

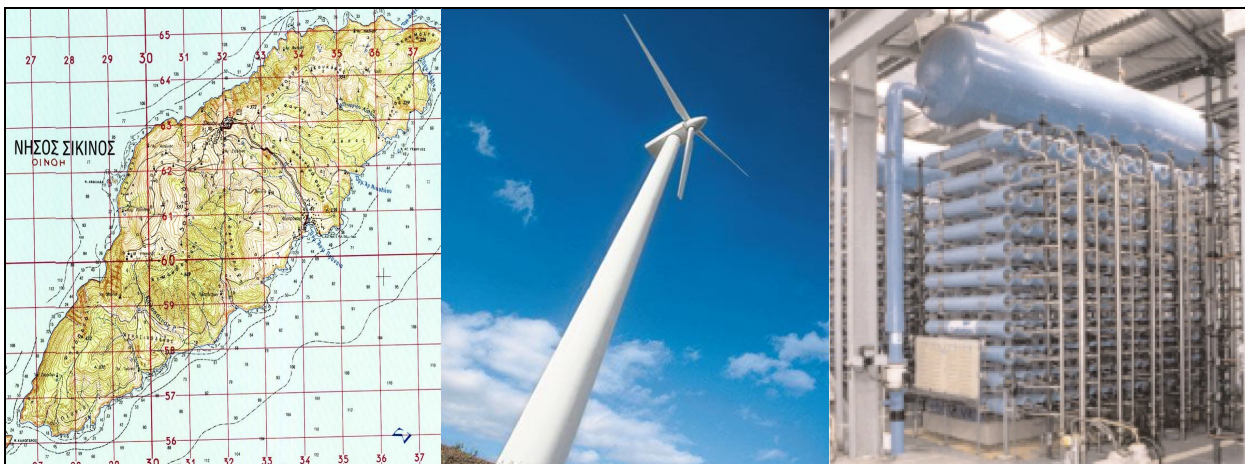


Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία με θέμα:

**«Κάλυψη της ζήτησης ενέργειας και νερού με
αιολική ενέργεια και αφαλάτωση στη νήσο
Σίκινο»**



Επιμελητής εργασίας:
Μουτάφης Παναγιώτης

Επιβλέπων Καθηγητής:
Ζερβός Αρθούρος

ΑΘΗΝΑ 2008

Εισαγωγή

Με την παρούσα διπλωματική εργασία κλείνει ένα κεφάλαιο της ζωής μου που είναι η φοίτηση στο Πολυτεχνείο και ξεκινάει ένα άλλο, μεγαλύτερο, που είναι η εργασία ως διπλωματούχος πια Μηχανολόγος Μηχανικός.

Η εργασία αυτή ήταν μια προσωπική επιλογή, λόγω της ευαισθησίας μου στα περιβαλλοντικά προβλήματα και μου δίνει την ευκαιρία να αξιοποιήσω τις αποκτηθείσες στη Σχολή γνώσεις μου για να βοηθήσω, σε επίπεδο σχεδιασμού τουλάχιστον, να ηλεκτροδοτηθεί και να υδροδοτηθεί ένας τόπος της Ελλάδας αποκλειστικά με «πράσινη» ενέργεια. Ο τόπος αυτός είναι η νήσος Σίκινος, που βρίσκεται στις νότιες Κυκλάδες και είναι ένα μικρό, αλλά γραφικό νησί και της αξίζει να παραμείνει έτσι, αμόλυνη από τη βιομηχανία. Αν τελικά ποτέ υλοποιηθεί εκεί ένας σχεδιασμός παρόμοιος με αυτόν που περιγράφεται στην εργασία αυτή, η Σίκινος θα ανεβάσει αισθητά το βιοτικό της επίπεδο, με αυτάρκεια σε νερό και ηλεκτρικό, ενώ δεν θα χάσει τίποτα από τη γραφικότητά της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή μου κ. Αρθούρο Ζερβό για την εμπιστοσύνη του να μου αναθέσει την εργασία αυτή και τον βοηθό του Δρ Γιώργο Κάραλη για την συνεχή επίβλεψη και καθοδήγησή του. Το μάθημα της «Αιολικής Ενέργειας» που διδάχθηκα από τους δυο προαναφερθέντες υπήρξε καταλύτης στην επιλογή της διπλωματικής μου.

Ευχαριστώ επίσης τον Κοινοτάρχη της Σικίνου, κ. Γιάννη Συρίγο, που μου έδωσε πολύτιμες πληροφορίες για το νησί του, χωρίς τις οποίες δεν θα ήταν δυνατό να ξεκινήσει η παρούσα εργασία, καθότι για το συγκεκριμένο νησί τα στοιχεία σπανίζουν. Ο κ. Συρίγος ήταν πλήρως ενημερωμένος για τα θέματα της Κοινότητας και απάντησε ευγενικά και υπομονετικά σε όλες μου τις ερωτήσεις.

Το Λιμεναρχείο της Ίου με βοήθησε σημαντικά στέλνοντάς μου στοιχεία για τις αφίξεις - αναχωρήσεις από τη Σίκινο και τους ευχαριστώ γι' αυτό, όπως και το προσωπικό του Αυτόνομου Σταθμού Παραγωγής της ΔΕΗ στη Νάουσα της Πάρου για τα στοιχεία κατανάλωσης που μου έδωσαν. Ιδιαίτερος ευχαριστώ τον Διευθυντή του σταθμού κ. Λεωνίδα Πιάκη για την τηλεφωνική συνέντευξη που μου παραχώρησε, παρά το φόρτο εργασίας του.

Ο κ. Ι. Χατζηβασιλειάδης, Σύμβουλος Μηχανικός, ο οποίος έχει πραγματοποιήσει μελέτες για αφαλάτωση με αιολικά σε αρκετά νησιά του Αιγαίου, με κατατόπισε σε πολλά θεωρητικά και πρακτικά ζητήματα που άπτονται της διπλωματικής μου και τον ευχαριστώ γι' αυτό. Πολύτιμη επίσης ήταν και η αλληλογραφία μου με τον κ. Ζήσιμο Μαντά, Μηχανολόγο Μηχανικό ΕΜΠ, που εργάζεται στην Enercon Hellas και μου έδωσε χρήσιμα στοιχεία που αφορούν τις ανεμογεννήτριες της εταιρείας του.

Κλείνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υπομονή και τη στήριξή της καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας μου και των σπουδών μου γενικότερα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	
Χαρακτηριστικά της νήσου Σικίνου	6
1. Γενικά – τοπογραφικά στοιχεία	6
2. Ιστορία	8
3. Γεωλογία – Υδρογεωλογία	10
α) Γεωλογία ευρύτερης περιοχής	10
β) Περαιτότητα σχηματισμών	10
γ) Σχηματισμός πηγών – πηγές	11
δ) Σχηματισμός υδροφορέων	12
ε) Υδρολογικός κύκλος – κίνηση νερού	13
4. Δημογραφικά στοιχεία – τουρισμός	14
5. Η υδροδότηση στη Σίκινο σήμερα και στο πρόσφατο παρελθόν	18
α) Το πρόβλημα του νερού στα ελληνικά νησιά	18
β) Το πρόβλημα του νερού στη Σίκινο και η υφιστάμενη κατάσταση ύδρευσης	19
γ) Η κατανάλωση νερού στη Σίκινο	21
6. Η ηλεκτροδότηση στη Σίκινο σήμερα και στο πρόσφατο παρελθόν	24
α) Η ηλεκτροδότηση των ελληνικών νησιών	24
β) Η ηλεκτροδότηση στη Σίκινο σήμερα και στο πρόσφατο παρελθόν	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	
Αφαλάτωση	29
1. Τι είναι η αφαλάτωση – ιστορικά στοιχεία	29
2. Συνήθεις μέθοδοι αφαλάτωσης	31
α) Πολυβάθμια εκτόνωση (multiple stage flashing, MSF)	32
β) Πολυβάθμια εξάτμιση (multiple effect distillation)	33
γ) Εξάτμιση με συμπίεση ατμών (vapor compression)	34
δ) Ηλιακή απόσταξη (solar distillation)	36
ε) Αντίστροφη όσμωση (reverse osmosis)	37
στ) Ηλεκτροδιάλυση (elektrodialysis)	41
3. Σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης	42
4. Η αφαλάτωση στον Ελλαδικό χώρο	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	
Αφαλάτωση με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης	47
1. Επιλογή καταλληλότερης μεθόδου αφαλάτωσης για τα δεδομένα της νήσου Σικίνου	47
2. Εμβάθυνση στη λειτουργία και την τεχνολογία της αντίστροφης όσμωσης	47
α) Γενικά – διεργασίες διαχωρισμού με μεμβράνες – φυσική ερμηνεία ...	47
β) Υπολογισμός οσμωτικής πίεσης	49
γ) Απόρριψη του άλατος	50
δ) Ανάκτηση προϊόντος	51
ε) Μεμβράνες	51
στ) Διαμορφώσεις μεμβρανών	52

ζ) Μοντελοποίηση RO – εξισώσεις μεταφοράς μάζας	55
3. Επιλογή συστήματος αφαλάτωσης του εμπορίου για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης της Σικίνου	58
Βήμα 1ο : Καθορισμός τύπου και ποιότητας νερού τροφοδοσίας, παροχή και ποιότητα προϊόντος	58
Βήμα 2ο : Καθορισμός τρόπου ροής και αριθμός περασμάτων	59
Βήμα 3ο : Επιλογή κατάλληλης μεμβράνης	61
Βήμα 4ο : Επιλογή μέσης ροής του συστήματος	62
Βήμα 5ο : Υπολογισμός του αναγκαίου αριθμού στοιχείων (μεμβρανών)	63
Βήμα 6ο : Υπολογισμός του αριθμού των δοχείων πίεσης	63
Βήμα 7ο : Υπολογισμός του αριθμού των σταδίων	63
Βήμα 8ο : Υπολογισμός του λόγου διαβάθμισης (staging ratio)	64
Βήμα 9ο : Εξισορρόπηση της ροής του προϊόντος.....	65
Βήμα 10ο : Ανάλυση και βελτιστοποίηση του συστήματος	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	
Ενεργειακή κάλυψη του νησιού από αιολικά	73
1. Υπολογισμός απαιτούμενης ενέργειας για την αφαλάτωση	73
2. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στη Σίκινο	75
3. Ανεμολογικά δεδομένα – δυνατότητες εγκατάστασης Α/Γ	76
4. Επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων με το πρόγραμμα Windrose και υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας	80
α) Επιλογή Α/Γ – κατανομή Weibull – μέσος συντελεστής ισχύος	80
β) Επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων	83
γ) Ορισμένα χαρακτηριστικά της Α/Γ ENERCON E33	85
δ) Διασύνδεση Α/Γ – μονάδας αφαλάτωσης – φορτίου (κατανάλωση)	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο	
Οικονομική ανάλυση του έργου	87
1. Υπολογισμός συνολικού κόστους της εγκατάστασης (αιολικά και αφαλάτωση)	87
2. Υπολογισμός ετήσιων δαπανών λειτουργίας και συντήρησης της εγκατάστασης (αιολικά και αφαλάτωση)	88
3. Προσωπικό αιολικού πάρκου και μονάδας αφαλάτωσης	89
4. Χρήσιμες οικονομικές έννοιες	90
5. Ανάλυση κόστους παραγωγής	91
6. Περιβαλλοντικά οφέλη	95
7. Συμπεράσματα	95
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I	
Ημερήσια παραγωγή ΑΣΠ Πάρου και φορτία Σικίνου για το έτος 2007	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II	
Εξισώσεις επίλυσης συστήματος αντίστροφης όσμωσης	101
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III	
Επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων με το πρόγραμμα WINDROSE	104
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV	
Τεχνικά χαρακτηριστικά της Α/Γ ENERCON E33, 330 KW	117
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V	
Αναλυτικοί οικονομικοί υπολογισμοί	137
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ	138

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η κάλυψη των αναγκών σε ύδρευση και ηλεκτροδότηση της νήσου Σίκινου με αφαλάτωση θαλασσινού νερού και αιολική ενέργεια αντίστοιχα. Σκοπός είναι η εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού του νησιού και η απεξάρτησή του από την ηπειρωτική χώρα. Έτσι ανεβαίνει το βιοτικό επίπεδο του νησιού και το κράτος εξοικονομεί σημαντικά χρηματικά ποσά που δαπανώνται ετησίως σε καύσιμα και μεταφορά νερού. Επίσης μειώνονται κατά πολύ τα αέρια του θερμοκηπίου που οφείλονται στην κατανάλωση ρεύματος στη Σίκινο, αφού η ενέργεια που παράγεται πια είναι εξολοκλήρου «πράσινη».

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση της Σίκινου από όλες τις πλευρές, ιστορική, τουριστική, περιβαλλοντική και κυρίως εξετάζεται η παρούσα κατάσταση ύδρευσης και ηλεκτροδότησης, με αναφορές στο πρόσφατο παρελθόν, αλλά και την αντίστοιχη κατάσταση στα γύρω νησιά. Απώτερος σκοπός είναι η εξεύρεση της χρονοσειράς ζήτησης νερού και ενέργειας, ώστε να εξεταστεί αργότερα η κάλυψή της από αιολικά και αφαλάτωση.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι πλέον χρησιμοποιούμενες σήμερα μέθοδοι αφαλάτωσης παγκοσμίως. Η προσέγγιση είναι περισσότερο ποιοτική και έχει σαν στόχο να επισημάνει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα καθεμίας και να γίνει κατανοητή η επιλογή μιας συγκεκριμένης μεθόδου για τις ανάγκες της Σίκινου.

Στο τρίτο κεφάλαιο έχει γίνει επιλογή της αντίστροφης όσμωσης ως καταλληλότερης μεθόδου αφαλάτωσης για τη Σίκινο. Με δεδομένες τις ανάγκες υδροδότησης του νησιού επιχειρείται διαστασιολόγηση της μονάδας αφαλάτωσης, προσδιορισμός των ενεργειακών της αναγκών και η ευελιξία της να δουλεύει σε διαφορετικά φορτία όλο το χρόνο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, αφού έχουν προσδιοριστεί οι ενεργειακές ανάγκες του νησιού και της μονάδας αφαλάτωσης, εξετάζεται η εγκατάσταση ανεμοκινητήρων που θα κάνουν τη Σίκινο ενεργειακά αυτόνομη. Η επιλογή του κατάλληλου τύπου ανεμοκινητήρα είναι σημαντική, γιατί η Σίκινος έχει πολλούς προστατευόμενους βιότοπους και ο σεβασμός στο περιβάλλον πρέπει να είναι πρώτη προτεραιότητα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η οικονομική ανάλυση του όλου έργου, υπολογίζονται τα κόστη αγοράς εξοπλισμού, συντήρησης και λειτουργίας και εξετάζεται ο τρόπος αποπληρωμής, καθώς και τα αναμενόμενα οικονομικά οφέλη.

