειας: 1850Ah/100h




CRES, Keratea, Greece
(2001)

Αφαλάτωση με ΑΠΕ – Τυπικό Κόστος Παραγόμενου Νερού

Installation	RES kW	Desalination m ³ /day	Unit Water Cost, €/m ³
SW Solar thermal MED, Almeria	500 m ²	72	2.5-3
SW PV RO, Pojo Izquierdo	4.8 kWp PV	9.6	9
SW Wind RO, Pojo Izquierdo	15 kW WG	19	3-5
SW PV-RO, Lampedusa	100 kWp PV	120	~ 6
SW, Geothermal MED plant, Milos island	61°C	80	<1
SW Wind RO, Loughborough Univ, UK	2.5	12	1.75
SW Wind RO Milos island	grid	2300	1.8
BW Hybrid RO, Maagan	600W WG, 3.5 kWp PV	3	7.5

PRODES Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Η Αγορά Συστημάτων Αφαλάτωσης με ΑΠΕ

Τα τελευταία χρόνια, ένας μικρός αριθμός κατασκευαστών προώθησαν στην αγορά ολοκληρωμένα συστήματα αφαλάτωσης με ΑΠΕ, για την παραγωγή ενέργειας και καθαρού νερού.



Source: Synell



Source: Enercon



Source: Enercon



Source: Mape



Source: Spectra

Intelligent Energy Europe

PRODES Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Type	Type of water	Capacity in m³/day	Number of RO units	Number of 20' Containers	Pumps per RO unit
EDS SW 300	Seawater	175 – 350	1	4	1
EDS SW 600	Seawater	175 – 700	2	4	1
EDS SW 900	Seawater	175 – 1,050	3	5	1
EDS SW 1,200	Seawater	175 – 1,400	4	5	1
EDS BW 600	Brackish	350 – 700	1	4	1
EDS BW 1,200	Brackish	350 – 1,400	2	5	1
EDS BW 1,800	Brackish	350 – 2,100	3	6	1
EDS BW 2,400	Brackish	350 – 2,800	4	7	1

Source: Enercon

Intelligent Energy Europe

PRODES Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

Συμπεράσματα

Ο συνδυασμός των τεχνολογιών αφαλάτωσης με ΑΠΕ είναι:

- Τεχνικά Εφικτός
- Αποτελεί εναλλακτική λύση για περιοχές με πρόβλημα λιειψυδρίας και έλλειψη ηλ. ενέργειας
- Ανταγωνιστική λύση με άλλες εναλλακτικές πηγές νερού
- Ιδανική για μικρού μεγέθους εφαρμογές (για αυτόνομα συστήματα)
- Υπαρξη πλήθους εφαρμογών, (κυρίως αυτόνομων μικρών συστημάτων)
- Ανάγκη για περισσότερες και μεγαλύτερου μεγέθους εφαρμογές
- Ανάγκη για μεγαλύτερη και ανταγωνιστικότερη αγορά σε ολοκληρωμένα συστήματα.

Η χρήση τεχνολογιών ΑΠΕ για την λειτουργία μονάδων Αφαλάτωσης πρέπει να αποτελείσει, όπου είναι εφικτό, κανόνα και όχι εναλλακτική λύση.

Intelligent Energy Europe

PRODES Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination

*Ευχαριστώ για την προσοχή σας
Ευχαριστώ για την προσοχή σας*

Ευχαρία Τζάνι
Μηχ. Μηχανικός, BSc, MSc
Τμήμα Ανανεώσιμης Ενέργειας ΚΑΠΕ
email: etzan@prodes.gr

Intelligent Energy Europe