Κεφάλαιο 1^ο

Χαρακτηριστικά της νήσου Σικίνου

1. Γενικά – τοπογραφικά στοιχεία



Χάρτης των Κυκλάδων



Χάρτης της Σικίνου

Η Σίκινος είναι ένα μικρό νησί των Κυκλάδων ανάμεσα στην Ίο και τη Φολέγανδρο. Έχει έκταση 49 τ.χλμ. και μόνιμο πληθυσμό περίπου 250 κατοίκους, σύμφωνα με στοιχεία της κοινότητας (238 κάτοικοι κατά την απογραφή του 2001). Διοικητικά είναι Κοινότητα που είναι όμως ανεξάρτητη, σαν Δήμος και ανήκει στο Νομό Κυκλάδων, Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου. Το σχήμα της είναι μακρόστενο και το έδαφός της είναι κυρίως ορεινό και βραχώδες. Το μήκος της από το ακρωτήριο Μάλτα στα βορειοανατολικά μέχρι το ακρωτήριο Κάστελλος ή Καρρά στα ΝΔ είναι 14,5 χλμ. ενώ το πλάτος της είναι 4,8 χλμ. Ομαλή η νοτιοανατολική πλευρά της ανηφορίζει συνεχώς προς τα βορειοδυτικά για να καταλήξει σε ένα απότομο γκρεμό ύψους 300 μέτρων πάνω από τη θάλασσα. Τα κυριότερα βουνά της Σικίνου είναι ο Τρούλος (559 μ.) στη μέση του νησιού και κοντά του ο Άγιος Μάμας, νοτιότερα η Αγία Μαρίνα και το Ψηλό Πετάλι και κοντά στη Χώρα το Φρούδι του Μοναστηριού. Το έδαφος της Σικίνου είναι πετρώδες και σε ένα τμήμα του καλύπτεται από ελαιόδεντρα.

Οι σημαντικότεροι οικισμοί της Σικίνου είναι η Αλοπρόνια, που είναι και το μοναδικό λιμάνι, ενώ στα ορεινά βρίσκεται η Χώρα ή Σίκινος, που αποτελεί συνένωση τριών παλαιότερων οικισμών, του Χωριού, του Κάστρου και του Βουνίου. Ο μοναδικός ασφαλτοστρωμένος δρόμος του νησιού είναι αυτός που συνδέει το λιμάνι με τη Χώρα.

Πάντως η Σίκινος, λόγω της απομόνωσης και της γραφικότητάς της, αναλλοίωτη απ' την οικιστική ανάπτυξη των τουριστικών κυκλαδονήσων,

αποτελεί πόλο έλξης τουριστών που αναζητούν την ηρεμία και τη γαλήνη, ενώ μερικοί από αυτούς την επιλέγουν τελικά και ως μόνιμη κατοικία. Οι κάτοικοι φημίζονται για τη φιλικότητα προς τους ξένους, ενώ ο τουρισμός δεν έχει καταστρέψει την παραδοσιακή εικόνα του νησιού, με τα πέτρινα σοκάκια και τα παλιά αρχοντικά. Οι ντόπιοι απασχολούνται με τον τουρισμό, την αλιεία, την καλλιέργεια της ελιάς και τη μελισσοκομία, ενώ κάποιοι είναι δημόσιοι και δημοτικοί υπάλληλοι.

Η Σίκινος επίσης διαθέτει: διαθέσιο Δημοτικό σχολείο, Γυμνάσιο με τάξεις Λυκείου, Πολυδύναμο Περιφερειακό Ιατρείο – Οδοντιατρείο (το οποίο όμως στελεχώνεται από έναν αγροτικό γιατρό), ένα ελικοδρόμιο, ένα ξενοδοχείο, δυο μουσεία, 120 περίπου ενοικιαζόμενα δωμάτια και λίγα εμπορικά καταστήματα.

Εδώ και λίγα χρόνια τροφοδοτείται με ρεύμα από την Πάρο με υποβρύχιο καλώδιο της ΔΕΗ και νερό παίρνει από υδροφόρες που έρχονται από το Λαύριο, κατόπιν σύμβασης με το Υπουργείο Αιγαίου, καθώς και από λίγες πηγές και πηγάδια του νησιού.

Η Σίκινος συνδέεται ακτοπλοϊκώς με την ηπειρωτική Ελλάδα με το λιμάνι του Πειραιά, από το οποίο απέχει 113 ναυτικά μίλια και το ταξίδι διαρκεί περίπου εννιά ώρες. Επικοινωνεί, επίσης, με την Ίο, τη Σαντορίνη, τη Θηρασιά, τη Σύρο, την Ανάφη και το Λαύριο.



Πανοραμική άποψη των οικισμών Χωριό και Κάστρο

2. Ιστορία

Σύμφωνα με τη μυθολογία^[15], το όνομα του νησιού προέρχεται από τον Σίκινο, το γιο του βασιλιά της Λήμνου Θόαντα και μιας νύμφης. Ο μύθος αυτός αρχίζει από τη Λήμνο, όταν οι γυναίκες αποφάσισαν μυστικά να σκοτώσουν

όλους τους άνδρες στο νησί γιατί, όπως έλεγαν, τις παραμελούσαν. Η Υψιπύλη όμως, η κόρη του βασιλιά, που ήθελε να σώσει τον πατέρα της, τον έβαλε μέσα σε ένα ξύλινο στεγανό κιβώτιο και τον πέταξε στη θάλασσα. Τα κύματα έφεραν το κιβώτιο στη Σίκινο, όπου το βρήκαν ψαράδες και έσωσαν το Θόαντα. Από την ένωση του Θόαντα με μια τοπική νύμφη γεννήθηκε ο Σίκινος από τον οποίο πήρε το όνομά του το νησί. Το νησί όμως λεγόταν παλιά και Οινόη, προφανώς επειδή ευδοκιμούσαν εκεί τα αμπέλια και υπήρχε παραγωγή κρασιού.

Σύμφωνα με πολλές επιγραφές η Σίκινο αποικήθηκε πρώτα από τους Ίωνες, γύρω στο 10^ο αιώνα π.Χ. Πιθανόν οι Ίωνες να κατέβηκαν από τη Λήμνο, πράγμα που δικαιολογεί τον μύθο. Πάντως τα γειτονικά νησιά Μήλος, Φολέγανδρος και Θήρα κατοικούνταν από Δωριείς, οι οποίοι μάλλον είχαν καταλάβει και τη Σίκινο για κάποια περίοδο. Την εποχή του 5^{ου} και 6^{ου} αιώνα π.Χ. η Σίκινο θεωρούνταν μικρής σημασίας και ισχύος και αυτό φαίνεται από τα λόγια του Σόλωνα του Αθηναίου που αναφέρει χαρακτηριστικά ότι θα προτιμούσε να ήταν Σικινιώτης ή Φολεγάνδριος παρά Αθηναίος, θέλοντας έτσι να προσβάλλει τους συμπολίτες του για την υποχώρησή τους στη μάχη με τους Μεγαρείς. Αργότερα οι Σικινιώτες συμάχησαν με τους Αθηναίους το 478 π.Χ. οι οποίοι όμως έπειτα φέρθηκαν δεσποτικά και ζήτησαν φόρο από τη Σίκινο 1000 αττικές δραχμές, το 425 π.Χ. Μετά την ήττα των Αθηναίων από τον Φίλιππο Β' το 338 π.Χ. στη Χαιρώνεια, η Σίκινο πέρασε στην κυριαρχία των Μακεδόνων βασιλέων.

Όταν οι Ρωμαίοι κατέλαβαν τις Κυκλάδες τον 1^ο αιώνα π.Χ. η Σίκινο άρχισε να περνάει στην αφάνεια και μάλιστα επί πολλά έτη θεωρούνταν τόπος εξορίας. Αλλά και επί Βυζαντίου δεν γνώρισε άνθηση και μάλιστα τη λυμαίνονταν συχνά πειρατές με ορμητήριο το φυσικό λιμάνι της γειτονικής Ίου.

Η Σίκινο πέρασε σε Ενετικά χέρια, μαζί με τα περισσότερα νησιά των Κυκλάδων, όταν ο Ενετός Μάρκος Σανούδος κατέλαβε το 1207 μ.Χ. τη Νάξο, το μεγαλύτερο νησί των Κυκλάδων και ίδρυσε το δουκάτο της Νάξου ή του Αρχιπελάγους, λίγα μόλις χρόνια μετά την άλωση της Κωνσταντινούπολης από τους Φράγκους, το 1204. Η Σίκινο με τα άλλα νησιά παρέμειναν υπό την κυριαρχία των διαδόχων του Σανούδου, ο οποίος πέθανε το 1227, μέχρι το 1269 όταν ο Ιταλός ναύαρχος Λικάριος κατόρθωσε να αποσπάσει από το δουκάτο τα νησιά Ίο, Σίκινο, Φολέγανδρο και Σίφνο, για λογαριασμό του βυζαντινού αυτοκράτορα Μιχαήλ Η' του Παλαιολόγου, οπότε και πέρασαν σε βυζαντινά χέρια. Αυτό κράτησε 38 μόλις χρόνια γιατί το 1307 την κατέλαβε ο Ισπανός Γιαννούλης Δακρόνια, που ανήκε στο τάγμα των Ιωαννιτών. Μαζί με τη Σίκινο ο Δακρόνια κατέλαβε τη Σίφνο και άλλα μικρά νησιά, τα οποία κράτησε ανεξάρτητα τόσο από τους Σανούδους όσο και από τους Ιωαννίτες. Τους Δακρόνια διαδέχτηκαν οι Φράγκοι Γοζαδίνοι που παρέμειναν στη Σίκινο από το 1467 μέχρι το 1617, οπότε το νησί καταλήφθηκε από τους Τούρκους.

Κατά τη διάρκεια της Τουρκοκρατίας τη Σίκινο διοικούσε βοεβόδας, που τις περισσότερες φορές ήταν Έλληνας, μαζί με ντόπιους προύχοντες. Τούρκοι υπάλληλοι ή στρατιωτικοί έρχονταν στο νησί μόνο για την είσπραξη των φόρων. Το σοβαρότερο πρόβλημα της εποχής ήταν οι πειρατικές επιδρομές,

οι οποίες έγιναν συχνότερες από το 1771 που οι Ρώσοι κατέλαβαν τη Σίικινο μαζί με τις υπόλοιπες Κυκλάδες, όπου και παρέμειναν μέχρι το 1774, όταν υπογράφηκε η συνθήκη ειρήνης μεταξύ της Αικατερίνης της Ρωσίας και των Τούρκων. Στο μεταξύ είχε προηγηθεί ο σύντομος ρωσοτουρκικός πόλεμος και η καταστροφή του οθωμανικού στόλου από τους Ρώσους. Στα χρόνια της επανάστασης του 1821 τη Σίικινο διοικούσαν οι δημογέροντες και απελευθερώθηκε επίσημα το 1829.

3. Γεωλογία – Υδρογεωλογία

α) Γεωλογία ευρύτερης περιοχής

Γεωτεκτονικά^[16] η Σίικινος ανήκει στην Αττικοκυκλαδική ζώνη που περιλαμβάνει κυρίως μεταμορφωμένα πετρώματα. Η στρωματογραφική σειρά περιλαμβάνει εναλλαγές γνευσιοσχιστολίθων και σχιστολίθων με μάρμαρα και είναι η ίδια που παρατηρείται και στη γειτονική Φολέγανδρο.

Στο ΒΑ τμήμα του νησιού οι διευθύνσεις των στρωμάτων είναι κάθετες στον επιμήκη άξονα της νήσου, ενώ στο ΝΑ τμήμα, πιθανώς λόγω τεκτονικών διαταραχών, η διάταξη αλλάζει.

Σαν κατώτερος ορίζοντας στη σειρά αυτή θεωρείται ο σχηματισμός των γνευσιοσχιστολίθων (χλωριτικός, επιδοτικός, γλαυκοφανιτικός γνευσιοσχιστόλιθος). Αμέσως πάνω σε αυτόν βρίσκεται η σειρά των σχιστολίθων (μοσχοβιτικός σχιστόλιθος που συχνά εναλλάσσεται με μοσχοβιτικό, γλαυκοφανιτικό επιδοτικό σχιστόλιθο). Τη σειρά κλείνει ο σχηματισμός του μαρμάρου. Η όλη σειρά είναι δυνατόν να επαναληφθεί πολλές φορές. Τα μάρμαρα εμφανίζονται με χρώματα κυανόφαιο έως λευκόφαιο.

β) Περαιότητα σχηματισμών

Από τους παραπάνω σχηματισμούς οι σχιστόλιθοι και γνευσιοσχιστόλιθοι θεωρούνται πρακτικά σαν στεγανοί σχηματισμοί. Μόνο σε περιοχές που εμφανίζονται επιφανειακά και υπάρχει επιφανειακή ροή του νερού, σε περιόδους βροχόπτωσης, είναι δυνατόν από τη διάβρωση που έχουν υποστεί να σχηματίσουν μια σαθρή οροφή με πρωτογενές πορώδες, που επιτρέπει την κίνηση του νερού. Στα χαμηλότερα τοπογραφικά, εκεί που συναντάται το υγιές πέτρωμα ή άλλος αδιαπέρατος σχηματισμός, το νερό αναγκάζεται να διακόψει την ημιυπόγεια διαδρομή του και να εμφανιστεί σαν πηγή, ονομαζόμενη πηγή σαθρούς οροφής.

Τα μάρμαρα, πρωτογενώς αδιαπέρατοι σχηματισμοί, είναι δυνατόν να αναπτύξουν μια δευτερογενή υδροπερατότητα, που οφείλεται κυρίως στην αρχική ύπαρξη ρηγμάτων και κατακλάσεων στο πέτρωμα και στη μετέπειτα δράση του νερού της βροχής που διέυρυνε τα αρχικά ανοίγματα και βαθμιαία σχημάτισε υπόγειους αγωγούς, έγκοιλα και στα χαμηλότερα τοπογραφικά υδροαποθεματικές ζώνες. Τα φαινόμενα αυτά ονομάζονται καρστικά και οι υδροφορείς που σχηματίζονται καρστικοί.

Οι προσχωματικές (αλλουβιακές) αποθέσεις, είναι ψαθυροί σχηματισμοί, άμμοι, χάλικες, κροκάλες, ιλύς. Είναι προϊόντα αποσαθρώσεως, μεταφέρθηκαν με τη μηχανική ενέργεια του νερού και αποτίθενται στα χαμηλότερα τοπογραφικά. Στο νησί καταλαμβάνουν την έκταση των λίγων παράκτιων πεδιάδων.

γ) Σχηματισμός πηγών – πηγές

Υπάρχουν τρεις τύποι πηγών στην περιοχή. Ο πρώτος τύπος είναι ο τύπος της πηγής σαθρούς οροφής σχιστολίθου, της οποίας ο μηχανισμός γενέσεως και λειτουργίας περιγράφηκε προηγουμένως. Τέτοιου τύπου πηγή είναι και η πηγή του Χριστού, η κυριότερη πηγή του νησιού. Αυτή αναπτύσσεται σε σχιστολιθική περιοχή που καταλαμβάνει έκταση 2 Km² χωρίς επικάλυψη από μάρμαρα. Από αυτό το λόγο συμπεραίνεται ότι η πηγή προέρχεται από την επαφή της σαθρούς επιφάνειας του σχιστολίθου και του συμπαγούς κατώτερου ορίζοντα.

Είναι γεγονός όμως ότι η κίνηση των νερών στη Σίκινο παρατηρείται σχεδόν πάντα στην επαφή σχιστολίθων και μαρμάρων, με διεύθυνση πάντοτε αυτή που ορίζεται από την κλίση των σχιστολίθων. Ο σχιστόλιθος στην περίπτωση αυτή παίζει το ρόλο της στεγανής βάσεως πάνω στην οποία κινείται το νερό. Είναι προφανές επίσης ότι η τροφοδοσία σε νερό των υδροφορέων αυτών εξασφαλίζεται από το νερό της βροχής που κατεισδύει μέσα από τα καρστικά ανοίγματα των μαρμάρων και εμπλουτίζει τον υδροφορέα. Σε όσα σημεία η κίνηση του νερού στον υδροφορέα αυτό αναγκάζεται να διακοπεί (είτε λόγω παρεμβολής στεγανού πετρώματος είτε λόγω αλλαγής της τοπογραφίας) και να βγει στην επιφάνεια, δίνει πηγές του δεύτερου τύπου, επαφής σχιστολίθου – μαρμάρου, που είναι και οι περισσότερες. Συνήθως δε, επειδή οι επαφές σχιστολίθων – μαρμάρων στο νησί καλύπτονται από παχιά στρώματα πλευρικών κορημάτων, των οποίων το πάχος κυμαίνεται από 1 - 6 μέτρα, τις περισσότερες φορές η ανεύρεση και αξιοποίηση των νερών επαφής γίνεται με ανόρυξη πηγαδιού, του οποίου το βάθος θα πρέπει να φθάνει μέχρι το βάθος του υγιούς σχιστολίθου της βάσεως.

Ένα τρίτο είδος πηγών είναι οι καρστικές πηγές. Σε αυτές η κίνηση του νερού γίνεται μέσα από καρστικούς αγωγούς και η εμφάνιση των νερών στην επιφάνεια οφείλεται σε κάποιο γεωλογικό ή τεκτονικό γεγονός. Τέτοιο είδος πηγών δεν παρατηρήθηκαν από σχετικές έρευνες, θα πρέπει όμως να υπάρχουν στο επίπεδο της θάλασσας ή και χαμηλότερα ακόμη, οπότε δημιουργούν αντίστοιχα παράκτιες ή υποθαλάσσιες πηγές.

Το σύνολο των πηγών και πηγαδιών που έχουν απογραφεί μαζί με τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους είναι τα εξής:

1. πηγή Χριστός, υψόμετρο 100 μ., παροχή 60 – 100 m³/ημέρα
2. πηγή Αγ. Στέφανος, υψόμετρο 320 μ., παροχή ασήμαντη
3. πηγάδι, υψόμετρο περίπου 220 μ., παροχή άγνωστη
4. δυο πηγάδια, υψόμετρο περίπου 220 μ., παροχή μικρή
5. πηγή, υψόμετρο περίπου 150 μ., παροχή άγνωστη

6. πηγάδι δίπλα στο δρόμο, απόσταση 150 – 200 μ. από τη θάλασσα, υφάλμυρο
7. πηγάδι, απόσταση 100 – 150 μ. από τη θάλασσα, υφάλμυρο

Κόλπος Αγ. Παντελεήμονα

8. πηγάδι, υψόμετρο 120μ., χρησιμοποιείται κυρίως από τα κοπάδια
9. πηγάδι, δίπλα στη θάλασσα, υφάλμυρο

Κόλπος Αγ. Ιωάννη

10. μικρή πηγή
11. μικρή πηγή

Κόλπος Καρά

12. πηγάδι

Κόλπος Τριών Πηγαδιών

13. πηγάδι

Υπάρχουν και πολλές πηγές στη ΒΔ πλευρά, είναι όμως δύσκολο, λόγω προσπέλασης, να αξιοποιηθούν. Έχουν παρατηρηθεί και πολλές υποθαλάσσιες αναβλύσεις.

δ) Σχηματισμός υδροφορέων

Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι ο υδροφορέας σαθρής σχιστολιθικής οροφής, που περιγράψαμε προηγουμένως, δεν θεωρείται σαν αμιγής υδροφορέας με την πλήρη, υδρογεωλογικά, σημασία της λέξεως. Διακινεί νερό, δίνει πηγές, αλλά δεν σχηματίζει υπολογίσιμους υδροφορείς.

Αντίθετα, υπολογίσιμοι σχετικά υδροφορείς, στην έκταση της περιοχής, είναι οι καρστικοί και λιγότερο οι προσχωματικοί.

Οι καρστικοί σχηματισμοί οφείλουν τη γένεσή τους, όπως είδαμε, στη δευτερογενή περατότητα των μαρμάρων. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και η κίνηση του υδροφορέα ελέγχονται από τις επαφές περατού / αδιαπέρατου, που στην προκειμένη περίπτωση είναι επαφές μαρμάρου / σχιστόλιθου. Στα χαμηλότερα τοπογραφικά, κάτω από ειδικές συνθήκες, το ρόλο του επιπέδου βάσεως είναι δυνατό να παίξει το θαλασσινό νερό. Τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα – όπως έχει αποδειχθεί και από άλλες περιοχές της Ελλάδας – ποικίλουν κατά πολύ.

Υπάρχουν δυο παράγοντες που περιορίζουν κατά πολύ το ρόλο των μαρμάρων στην περιοχή, σαν ικανού υδροφορέα. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

α. Η επί πολλούς γεωλογικούς αιώνες (τουλάχιστον από το Μεσοζωικό ή το Τριτογενές) παραμονή της Κυκλαδίτικης μάζας σε ανάδυση, είχε σαν αποτέλεσμα την αποσάθρωση του μαρμαρικού καλύμματος και κατά συνέπεια τον περιορισμό της έκτασης και του πάχους του σχηματισμού αυτού. Αυτό πάλι είχε σαν συνέπεια τη μείωση του συνολικού ποσού του ατμοσφαιρικού νερού που κατεισδύει και γίνεται υπόγειο. Παρατηρείται

δηλαδή ότι – σε αντίθεση με την υπόλοιπη Ελλάδα – η καρστικότητα του σχηματισμού αυτού είναι μειωμένη στην περιοχή και βρίσκεται στο στάδιο της ωριμότητας, δεν παρατηρούνται π.χ. δολίνες και πόλγες.

β. Η ύπαρξη διαστρώσεων γνευσιοσχιστόλιθου μέσα στον σχηματισμό του μαρμάρου, περιορίζει ακόμη περισσότερο το ρόλο τους σαν υδροφορέα, αφού εισαγάγει στεγανά επίπεδα σε υδροπερατό σχηματισμό.

Οι προσχωματικοί υδροφορείς καταλαμβάνουν μικρές εκτάσεις στην περιοχή και ο ρόλος τους ως εκ τούτου είναι περιορισμένος. Εμφανίζονται κυρίως στις ελάχιστες παράκτιες περιοχές του νησιού και έχουν τοπική σημασία: ανόρυξη π.χ. πηγαδιού σε παράκτια και προμήθεια μετρημένου γλυκού νερού, ελάχιστη υπερβολή στην άντληση έχει σαν αποτέλεσμα την μη αναστρέψιμη υφαλμύρυνση του πηγαδιού.

ε) Υδρολογικός κύκλος – κίνηση νερού

Πηγή νερού για την τροφοδοσία των υπόγειων υδροφορέων της περιοχής είναι το νερό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και κυρίως εκείνου της βροχής, μια και το χιόνι σπάνια παρατηρείται στο νησί.

Ο μέσος ετήσιος βροχομετρικός δείκτης για το νησί είναι 385 mm και θεωρείται πολύ χαμηλός, εάν σκεφτούμε ότι ο αντίστοιχος δείκτης για την ηπειρωτική Ελλάδα κυμαίνεται στα 600 – 800 mm.

Από το νερό της βροχής που πέφτει στο νησί, ένα μέρος κατεισδύει στους περατούς σχηματισμούς και γίνεται υπόγειο νερό, ένα μέρος απορρέει επιφανειακά και ένα τρίτο μέρος χάνεται δια της εξατμισοδιαπνοής. Αυτός είναι ο λεγόμενος υδρολογικός κύκλος του νερού.

Στην έκταση του νησιού διείδυση γίνεται μόνο μέσα από τα ενεργά καρστικά συστήματα του σχηματισμού του μαρμάρου. Σε άλλες περιοχές της Ελλάδας ο συντελεστής κατείδυσης στους σχηματισμούς κυμαίνεται στο 45 – 60%. Στο νησί όμως, επειδή ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται λιγότερο καρστικοποιημένος, ο συντελεστής κατείδυσης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 30%.

Το νερό της βροχής που απορρέει επιφανειακά κινείται δια της βαρύτητας στα χαμηλότερα τοπογραφικά και επειδή στο νησί δεν υπάρχουν ανεπτυγμένες παράκτιες πεδιάδες, το μεγαλύτερο ποσοστό χύνεται τελικά στη θάλασσα και θεωρείται απώλεια για τον υδρολογικό κύκλο. Μόνο ένα μικρό ποσοστό κατεισδύει κατά τα γνωστά, εάν συμβεί το απορρέον νερό να περάσει από περατούς σχηματισμούς.

Η έλλειψη παράκτιων πεδιάδων οφείλεται κυρίως στην ορεινή διάρθρωση του νησιού και στην ανάπτυξη του κοιλαδικού συστήματος κάθετα στον κύριο άξονα του νησιού. Έτσι η διαδρομή του υδρογραφικού δικτύου περιορίζεται (μέχρι 4 mm), με αποτέλεσμα ένα σχετικά μεγάλο ποσοστό 30 – 40% να χάνεται στη θάλασσα.

Η εξάτμιση είναι έντονη στην περιοχή, λόγω του κλίματος, ενώ η διαπνοή δεν παίζει σημαντικό ρόλο, λόγω του μικρού βαθμού φυτοκάλυψης που παρατηρείται.

Από το νερό που κινείται υπόγεια, ένα μέρος εξέρχεται στην επιφάνεια σαν πηγές, ένα μέρος χύνεται στη θάλασσα σαν παράκτιες και υποθαλάσσιες πηγές και ένα άλλο μέρος σχηματίζει τοπικούς υδροφορείς με επίπεδο βάσεως ανάλογα ή στεγανό σχηματισμό (σχιστόλιθο) ή στα χαμηλότερα τοπογραφικά την θάλασσα.

4. Δημογραφικά στοιχεία – τουρισμός

Όπως φαίνεται απ' τον παρακάτω πίνακα, ο πληθυσμός της Σικίνου φθίνει διαρκώς με τα χρόνια και σήμερα είναι σχεδόν το ένα τρίτο αυτού που ήταν το 1940. Σύμφωνα με την επίσημη απογραφή του 2001 οι μόνιμοι κάτοικοι της Σικίνου ανέρχονται σε 238, αριθμός που δεν έχει μεταβληθεί σημαντικά μέχρι σήμερα και φαίνεται να έχει επιτευχθεί μια ισορροπία μεταξύ αυτών που εγκαταλείπουν το νησί για τα αστικά κέντρα και αυτών που είχαν στο παρελθόν εγκαταλείψει το νησί για διάφορους λόγους και αρχίζουν να επιστρέφουν για να εγκατασταθούν, μόνιμα πια, για να ασχοληθούν πιθανότατα με τον τουρισμό, που είναι ιδιαίτερα ανθηρός^[14]. Ο ρυθμός μείωσης του πληθυσμού παρατηρούμε ότι φθίνει τις τελευταίες δεκαετίες, με κύριο υπεύθυνο γι' αυτό την ανάπτυξη του τουρισμού που αποτελεί τη σημαντικότερη, ίσως, πηγή εσόδων για τους κατοίκους, αλλά και τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης με την συνεχή ροή νερού και ηλεκτρισμού που έχει αποκατασταθεί τα τελευταία χρόνια, με τις υδροφόρες και τα υποβρύχια καλώδια της ΔΕΗ, αντίστοιχα.

Ανέλιξη πληθυσμού αρχιπελάγους Κυκλάδων

ΕΤΗ:		1940	1951	1961	1971	1981	1991	Μεταβολή 1991 προς 1951%	Ακτογραμμή (χλμ.)
1)	Ανδρος	17.926	14.705	12.928	10.457	9.020	8.781	-40	177
2)	Αμοργός	3.069	2.505	2.096	1.822	1.718	1.630	-35	112
3)	Δονούσα	213	272	210	149	116	111	-59	37 (Υ.Υ.)
4)	Ηράκλεια	227	189	155	129	95	115	-39	29 (Υ.Υ.)
5)	Θηρασία	600	501	399	291	245	233	-53	17 (Υ.Υ.)
6)	Ίος	2.041	1.753	1.343	1.270	1.451	1.654	-6	81
7)	Σχοινούσσα	239	226	196	197	140	122	-46	25 (Υ.Υ.)
8)	Κουφονήσιον	243	282	277	238	232	275	-2	14 (Υ.Υ.)
9)	Κάτω Κουφονήσιον	32	16	15	6	5	-	-	16 (Υ.Υ.)
10)	Κέρος	10	2	8	7	-	-	-	27 (Υ.Υ.)
11)	Ανάφη	785	532	471	353	292	261	-51	32
12)	Γραμβούσσα (Κ. Αρκ. Αμ.)	-	-	-	-	-	-	-	-
13)	Θήρα	9.704	9.332	7.751	6.196	7.083	9.360	-	69
14)	Κέα	3.749	3.108	2.361	1.666	1.648	1.787	-43	81
15)	Μακρονήσος	36	4.484	12	12	4	-	-100	37 (Υ.Υ.)
16)	Κύθνος	2.688	2.536	2.064	1.586	1.502	1.632	-36	98
17)	Σέριφος	2.749	1.851	1.878	1.083	1.133	1.095	-41	81
18)	Σίφνος	3.325	2.773	2.258	2.043	2.087	1.960	-29	70
19)	Κίμωλος	1.900	1.536	1.412	1.086	786	728	-53	38
20)	Άγιος Γεώργιος Κιμώλου	-	-	-	-	-	-	-	-
21)	Άγιος Ευστάθιος Κιμώλου	1	1	-	-	-	-	-	-
22)	Πολύαιγος	10	14	6	4	1	-	-	27 (Υ.Υ.)
23)	Ακράθιον Μήλου	3	2	4	4	2	-	-	-
24)	Σίκινος	688	590	453	331	290	267	-55	41
25)	Φολέγανδρος	1.095	862	778	646	567	558	-35	40
26)	Μήλος	6.045	5.586	4.910	4.499	4.554	4.390	-21	126
27)	Νάξος	20.132	18.593	16.703	14.201	14.037	14.838	-20	148
28)	Πάρος	8.993	9.022	7.830	6.776	7.881	9.591	+6	118
29)	Αντίπαρος	606	680	631	538	635	819	+20	57
30)	Σύρος	25.918	23.130	19.570	18.642	19.668	19.870	-14	87
31)	Γυάρος	31	7.139	244	2	-	-	-100	33 (Υ.Υ.)
32)	Διδύμη Σύρου	3	-	3	4	1	-	-	-
33)	Δήλος	38	27	38	16	16	9	-	14 (Υ.Υ.)
34)	Τραγονήσιον Κοιν/τος Άνω Μεράς Μυκόνου	6	-	-	-	-	-	-	-
35)	Χταπόδιον Κοιν/τος Άνω Μεράς Μυκόνου	-	-	-	-	-	-	-	-
36)	Καλόγερος Δήμ. Ανδρου	6	-	-	-	-	-	-	-
37)	Τουρλίτης Δήμ. Ανδρου	3	-	-	-	-	-	-	-
38)	Ρήνεια	58	128	47	24	11	-	-100	43 (Υ.Υ.)
39)	Μύκονος	4.458	3.391	3.633	3.823	5.503	6.170	+82	81
40)	Τήνος	11.380	10.187	9.273	8.232	7.730	7.747	-24	106
41)	Δύσβατον	3	2	2	4	1	-	-	-
42)	Πάνορμος ή Πλανήτης	2	2	-	-	-	-	-	-
43)	Κάτω Αντικέρι	-	-	-	-	4	2	-	6 (Υ.Υ.)
		129.015	125.959	99.959	86.337	88.458	94.005	-25 ή -18 (α)	

Αριθμός νησιών
που κατοικούνται

39 35 34 34 33 26

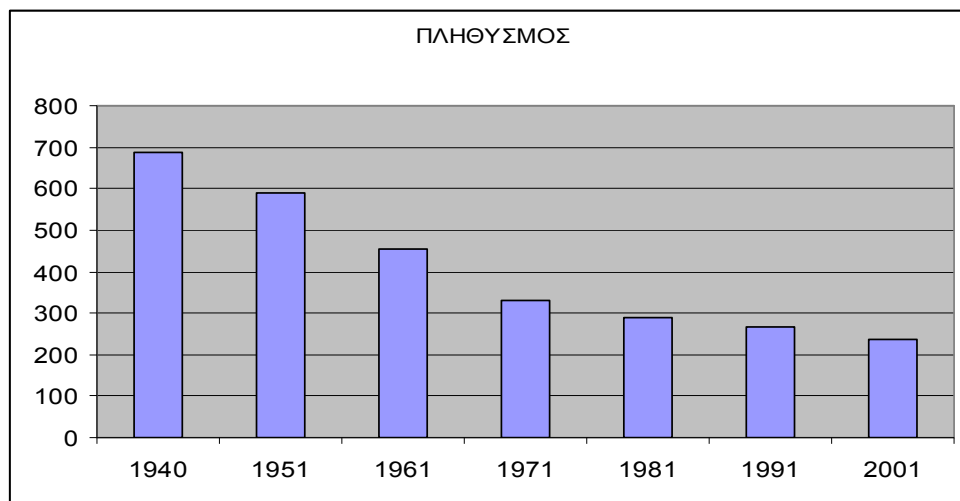
Πληθυσμός Σύρου ως

ποσοστό επί του συνόλου 20,1% 18,4%(β) 19,6% 21,6% 22,2% 21,1%

(α) η μείωση είναι 23% (1981) και 18% (1991) εφόσον αφαιρεθεί ο πληθυσμός των στρατοπέδων (1951) Μακρονήσου και Γυάρου.

(β) ή 20,2% εφόσον δε ληφθεί υπόψη ο πληθυσμός των στρατοπέδων Μακρονήσου και Γυάρου.

Μεταβολή του πληθυσμού των νησιών των Κυκλάδων ανά δεκαετία



Μεταβολή του πληθυσμού της Σικίνου ανά δεκαετία

Παρά τη μικρή έκτασή της και τους λιγοστούς κατοίκους της, η Σίκινος συγκεντρώνει πλήθος τουριστών το καλοκαίρι, αλλά και τον υπόλοιπο χρόνο, με αποτέλεσμα ο πληθυσμός της να πολλαπλασιάζεται, παρασύροντας μαζί του τη ζήτηση σε νερό και ενέργεια. Ενδεικτικά παρατίθενται στοιχεία των αφίξεων και αναχωρήσεων στο λιμάνι του νησιού, που αποτελεί και τον μοναδικό τρόπο πρόσβασης, κατά τα έτη 1998 και 2007.

ΑΦΙΞΕΙΣ – ΑΝΑΧΩΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΚΑΙ ΠΡΟΣ ΤΗ ΣΙΚΙΝΟ				
	1998 (*)		2007 (**)	
	ΑΦΙΞΕΙΣ	ΑΝΑΧΩΡΗΣΕΙΣ	ΑΦΙΞΕΙΣ	ΑΝΑΧΩΡΗΣΕΙΣ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	141	78	274	237
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	64	44	269	302
ΜΑΡΤΙΟΣ	110	77	375	323
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	100	69	394	330
ΜΑΪΟΣ	135	104	468	397
ΟΥΝΙΟΣ	264	222	1114	720
ΙΟΥΛΙΟΣ	362	326	1939	1361
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	815	999	2704	1752
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	410	566	409	1037
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	518	337	273	317
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	85	103	220	291
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	75	48	165	240

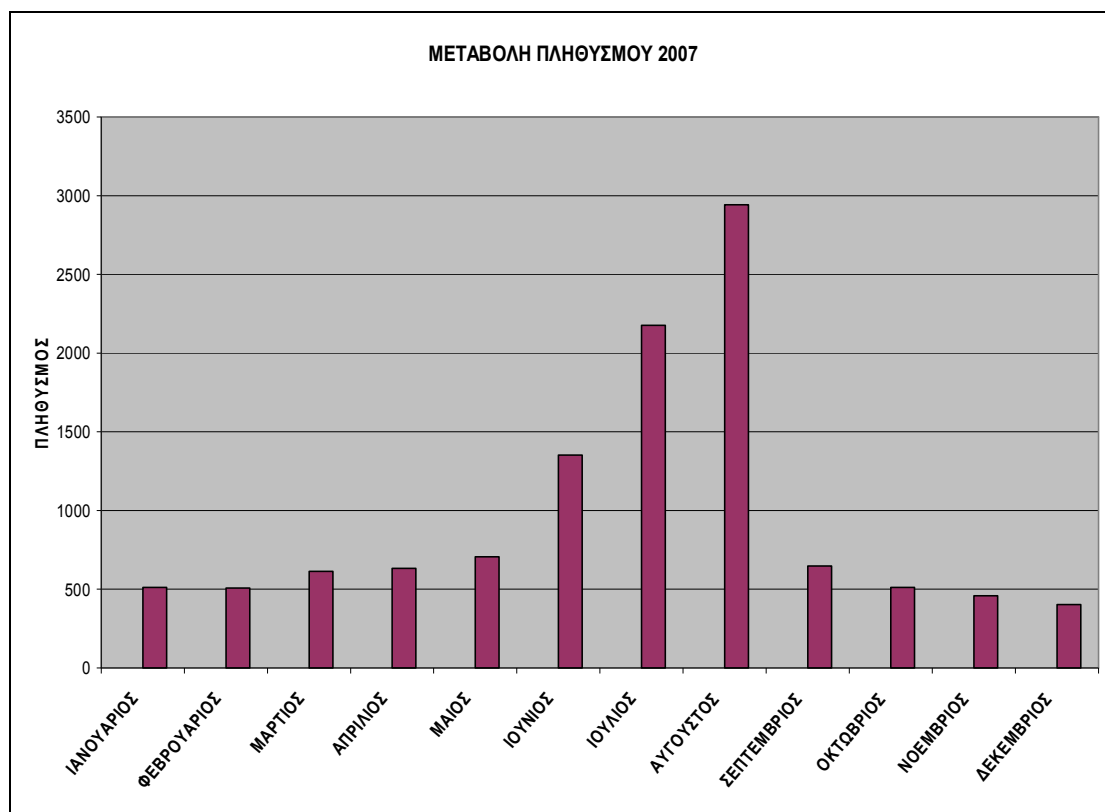
(*) Εθνική Στατιστική Υπηρεσία

(**) Λιμεναρχείο Ίου

Παρατηρούμε ότι σε διάστημα μιας δεκαετίας περίπου, η τουριστική κίνηση στο νησί σχεδόν πενταπλασιάστηκε.

Βάσει του παραπάνω πίνακα με τα στοιχεία του 2007 μπορούμε να καταστρώσουμε ένα νέο πίνακα με το μέγιστο πληθυσμό κάθε μήνα (δηλαδή προσθέτοντας μόνο τις αφίξεις) που είναι και το δυσμενέστερο σενάριο για την κατανάλωση νερού και ενέργειας, θεωρώντας αμετάβλητο το μόνιμο πληθυσμό.

ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΣΙΚΙΝΟΥ ΚΑΤΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2007			
	ΜΟΝΙΜΟΙ ΚΑΤΟΙΚΟΙ	+ ΑΦΙΞΕΙΣ	= ΣΥΝΟΛΟ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	238	274	512
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	238	269	507
ΜΑΡΤΙΟΣ	238	375	613
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	238	394	632
ΜΑΪΟΣ	238	468	706
ΙΟΥΝΙΟΣ	238	1114	1352
ΙΟΥΛΙΟΣ	238	1939	2177
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	238	2704	2942
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	238	409	647
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	238	273	511
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	238	220	458
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	238	165	403



Πίνακας και διάγραμμα μέγιστου πληθυσμού ανά μήνα στη Σίκινο

Παρατηρούμε ότι παρόλο που οι μόνιμοι κάτοικοι είναι μετά βίας 250, κάθε μήνα στο νησί υπάρχουν τουλάχιστον 500 άνθρωποι, ενώ τον Αύγουστο αγγίζουν τους 3000, δηλαδή 12πλάσια αύξηση, αλλά και το μήνα Ιούλιο ξεπερνούν τους 2000. Οι άλλες περιόδους αιχμής, δηλαδή Χριστούγεννα-Πρωτοχρονιά και Πάσχα (μήνες Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Απρίλιος και Μάιος), δεν συγκεντρώνουν πάνω από 700 ανθρώπους και εμπίπτουν στο χαμηλό μέσο όρο όλης της χρονιάς.

Εκτιμήσεις για την αύξηση ή τη μείωση του τουρισμού τα επόμενα χρόνια είναι δύσκολο να γίνουν με ασφάλεια, παρόλα αυτά, δεδομένων των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του νησιού (απομόνωση, ησυχία, γραφικότητα) και του ότι το επίπεδο ζωής των μόνιμων κατοίκων και των τουριστών διαρκώς βελτιώνεται (έχουν γίνει έργα υποδομής και θα γίνουν κι άλλα στο άμεσο μέλλον με ιδιωτικά, κρατικά και ευρωπαϊκά κονδύλια), είναι βέβαιο πως οι επισκέπτες στο νησί έρχονται αναζητώντας κάτι το ιδιαίτερο και άρα οι αριθμοί του παραπάνω πίνακα δεν αναμένεται να μεταβληθούν προς τα κάτω.

5. Η υδροδότηση στη Σίκινο σήμερα και στο πρόσφατο παρελθόν

α) Το πρόβλημα του νερού στα ελληνικά νησιά

Όπως είδαμε, στην παράγραφο της Υδρογεωλογίας, τα νησιά των Κυκλάδων βρίσκονται σε εξαιρετικά δυσμενή θέση, όσον αφορά το πόσιμο νερό. Αυτό οφείλεται τόσο στις αραιές βροχοπτώσεις όσο και στη γεωλογία της περιοχής, που δεν σχηματίζει υδροφόρους ορίζοντες. Το ότι αποτελούν δημοφιλέστατους τουριστικούς προορισμούς για εγχώριους και αλλοδαπούς τουρίστες δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο τη θέση τους, αφού η ζήτηση τους καλοκαιρινούς μήνες εκτοξεύεται στα ύψη. Η έλλειψη επαρκούς ποσότητας νερού, εκτός από τα προφανή προβλήματα επιβίωσης, ζημιώνει ανεπανόρθωτα τον τουρισμό, που είναι το κυριότερο έσοδο των κατοίκων των νησιών, αλλά και ένα σημαντικό προϊόν για όλη τη χώρα.

Η κατανάλωση του νερού στα ελληνικά νησιά^[17] έχει αλλάξει δραματικά ως αποτέλεσμα των αλλαγών που συντελέστηκαν στις καθημερινές συνήθειες των ανθρώπων, αλλά και λόγω του ραγδαία αυξανόμενου τουρισμού. Σύμφωνα με μελέτη του ΕΜΠ είκοσι νησιά των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων αναμένεται να αντιμετωπίσουν αύξηση των ελλειμμάτων νερού από 25 – 40% στα επόμενα χρόνια. Στα άνυδρα νησιά συγκαταλέγονται τα νησιά των Κυκλάδων Τήνος, Κίμωλος, Μήλος, Αμοργός, Φολέγανδρος, Σίκινο, Σχοινούσσα, Δονούσα, Κουφονήσι, Ηρακλεία, Θηρασία και τα νησιά των Δωδεκανήσων Λειψοί, Μεγίστη, Αγαθονήσι, Νίσυρος, Πάτμος, Σύμη, Χάλκη, Κάλυμνος και Ψέριμος.

Την τελευταία οκταετία μεταφέρθηκαν με πλοία – υδροφόρες $6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ νερού από τη Ρόδο, το Λαύριο και την Ελευσίνα. Παρ' όλα αυτά αναμένεται μέσα στην επόμενη δεκαετία το υδατικό έλλειμμα στις Κυκλάδες να φτάσει τα $1,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ και στα Δωδεκάνησα το $1,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ αν συνεχιστούν οι σημερινές τάσεις στην κατανάλωση νερού. Το 2004 δαπανήθηκαν $13 \cdot 10^6 \text{ €}$ από το Υπουργείο Αιγαίου και Νησιωτικής Πολιτικής για τη μεταφορά νερού στα νησιά των Κυκλάδων και $20 \cdot 10^6 \text{ €}$ για τη μεταφορά νερού στα νησιά των Δωδεκανήσων που αντιμετωπίζουν πρόβλημα.

Τη ζήτηση σε νερό των άνυδρων νησιών έρχονται να καλύψουν οι εξής λύσεις:

- Γεωτρήσεις

- Αφαλάτωση
- Υδροφόρα πλοία
- Όμβρια ύδατα

Οι γεωτρήσεις γίνονται είτε από ιδιώτες είτε απ' τον δήμο (ανάλογα με το μέγεθος και την τοποθεσία - ιδιοκτησία της γεώτρησης) και είναι μια οικονομική λύση, αλλά δυστυχώς η υπεράντληση μετά από μερικά χρόνια «τραβάει» θάλασσα και η γεώτρηση αχρηστεύεται.

Η αφαλάτωση είναι μια σχετικά καινούργια μέθοδος που μεν αποτελεί ανεξάντλητη πηγή ποσίου νερού, είναι όμως δαπανηρή και ενεργοβόρα με υψηλά λειτουργικά κόστη, ανάλογα με τη μέθοδο. Στα ελληνικά νησιά θεωρείται πάντως η επικρατέστερη στο μέλλον για να λυθεί μόνιμα το πρόβλημα της ύδρευσης, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) και το Υπουργείο Αιγαίου το έχει αναγνωρίσει αυτό και προχωρά σε σχετικές μελέτες. Ας μην ξεχνάμε ότι άνυδρες περιοχές σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως η αραβική χερσόνησος, η βόρεια Αφρική, το Ισραήλ και η Μάλτα, χρησιμοποιούν αφαλάτωση ως βασική πηγή ποσίου νερού.

Τα υδροφόρα πλοία που μεταφέρουν νερό απ' την ηπειρωτική Ελλάδα είναι προς το παρόν η μοναδική επιλογή για πολλά νησιά που δεν έχουν άλλους τρόπους ύδρευσης, αλλά ακόμα και για τα νησιά που έχουν, είναι απαραίτητες το καλοκαίρι λόγω των αυξημένων αναγκών από τον τουρισμό. Είναι ίσως η «λύση απελπισίας» ελλείψει άλλων μεθόδων, λόγω του κόστους αγοράς και μεταφοράς (ενδεικτική τιμή είναι 8 - 10 €/m³), αλλά και διότι καθιστά το νησί εξαρτημένο απ' τη διαθεσιμότητα νερού της ηπειρωτικής χώρας. Φέτος ιδιαίτερα (καλοκαίρι 2007) φάνηκε ότι δεν περίσσευε αρκετό νερό για να καλύψει και τις καλοκαιρινές ανάγκες πολλών νησιών, με συνέπεια να γίνονται συνεχείς διακοπές και να υπάρχει πληθώρα προβλημάτων. Οι δυσμενείς προβλέψεις των περιβαλλοντολόγων για παγκόσμια προβλήματα ξηρασίας και ανομβρίας, που δυστυχώς έχουν ήδη κάνει την εμφάνισή τους και στη χώρα μας, θα επιδεινώσουν την κατάσταση, όταν το νερό δεν θα είναι αρκετό για την ηπειρωτική Ελλάδα.

Τέλος η συγκέντρωση των ομβρίων υδάτων μπορεί μεν να είναι η πιο οικονομική λύση απ' όλες, αφού ο κάθε κάτοικος αρκεί να διαθέτει ειδικά διαμορφωμένη στέγη και μια δεξαμενή, αλλά δεν μπορεί να σταθεί ως αποκλειστική λύση, λόγω της στοχαστικότητας των βροχοπτώσεων, ενώ και πάλι καλύπτει μεν μέρος των αναγκών των κατοίκων το χειμώνα (που βρέχει), το καλοκαίρι δε (που δεν βρέχει) δεν επαρκεί για τις ανάγκες του τουρισμού.

β) Το πρόβλημα του νερού στη Σίκινο και η υφιστάμενη κατάσταση ύδρευσης

Μέχρι το έτος 2000 περίπου η Σίκινος υδρευόταν κυρίως από μια πηγή^[14], η οποία όμως τράβηξε θάλασσα απ' την υπεράντληση και οι κάτοικοι εξαρτώνταν σχεδόν αποκλειστικά απ' τις υδροφόρες. Τα πηγάδια που υπάρχουν στο νησί εξυπηρετούν κυρίως μερικούς ιδιώτες και όχι το σύνολο του νησιού. Υπήρχαν σχέδια για γεωτρήσεις, τα οποία όμως είχαν κολλήσει

στη χρηματοδότηση, σύμφωνα με τον τότε Κοινοτάρχη κ. Γιώργο Μάναλη^[1], διότι πολλές απ' αυτές ήταν σε δυσπρόσιτα σημεία του νησιού. Αργότερα ανοίχτηκε μια γεώτρηση και μέχρι σήμερα αποτελεί την κύρια πηγή ποσίμου νερού, η οποία καλύπτει σε μεγάλο βαθμό τις ανάγκες του νησιού κατά το χειμώνα. Δυστυχώς η παροχή της πηγής και η ποιότητα του νερού της δεν είναι γνωστές. Οι κάτοικοι, όπως και στα περισσότερα νησιά, συλλέγουν όμβρια ύδατα μέσω ειδικά διαμορφωμένων σκεπών, τα οποία βοηθούν στο πρόβλημα του νερού. Η ποσότητα των ομβρίων υδάτων δεν μπορεί να εκτιμηθεί, όχι μόνο λόγω της στοχαστικότητας των βροχοπτώσεων, αλλά και λόγω της διαφορετικής ποσότητας που συλλέγει κάθε ιδιώτης ανάλογα με την εγκατάσταση που έχει κάνει. Πάντως οι κάτοικοι λένε ότι «με μια-δυο καλές βροχές οι δεξαμενές γεμίζουν». Σύμφωνα με το Εθνικό Πρόγραμμα Προστασίας και Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων – ΙΤΙΑ^[27] η μέση ετήσια βροχόπτωση στις νότιες Κυκλάδες το έτος 2007 ήταν περίπου 400 mm, δηλαδή αρκετά μικρή.

Σήμερα η Σίκινος υδρεύεται κατά βάση από τα υδροφόρα πλοία, τα οποία εκτελούν δρομολόγια τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι. Το κόστος του νερού ανέρχεται σε 10 €/m³ και δεν το επωμίζονται οι κάτοικοι του νησιού, αλλά το κράτος. Οι κάτοικοι χρεώνονται περίπου 3 €/m³ απ' την Κοινότητα για την κατανάλωση (συντήρηση και λειτουργικά κόστη δικτύου, μισθοί τεχνιτών και υπαλλήλων) με σταθερό τιμολόγιο. Ο νυν Κοινοτάρχης σκοπεύει να το μετατρέψει σε κλιμακωτό σύντομα. Το υδρευτικό δίκτυο του νησιού αποτελούν 7 δεξαμενές συνολικής χωρητικότητας 2200 m³, σύστημα αντλιών και σωληνώσεων που αναλαμβάνουν τη μεταφορά του νερού από το λιμάνι, όπου παραλαμβάνεται απ' τις υδροφόρες, μέχρι και τη Χώρα, που βρίσκεται σε υψόμετρο 400 m και φυσικά δίκτυο σωλήνων για την ύδρευση των κατοίκων και των δυο οικισμών (Αλοπρόνοια και Χώρα). Το υδρευτικό δίκτυο αποτελείται από πλαστικούς και σιδερένιους γαλβανιζέ σωλήνες, είναι γενικά σε καλή κατάσταση και εκτελούνται συχνά έργα συντήρησης, όπου χρειάζεται, με τμηματική αντικατάσταση σωλήνων και καθαρισμό των δεξαμενών το χειμώνα για να είναι έτοιμες το καλοκαίρι. Το νερό απ' τις υδροφόρες είναι ήδη επεξεργασμένο απ' την ΕΥΔΑΠ και δεν υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία στη Σίκινο. Πάντως υπάρχει η σκέψη να μπουν μετρητές χλωρίωσης στο άμεσο μέλλον.

Όσον αφορά την άρδευση, η Σίκινος έχει μόνο ξερικές καλλιέργειες (κυρίως ελιές), δηλαδή δεν χρειάζονται πότισμα, μόνο την υγρασία του εδάφους. Αυτό είναι φυσικά ευτύχημα, διότι πιθανόν τα πράγματα να ήταν τελείως διαφορετικά με τη ζήτηση νερού και βέβαια προς το χειρότερο. Οι κήποι που πιθανόν έχουν οι κάτοικοι στα σπίτια τους δεν μπορούν να συμπεριληφθούν στις καλλιέργειες και δεν μπορεί να εκτιμηθεί η ποσότητα νερού που χρειάζονται. Πάντως το πιθανότερο είναι να καλύπτεται από πηγάδια και γεωτρήσεις και όχι από πόσιμο νερό δικτύου.

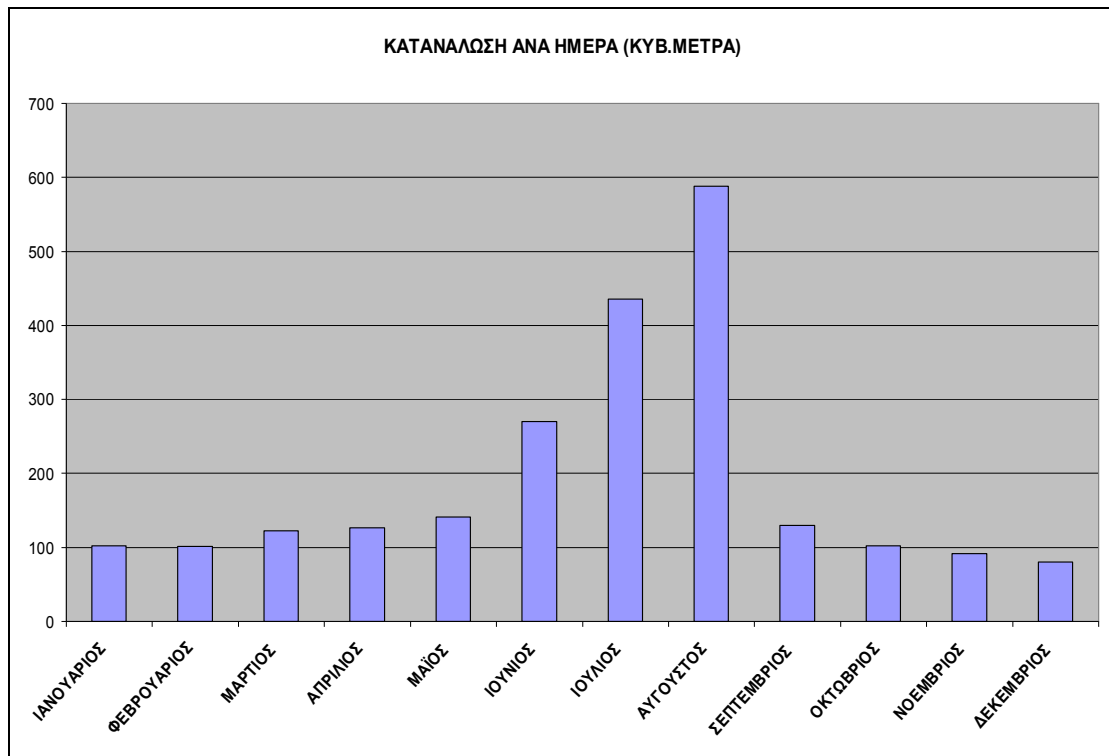
Σύμφωνα με τον Κοινοτάρχη δεν γίνονται εσκεμμένα διακοπές στην παροχή του νερού για οικονομία, ακόμα και στις αιχμές της ζήτησης. Αυτό γίνεται για ψυχολογικούς λόγους, αφού μετά την αποκατάσταση της ροής θα γίνει υπερκατανάλωση και θα αναιρεθούν τα όποια οφέλη της διακοπής. Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι ενώ πολλά νησιά φέτος (καλοκαίρι 2007) είχαν

προβλήματα με τις υδροφόρες (χαρακτηριστικά λένε ότι «ζούμε με την αγωνία πότε θα' ρθει το караβάκι»), στη Σίκινο τα δρομολόγια ήταν τακτικά και η ροή του νερού συνεχής. Στο άμεσο μέλλον το Υπουργείο Αιγαίου σκοπεύει να εγκαταστήσει στο νησί μονάδα αφαλάτωσης σε συνεργασία με ΑΠΕ (όπως και στα περισσότερα νησιά άλλωστε) και η Κοινότητα της Σικίνου βρίσκεται σε αναμονή των σχετικών προτάσεων.

γ) Η κατανάλωση νερού στη Σίκινο

Η ζήτηση του νερού κατά το καλοκαίρι εκτιμάται^[14] ότι ανέρχεται σε 1500 – 1800 m³ ανά δέκα μέρες, δηλαδή 150 – 180 m³/ημέρα. Μπορούμε να προσεγγίσουμε διαφορετικά την απαιτούμενη ποσότητα νερού, υπολογίζοντας τις ημερήσιες ανάγκες ενός ατόμου. Σύμφωνα με πρόσφατη έκθεση της UNESCO^[17] ο μέσος καταναλωτής των ανεπτυγμένων χωρών χρησιμοποιεί άμεσα ή έμμεσα 500 – 800 λίτρα ανά ημέρα (300 m³ ετησίως) και στις μεγάλες πόλεις η κατανάλωση υπολογίζεται σε 300 – 600 λίτρα ανά άτομο ανά ημέρα, ενώ στις μικρές πόλεις σε 100 – 150 λίτρα. Θα δεχτούμε ότι ένα άτομο στη Σίκινο καταναλώνει 200 λίτρα νερού την ημέρα και βάσει αυτού και του πίνακα του πληθυσμού θα υπολογίσουμε την συνολική απαιτούμενη ποσότητα νερού ανά ημέρα για κάθε μήνα.

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗ ΣΙΚΙΝΟ ΚΑΤΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2007		
	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ X 200 ΛΙΤΡΑ/(ΑΤΟΜΟ·ΗΜΕΡΑ) X 0,001 m³/ΛΙΤΡΟ = m³/ΗΜΕΡΑ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	512	102,4
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	507	101,4
ΜΑΡΤΙΟΣ	613	122,6
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	632	126,4
ΜΑΪΟΣ	706	141,2
ΙΟΥΝΙΟΣ	1352	270,4
ΙΟΥΛΙΟΣ	2177	435,4
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	2942	588,4
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	647	129,4
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	511	102,2
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	458	91,6
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	403	80,6



Κατανάλωση νερού σε m³/ημέρα στη Σίκινο για κάθε μήνα του 2007

Παρατηρούμε ότι με την υπόθεση της ημερήσιας κατανάλωσης 200 λίτρων νερού κατ' άτομο, προσεγγίζεται ικανοποιητικά η εκτίμηση της Κοινότητας για 150 – 180 m³/ημέρα για όλους τους μήνες πλην των καλοκαιρινών, με αποκορύφωμα τον Αύγουστο που χρειάζονται σχεδόν 600 m³/ημέρα.

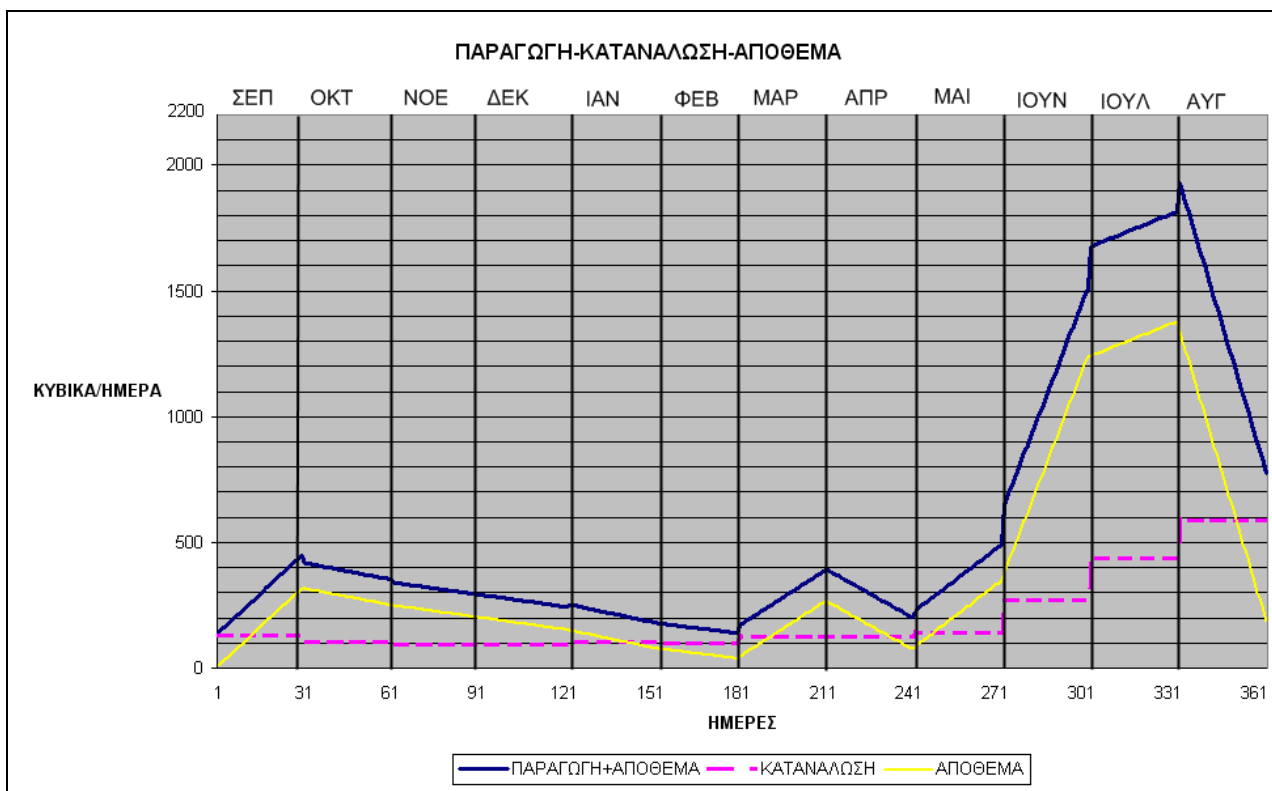
Για να υπολογίσουμε την απαιτούμενη δυναμικότητα της μονάδας αφαλάτωσης, θα χρησιμοποιήσουμε ένα απλοποιημένο, αλλά ρεαλιστικό μοντέλο. Υποθέτουμε ότι η ημερήσια παραγωγή πόσιμου νερού από την αφαλάτωση είναι σταθερή για κάθε ημέρα του μήνα, όπως και ότι η ημερήσια κατανάλωση νερού είναι επίσης σταθερή για κάθε ημέρα του μήνα και συμπίπτει με τις μέσες τιμές που βρήκαμε προηγουμένως. Ξεκινώντας την παραγωγή νερού την 1^η Σεπτεμβρίου του έτους, αφαιρούμε την κατανάλωση, ενώ το προκύπτον απόθεμα προστίθεται στην παραγωγή της επόμενης ημέρας. Οι προϋποθέσεις που πρέπει να ικανοποιούνται είναι οι εξής:

1. Να καλύπτεται η μηνιαία κατανάλωση όλου του χρόνου (πλήρης ανεξαρτησία)
2. Το τυχόν απόθεμα να μην υπερβαίνει τη συνολική χωρητικότητα των δεξαμενών, δηλαδή 2200 m³
3. Να ελαχιστοποιείται η απαιτούμενη ενέργεια

Μετά από διαδοχικές δοκιμές καταλήγουμε στις εξής τιμές ημερήσιας παραγωγής ανά μήνα:

ΜΗΝΕΣ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ
ΠΑΡΑΓΩΓΗ (m ³ /day)	140	100	90	90	100	100	130	120	150	300	440	550
ΖΗΤΗΣΗ (m ³ /day)	129,4	102,2	91,6	80,6	102,4	101,4	122,6	126,4	141,2	270,4	435,4	588,4

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα παραγωγής-κατανάλωσης-αποθέματος νερού στη Σίκινο κατά τη διάρκεια ενός έτους με βάση στοιχεία για το 2007

Από το διάγραμμα αυτό μπορούν να εξαχθούν μερικά χρήσιμα συμπεράσματα:

- ✓ Ικανοποιούνται και οι τρεις προϋποθέσεις που θέσαμε, δηλαδή πλήρης κάλυψη της ζήτησης, απόθεμα μικρότερο της χωρητικότητας των δεξαμενών και «στενή παρακολούθηση» της κατανάλωσης για μειωμένη ενέργεια λειτουργίας
- ✓ Η ελάχιστη δυνατή παραγωγή είναι 90 m³/ημέρα και η μέγιστη 550 m³/ημέρα, δηλαδή η μονάδα αφαλάτωσης καλείται να δουλέψει σε μεγάλο εύρος τιμών
- ✓ Η ετήσια παραγωγή νερού από τη μονάδα αφαλάτωσης είναι 70.660 m³
- ✓ Τους καλοκαιρινούς μήνες το απόθεμα φαίνεται να μεγαλώνει δυσανάλογα με τη ζήτηση, όμως στο τέλος του Αυγούστου έχουμε πάλι σύγκλιση και μάλιστα στα επίπεδα τιμών του Σεπτεμβρίου που ξεκινήσαμε την παραγωγή (ο κύκλος κλείνει ομαλά – μοντέλο μόνιμης λειτουργίας)

- ✓ Κάποιους μήνες η παραγωγή είναι μεγαλύτερη της ζήτησης (γεμίζουν οι δεξαμενές) και κάποιους άλλους μήνες μικρότερη (καλύπτει το απόθεμα)
- ✓ Τον Ιούλιο και τον Αύγουστο δεν είναι δυνατόν να έχουμε χαμηλή παραγωγή και η ζήτηση να καλύπτεται κυρίως από το απόθεμα, γιατί η ημερήσια κατανάλωση τους μήνες αυτούς είναι το 20 – 25% της χωρητικότητας της δεξαμενής, δηλαδή το απόθεμα αδειάζει πολύ γρήγορα χωρίς ανάλογη κάλυψη από την αφαλάτωση

Άρα μπορούμε να πούμε ότι εφόσον η μέγιστη παραγωγή της μονάδας αφαλάτωσης είναι 550 m³/ημέρα, είναι καλό να εγκατασταθεί μονάδα με δυναμικότητα περίπου 600 m³/ημέρα (+10%), για να καλύψει αιχμές ζήτησης, βλάβες/συντήρηση στο δίκτυο σωλήνων και δεξαμενών, βλάβες/συντήρηση της μονάδας αφαλάτωσης ή απρόβλεπτη αύξηση του τουρισμού ή των μόνιμων κατοίκων.

Στην πραγματικότητα ο διαχειριστής της μονάδας μπορεί να παρακολουθεί τη ζήτηση μετρώντας τη στάθμη των δεξαμενών ανά πάσα στιγμή και να προσαρμόζει ανάλογα την παραγωγή, όμως αυτό είναι δύσκολο να μοντελοποιηθεί και να εξαχθούν γενικά συμπεράσματα, κυρίως λόγω έλλειψης στοιχείων πραγματικής ημερήσιας κατανάλωσης νερού (αντί για εκτίμηση με βάση τον πληθυσμό), αλλά και αδυναμίας πρόβλεψης της μεταβολής του αριθμού των τουριστών και των μόνιμων κατοίκων σε ένα νησί όπου ο μόνιμος πληθυσμός είναι τόσο μικρός ώστε μια αλλαγή στο υπάρχον καθεστώς (οικονομία, κοινωνία, τουρισμός, κλίμα) μπορεί να προκαλέσει μεγάλες πληθυσμιακές μεταβολές.

6. Η ηλεκτροδότηση στη Σίκινο σήμερα και στο πρόσφατο παρελθόν

α) Η ηλεκτροδότηση των ελληνικών νησιών

Τρεις είναι οι μέθοδοι που εφαρμόζονται σήμερα για την ηλεκτροδότηση των ελληνικών νησιών:

- Ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)
- Τροφοδότηση με υποβρύχια καλώδια από άλλα νησιά ή την ενδοχώρα

Υπάρχουν βέβαια και συνδυασμοί των ανωτέρω, ανάλογα με τις ανάγκες, τη θέση και τις εγκαταστάσεις κάθε νησιού.

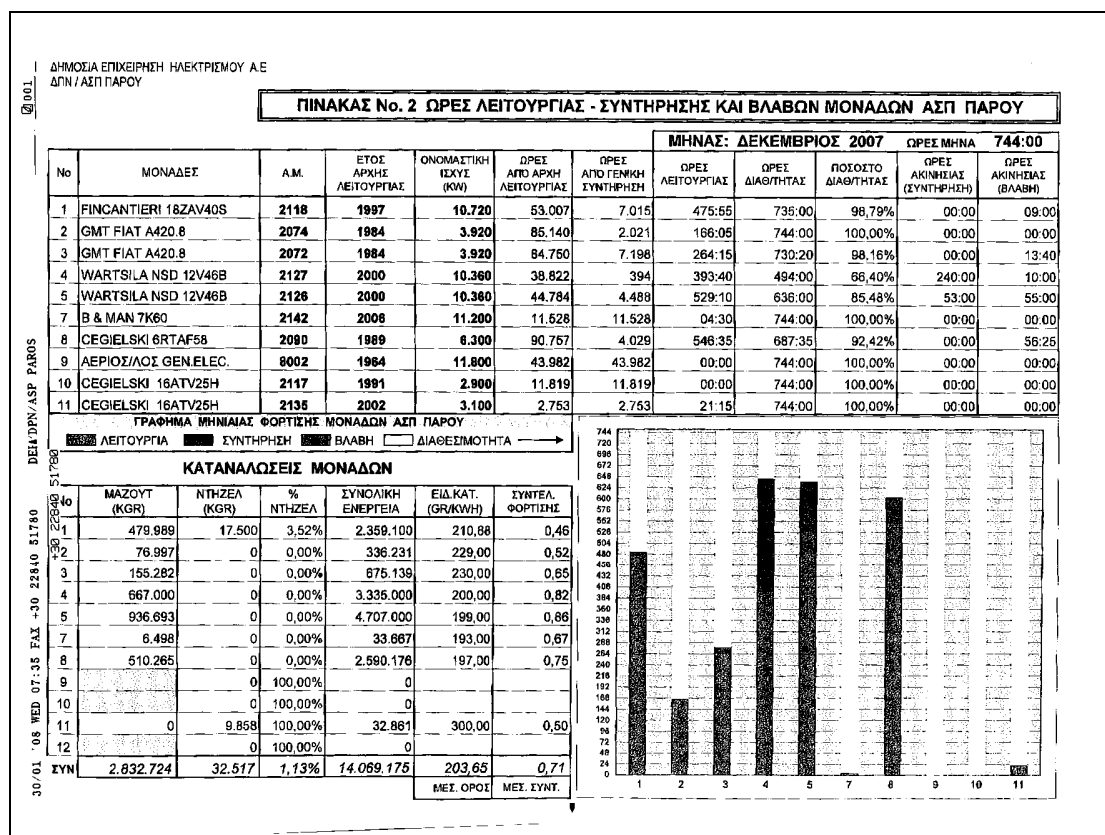
Η παλαιότερη ιστορικά μέθοδος είναι με ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη, δηλαδή μηχανές εσωτερικής καύσης (αεριοστρόβιλοι ή diesel) συνδεδεμένες με γεννήτριες. Αυτή η μέθοδος επικρατεί σήμερα στα περισσότερα νησιά και είναι αξιόπιστη, αλλά έχει υψηλά λειτουργικά κόστη (κυρίως λόγω του καυσίμου) και είναι αρκετά ρυπογόνος, διότι οι ΜΕΚ που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι δίχρονες diesel.

Η ηλεκτροδότηση των Κυκλάδων με υποβρύχιο καλώδιο φαίνεται να προωθείται για να λυθούν τα χρόνια προβλήματα των νησιών σε ό,τι αφορά στην ανάπτυξή τους, δεδομένου ότι με βάση τα σενάρια, μέχρι το 2035 προκύπτει υπερδιπλασιασμός της ζήτησης έναντι του 2004. Σχετικά με τη δυνατότητα ηλεκτροδότησης με υποβρύχιο καλώδιο, τα σενάρια που υπάρχουν αναφέρουν ότι το 2010 είναι δυνατόν να είναι πραγματικότητα η διασύνδεση των νησιών Άνδρου, Τήνου, Σύρου, Μυκόνου, Πάρου και Νάξου, ενώ εξετάζεται η δυνατότητα διασύνδεσης της Κέας, Κύθνου και Σερίφου και η διασύνδεση της Μήλου εξετάζεται ως προοπτική προσφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από το συγκεκριμένο νησί, με την αξιοποίηση του γεωθερμικού πεδίου για ηλεκτροπαραγωγή. Το σχέδιο της διασύνδεσης των νησιών με υποβρύχιο καλώδιο αποτελεί ιδέα που επιδιώχθηκε να υλοποιηθεί και την προηγούμενη δεκαετία ανεπιτυχώς^[1]. Η προσπάθεια προσέκρουσε στο Συμβούλιο της Επικρατείας, ωστόσο από τον Οκτώβριο του 2004 συστάθηκε επιτροπή με τη συμμετοχή ειδικών από τη ΔΕΗ, τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας και το ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) για να μελετήσει τη σύνδεση των Κυκλάδων με το ηπειρωτικό σύστημα. Υπενθυμίζεται ότι σήμερα στα νησιά Πάρος, Τήνος, Σύρος και Μύκονος η ετήσια αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας φτάνει έως 15%, ενώ αντίστοιχα υψηλή είναι και η αύξηση της ζήτησης κατά τις ώρες αιχμής το καλοκαίρι. Επιπλέον, με βάση τα σενάρια μέχρι το 2035, προκύπτει υπερδιπλασιασμός της ζήτησης έναντι του 2004. Συγκεκριμένα η μελέτη υπολογίζει ότι οι σημερινοί ρυθμοί για τα νησιά Άνδρος, Τήνος, Σύρος, Μύκονος, Πάρος και Νάξος καταλήγουν σε 1054 γιγαβατώρες το 2035, έναντι 415 γιγαβατωρών το 2004. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι αν δεν γίνει η διασύνδεση με υποβρύχιο καλώδιο, θα πρέπει να διπλασιαστεί η ισχύς των αυτόνομων πετρελαϊκών μονάδων που βρίσκονται στα νησιά, με τεράστια επιβάρυνση του περιβάλλοντος, κόστος για την εθνική οικονομία και αβεβαιότητα ως προς την κάλυψη των αιχμών, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Με τη διασύνδεση υπολογίζεται εξοικονόμηση περίπου 30 εκατομμυρίων ευρώ το χρόνο, χωρίς να υπολογίζονται τα περιβαλλοντικά οφέλη από τη διακοπή λειτουργίας των αυτόνομων σταθμών των νησιών. Σε ό,τι αφορά στο τεχνικό σκέλος των σεναρίων, από τα συμπεράσματα της μελέτης φαίνεται να προκρίνεται η λύση της πόντισης καλωδίου εναλλασσόμενου ρεύματος από το Λαύριο με πρώτη στάση τη Σύρο, με καλώδιο περίπου 100 MW (απόσταση περίπου 90 χιλιόμετρα). Από εκεί θα συνδεθούν τα υπόλοιπα νησιά, ενώ επιδιώκεται να αξιοποιηθεί και το αιολικό δυναμικό των νησιών που σήμερα παραμένει ανεκμετάλλευτο. Πρέπει να σημειωθεί ότι το κόστος πόντισης υποβρυχίου καλωδίου είναι τεράστιο, της τάξης των εκατοντάδων εκατομμυρίων ευρώ.

β) Η ηλεκτροδότηση στη Σίκινο σήμερα και στο πρόσφατο παρελθόν

Η Σίκινο μέχρι πριν 15 περίπου χρόνια χρησιμοποιούσε γεννήτριες κινούμενες από νηζελομηχανές για να παράγει το ρεύμα που χρειαζόταν. Από τότε και μέχρι σήμερα έχει ποντιστεί υποβρύχιο καλώδιο που τη συνδέει με την Ίο και τη Φολέγανδρο και η τριάδα αυτή των νησιών παίρνει ρεύμα από τον ΑΣΠ (Αυτόνομος Σταθμός Παραγωγής) της ΔΕΗ Πάρου. Ο ΑΣΠ Πάρου χρησιμοποιεί μηχανές με χαρακτηριστικά που φαίνονται στον επόμενο

πίνακα, καθώς και την αναλυτική λειτουργία τους κατά τον Δεκέμβριο του 2007.

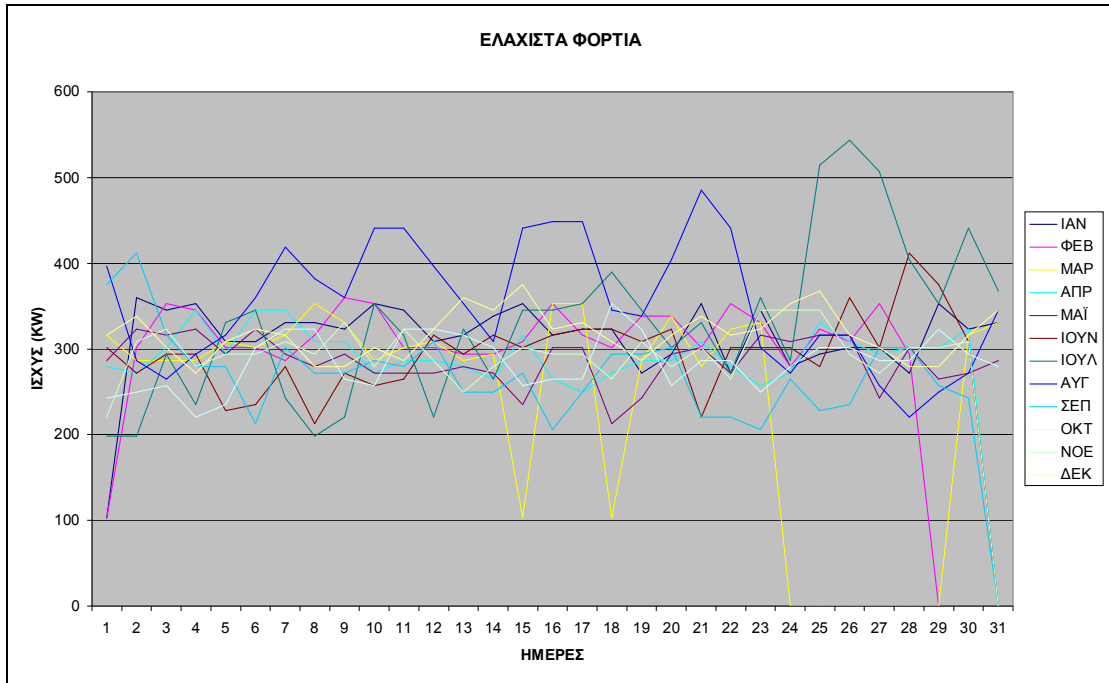


Πίνακας λειτουργίας και βλαβών ΑΣΠ Πάρου^[18]

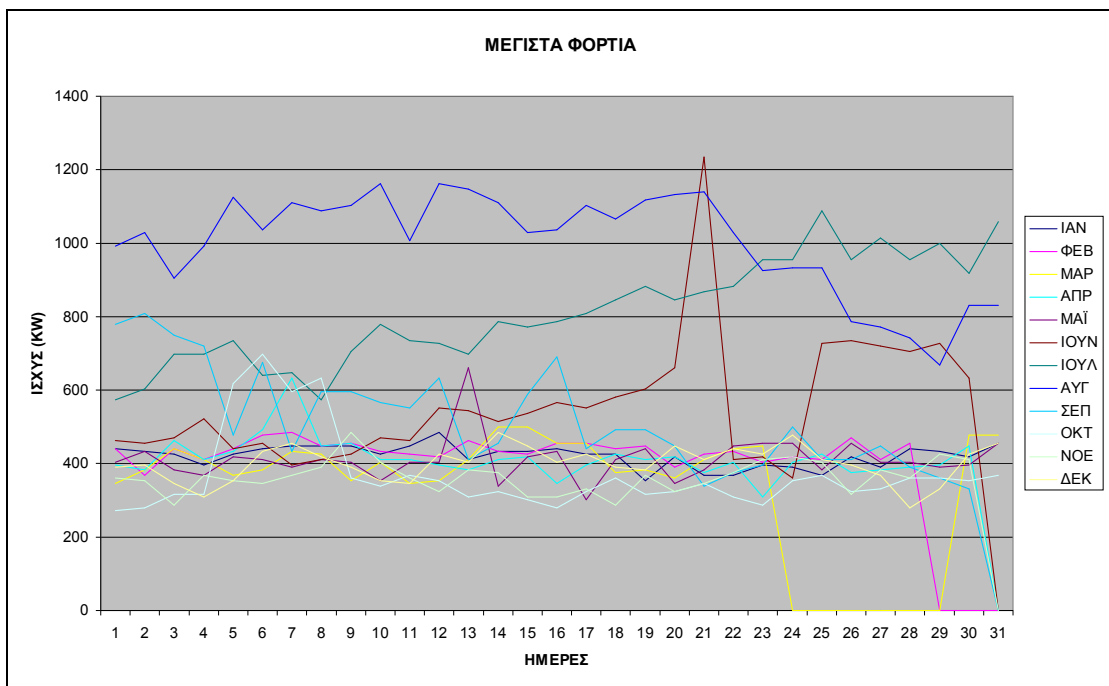
Η μηνιαία παραγωγή ενέργειας από το σταθμό που καταναλώθηκε το 2007 στα νησιά Ίο, Σίκινο και Φολέγανδρο δίνεται στο Παράρτημα Ι.

Για να βρούμε τις ισχύεις πολλαπλασιάζουμε με
 $\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi = 1,73 \cdot 15,7 \cdot 0,9 \approx 24,5$

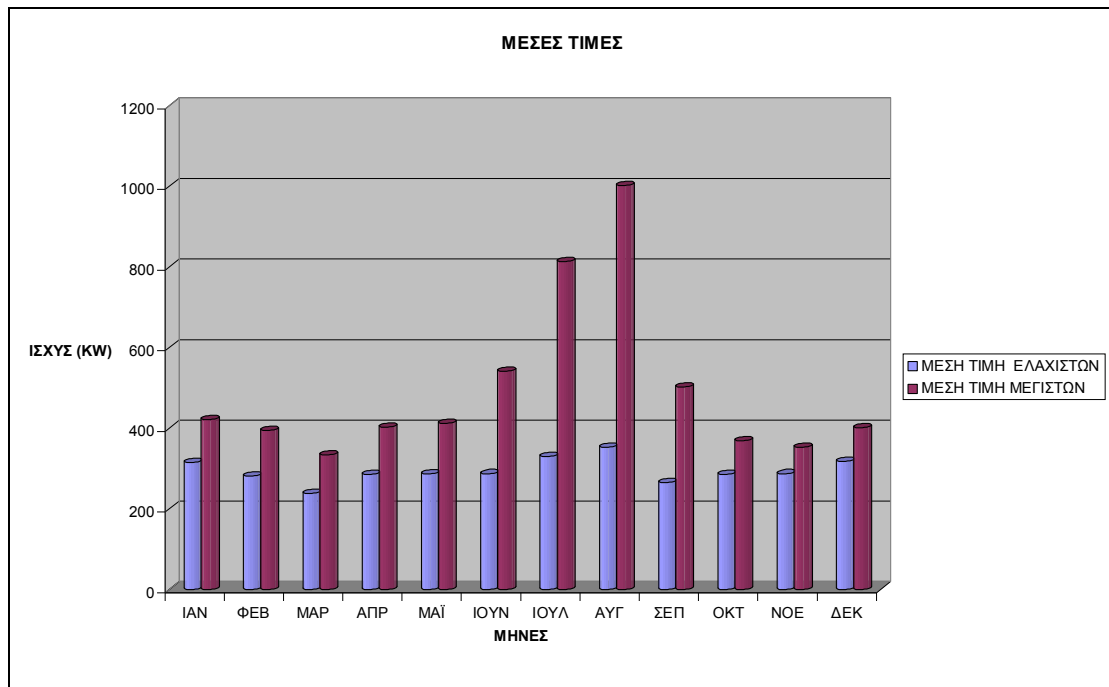
σύμφωνα με τις υποδείξεις των υπευθύνων του ΑΣΠ Πάρου και παίρνουμε τις ισχύεις σε KW (η τάση $V = 15,7$ δίνεται σε kVolts). Αυτά τα φορτία όμως αφορούν την τριάδα των νησιών Ίο, Σίκινο και Φολέγανδρο και για την ακρίβεια είναι τα φορτία της γραμμής που τροφοδοτεί ολόκληρη τη Σίκινο και τη Φολέγανδρο και τμήμα της Ίου. Τα φορτία της Σικίνου αποκλειστικά δεν κατέστη δυνατό να βρεθούν, αλλά από την εμπειρία των υπευθύνων της παραγωγής και διανομής ενέργειας των νησιών αυτών, μπορούν να υπολογιστούν ως το 30% περίπου των συνολικών φορτίων και μάλιστα αυτή εκτιμάται ότι είναι η μέγιστη τιμή. Βάσει αυτού καταστρώνουμε τους πίνακες και τα διαγράμματα για τα μέγιστα και τα ελάχιστα φορτία της Σικίνου ανά ημέρα και ανά μήνα για το έτος 2007, που παρατίθενται στο Παράρτημα Ι.



Διακύμανση ελαχίστων φορτίων για το έτος 2007 ανά ημέρα



Διακύμανση μεγίστων φορτίων για το έτος 2007 ανά ημέρα



Μέσες τιμές ελαχίστων και μεγίστων φορτίων ανά μήνα για το έτος 2007

Από τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να κάνουμε μερικές παρατηρήσεις:

1. Το μέσο ελάχιστο φορτίο των μη τουριστικών μηνών, δηλαδή εκτός των καλοκαιρινών, κυμαίνεται στα 300 KW περίπου, ενώ το μέσο μέγιστο στα 400 KW περίπου.
2. Το μέγιστο φορτίο όλης της χρονιάς αγγίζει τα 1200 KW
3. Το μέσο φορτίο του Αυγούστου την πιο τουριστική περίοδο, δηλαδή το πρώτο εικοσαήμερο, κυμαίνεται μεταξύ 1000 – 1200 KW

Κεφάλαιο 2^ο

Αφαλάτωση

1. Τι είναι η αφαλάτωση – ιστορικά στοιχεία

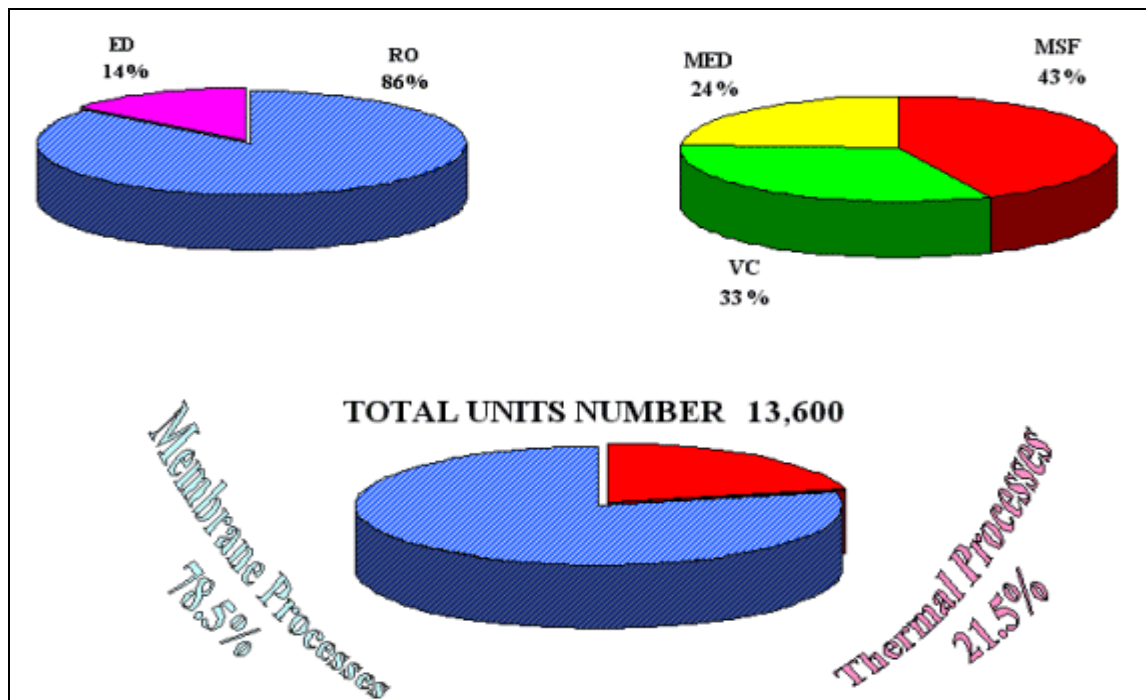
Γενικά^[2] με τον όρο «αφαλάτωση» χαρακτηρίζεται η οποιαδήποτε διεργασία αφαίρεσης αλάτων από μια αλατούχα ουσία και κυρίως από αλατούχα ύδατα. Έτσι, κατ' επέκταση, η αφαλάτωση είναι μια μέθοδος ανάκτησης πόσιμου νερού από θαλασσινό νερό, υφάλμυρα ποτάμια και λίμνες. Εφαρμόζεται κυρίως σε περιοχές με ξηρό κλίμα, φτωχές σε πόσιμο νερό και με πρόσβαση όμως σε θαλασσινό νερό. Η αφαλάτωση άρχισε να αναπτύσσεται κατά τον 20^ο αιώνα με την εμφάνιση λειψυδρίας σε πολλές περιοχές της Γης. Όπως είναι γνωστό το 97,3% περίπου των παγκόσμιων αποθεμάτων νερού βρίσκεται στη θάλασσα αναμιγμένο σε μεγάλες αναλογίες με διάφορα διαλυμένα άλατα σε τέτοια μορφή που η χρήση του, είτε ως πόσιμο, είτε ακόμα και για βιομηχανικές διεργασίες καθίσταται αδύνατη.

Ιστορικά η ιδέα της αφαλάτωσης ανάγεται στους αρχαίους Έλληνες ναυτικούς που την εφάρμοζαν κατά τον 4^ο π.Χ. αιώνα δι' εξατμίσεως του θαλασσινού νερού που την περιγράφει και ο Αριστοτέλης. Επίσης περιγραφή αφαλάτωσης αναφέρεται ως πραγματεία από Άραβα συγγραφέα του 8^{ου} μερικές αιώνες που βασίζεται στην απόσταξη του νερού. Δέκα αιώνες αργότερα, με την ανάπτυξη των ατμοκίνητων πλοίων (της ατμοπλοΐας) η αναγκαιότητα μεγάλης ποσότητας ύδατος στη χρήση των ατμομηχανών κατέστησε επιτακτική ανάγκη την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού ώστε να μη προκαλείται ταχύτατη διάβρωση αυτών. Πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας αφαλάτωσης νερού δόθηκε στην Αγγλία το 1869. Η σπουδαιότητα αυτής της ανακάλυψης διαφάνηκε από το γεγονός ότι τον ίδιο αμέσως χρόνο οι Άγγλοι εγκατέστησαν τη πρώτη μεγάλη μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού ύδατος στο Άντεν για τις ανάγκες του στόλου τους. Ο πρώτος μεγάλος εργοστασιακός σταθμός αφαλάτωσης θαλασσινού ύδατος για εμπορική και βιομηχανική χρήση εγκαταστάθηκε στην Αρούμπα (τότε Ολλανδικές Αντίλλες) το 1930.

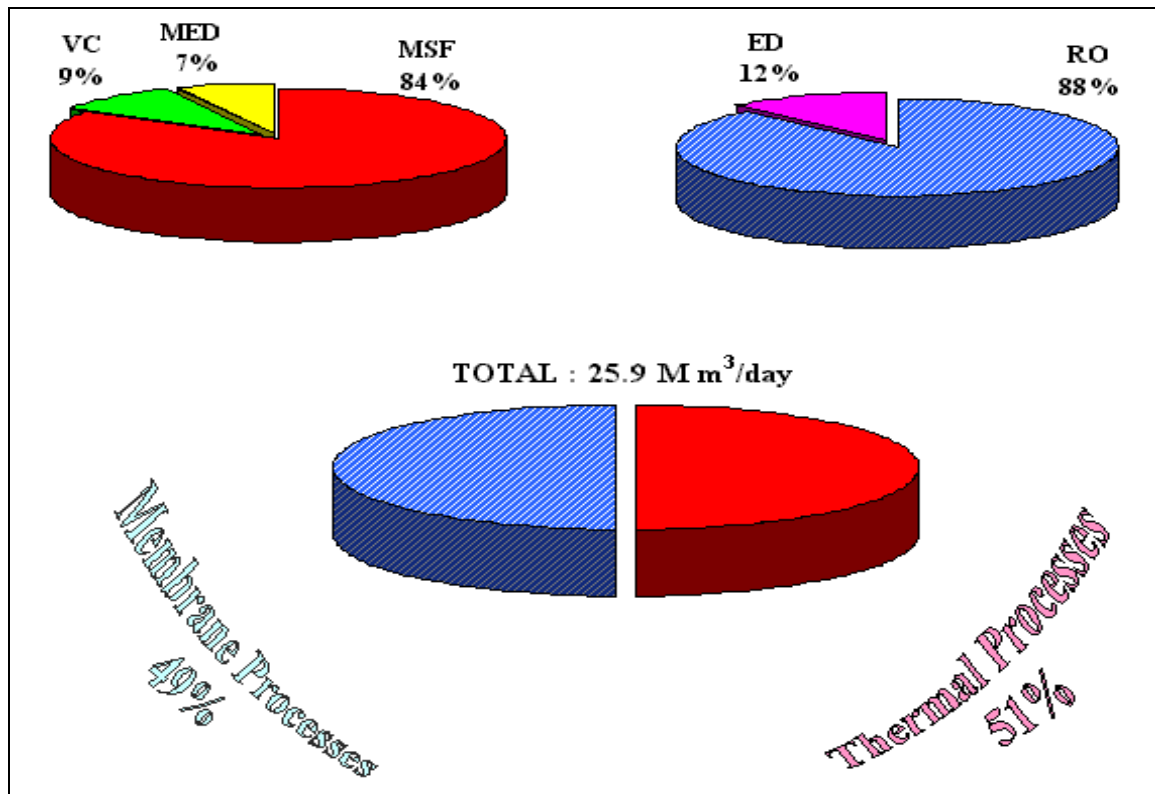
Από το 1970 άρχισαν να τίθενται σε λειτουργία μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης στις ΗΠΑ, Ρωσία, Μεξικό στην Μέση Ανατολή, σε παράλιες χώρες όπως είναι η Σαουδική Αραβία (24% της παγκόσμιας χρήσης), το Κουβέιτ, η Αίγυπτος αλλά και το Ισραήλ. Στον δυτικό κόσμο ο μεγαλύτερος χρήστης της μεθόδου είναι η Ισπανία, όπου ξεκίνησε μαζική χρήση αφαλάτωσης στα Κανάρια Νησιά πριν περίπου 40 χρόνια. Το μεγαλύτερο εργοστάσιο αφαλάτωσης της Ευρώπης βρίσκεται σήμερα στο Καρμπονέρας της νότιας Ισπανίας.

Σύμφωνα με στοιχεία του 2000^[6], 13600 μονάδες αφαλάτωσης λειτουργούν παγκοσμίως και έχουν παραγωγή $25,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ καθαρό νερό. Το 11% αυτών των μονάδων εγκαταστάθηκαν τα τελευταία δυο χρόνια (πριν το 2000). Το 38% αυτών βρίσκονται στον Περσικό Κόλπο και το 17% στις ΗΠΑ. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι η πολυβάθμια εκτόνωση

(multiple stage flashing, MSF) και η αντίστροφη όσμωση (reverse osmosis, RO), καθεμιά απ' τις οποίες παράγει το 43% του παγκόσμιου προϊόντος. Παρ' ότι όμως αυτές οι μέθοδοι έχουν την ίδια παραγωγή, η RO χρησιμοποιείται στο 68% των περιπτώσεων και μια τυπική μονάδα έχει μέση παραγωγή 1200 m³/ημέρα, ενώ η MSF χρησιμοποιείται σε ποσοστό μόλις 9% και μια τυπική μονάδα έχει μέση παραγωγή 8800 m³/ημέρα. Συνολικά, η MSF και η RO παράγουν συνολικά το 86% της παγκόσμιας ποσότητας αφαλατωμένου νερού, η ηλεκτροδιάλυση (electrodialysis, ED) το 6%, η συμπίεση ατμών (vapor compression, VC) το 4% και η πολυβάθμια εξάτμιση (multiple effect distillation, MED) το 4%. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις MSF απαντώνται στον Περσικό Κόλπο, ενώ στον υπόλοιπο κόσμο κυριαρχεί RO. Τα Μεσογειακά κράτη, ανάμεσά τους και η Ελλάδα, στράφηκαν προς την RO τις δυο τελευταίες δεκαετίες. Συγκεντρωτικά τα παραπάνω:



Ποσοστό παγκοσμίως εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης που βασίζονται σε διεργασίες μεμβρανών και σε θερμικές διεργασίες για το έτος 2006



Δυναμικότητα παγκοσμίως εγκατεστημένων μονάδων αφαλάτωσης που βασίζονται σε διεργασίες μεμβρανών και σε θερμικές διεργασίες για το έτος 2006

2. Συνήθειες μέθοδοι αφαλάτωσης

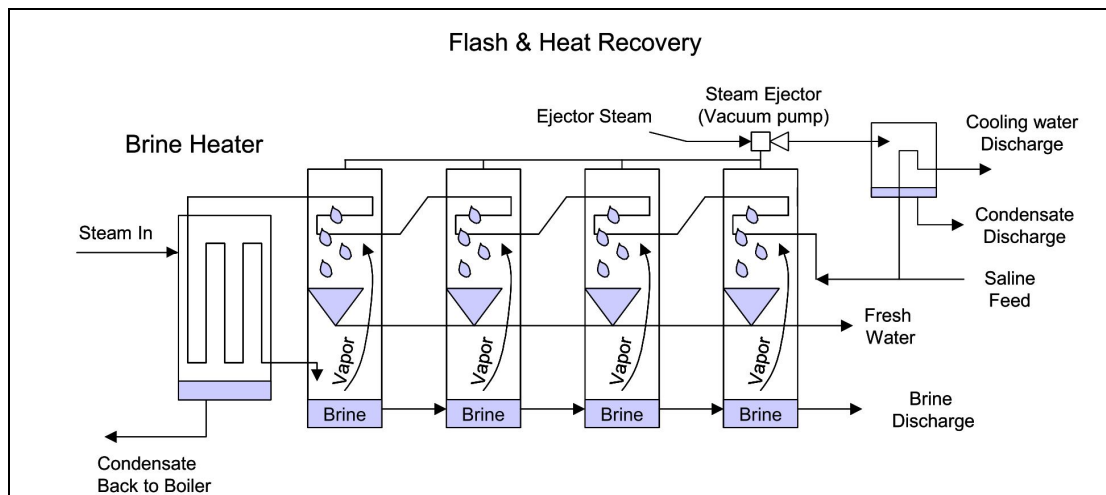
Οι διεργασίες αφαλάτωσης γενικά διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

- Σε διεργασίες που περιλαμβάνουν αλλαγή φάσης (θερμικές διεργασίες). Αυτές είναι η απόσταξη και η κρυστάλλωση. Η δεύτερη όμως δεν χρησιμοποιείται ευρέως. Όσον αφορά την απόσταξη, οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι είναι η πολυβάθμια εκτόνωση (Multiple Stage Flashing, MSF), η πολυβάθμια εξάτμιση (Multiple Effect Distillation, MED), η εξάτμιση με συμπίεση ατμών (Vapor Compression, VC) και η ηλιακή απόσταξη (Solar Distillation)
- Σε διεργασίες οι οποίες πραγματοποιούνται σε μια μόνο φάση, δηλαδή την υγρή. Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν η αντίστροφη όσμωση (Reverse Osmosis, RO) και η ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis, ED), οι οποίες χρησιμοποιούν μεμβράνες για την απομάκρυνση των αλάτων

α) Πολυβάθμια εκτόνωση (multiple stage flashing, MSF)



Εγκατάσταση πολυβάθμιας εκτόνωσης στη Μέση Ανατολή



Σχηματική απεικόνιση της πολυβάθμιας εκτόνωσης

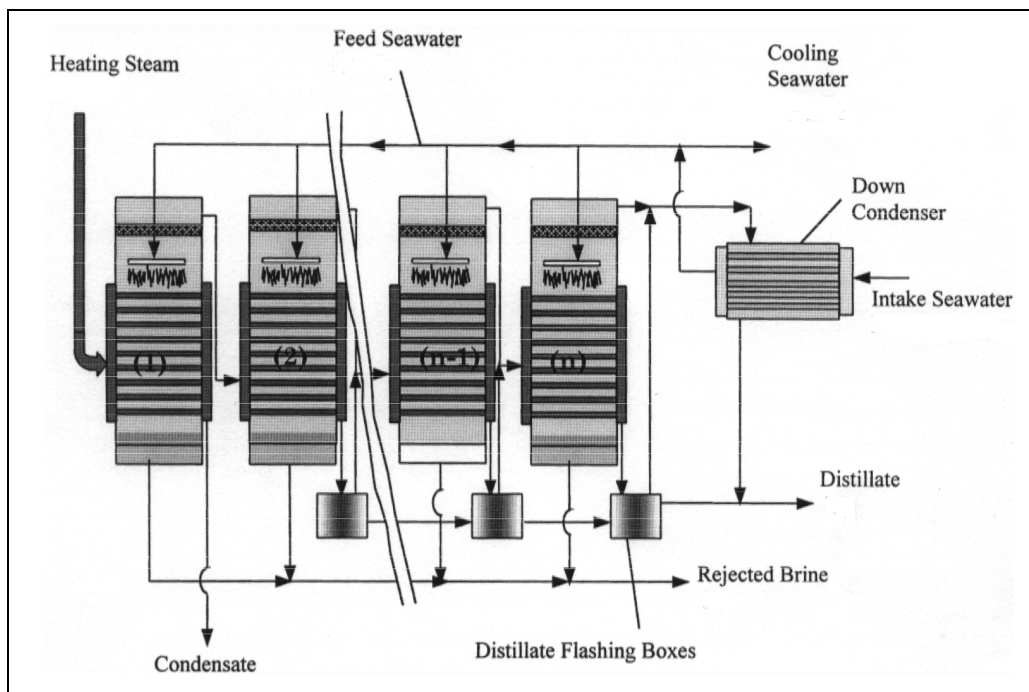
Οι εγκαταστάσεις αυτού του τύπου είναι πολύ διαδεδομένες στη Μέση Ανατολή και ιδιαίτερα στη Σαουδική Αραβία, τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα και το Κουβέιτ. Η χρήση τους εκεί ανέρχεται σε ποσοστό 40% της παγκόσμιας χρήσης αφαλάτωσης. Η αρχή λειτουργίας της είναι η εξής: το θαλασσινό νερό θερμαίνεται σε θερμοκρασία λίγο χαμηλότερη του σημείου ζέσεως και στη συνέχεια εισέρχεται στον πρώτο θάλαμο που υπάρχει πίεση χαμηλότερη απ' την πίεση κορεσμού, οπότε ατμοποιείται. Ο ατμός έρχεται σε επαφή με τους σωλήνες που μεταφέρουν το κρύο θαλασσινό νερό, υγροποιείται και συλλέγεται ως καθαρό νερό. Η άλμη προωθείται στους επόμενους θαλάμους, όπου το φαινόμενο επαναλαμβάνεται και η πίεση διαρκώς μειώνεται (για να παρακολουθήσει την αντίστοιχη μείωση της θερμοκρασίας της άλμης), μέχρι που τελικά απορρίπτεται. Σε πολλές εφαρμογές οι εγκαταστάσεις αυτές βρίσκονται δίπλα σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας για καλύτερη αξιοποίηση του καυσίμου. Έτσι ο ατμός υψηλής πίεσης εκτονώνεται στον αμοστρόβιλο για παραγωγή ισχύος και στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση. Ένας βαθμός απόδοσης των θερμικών μονάδων αφαλάτωσης μπορεί να οριστεί ως το πηλίκο της μάζας του παραγόμενου

αποσταγμένου νερού προς τη μάζα του ατμού που χρησιμοποιήθηκε. Μια τυπική τιμή του βαθμού αυτού για τη συγκεκριμένη μέθοδο είναι περίπου 8, ενώ μια μονάδα των 20 βαθμίδων απαιτεί περίπου 290 kJ/kg προϊόντος^[4].

β) Πολυβάθμια εξάτμιση (multiple effect distillation)



Εγκατάσταση πολυβάθμιας εξάτμισης στο Ομάν (3 x 2400 m³/ημέρα)



Σχηματική απεικόνιση της πολυβάθμιας εξάτμισης

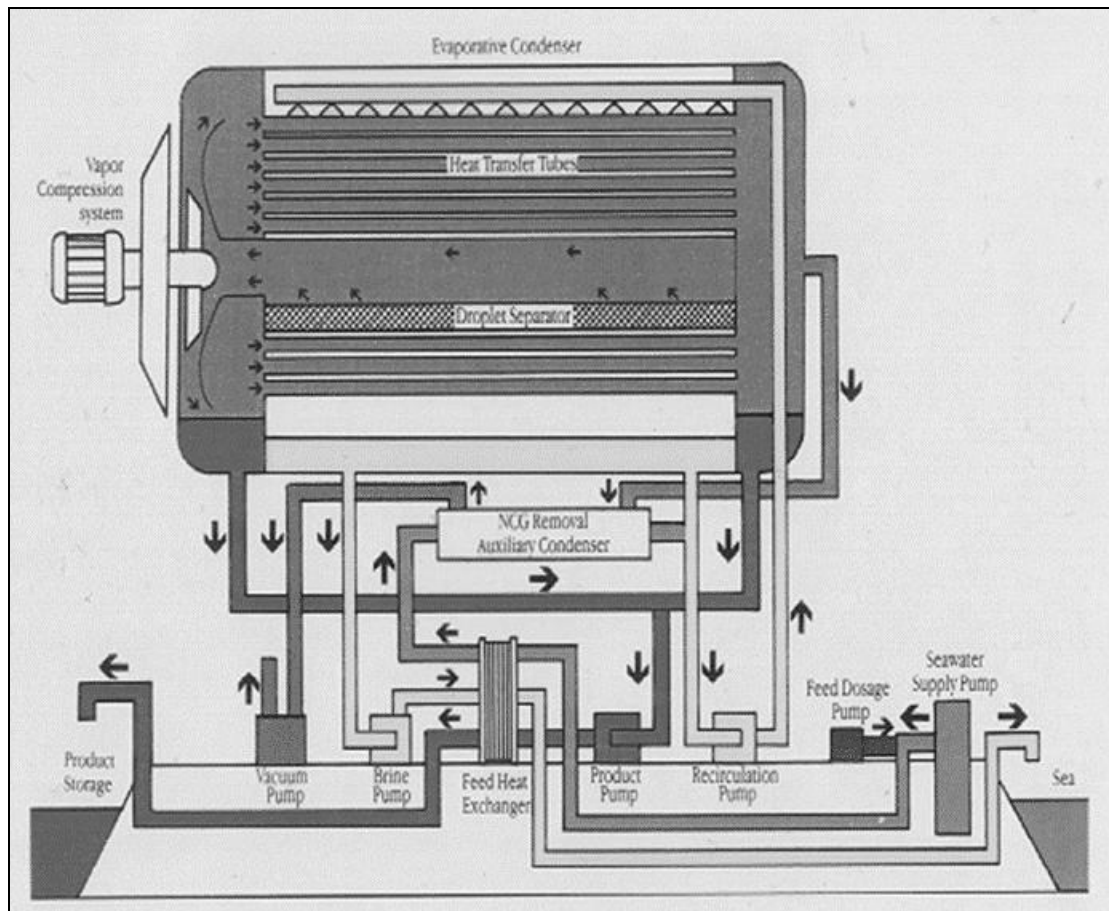
Η πολυβάθμια εξάτμιση είναι παρόμοια με την πολυβάθμια εκτόνωση, αναπτύχθηκε νωρίς και υπήρχαν εγκαταστάσεις από τη δεκαετία του '50. Παρ'

όλα αυτά σταδιακά αντικαταστάθηκε απ' την πολυβάθμια εκτόνωση, λόγω τεχνικών προβλημάτων και ακόμη και σήμερα δεν είναι τόσο διαδεδομένη. Τελευταία αρχίζει όμως να ξανακερδίζει έδαφος λόγω καλύτερης θερμικής απόδοσης. Εδώ ο ατμός περνάει μέσα από σωλήνες, ενώ το ψυχρό θαλασσινό νερό ψεκάζεται πάνω τους, για να δημιουργηθεί φιλμ και να εξατμιστεί αποτελεσματικότερα. Έτσι, μέρος του ατμού συμπυκνώνεται και συλλέγεται σαν καθαρό νερό, ενώ ο υπόλοιπος ατμός, μαζί με μέρος του θαλασσινού νερού που ατμοποιήθηκε, συνεχίζουν στον επόμενο θάλαμο. Και εδώ σε κάθε θάλαμο υπάρχει αντλία κενού για να βοηθά την εξάτμιση, με βαθμιαία μειούμενη πίεση σε κάθε θάλαμο, ίση με την πίεση κορεσμού στην αντίστοιχη θερμοκρασία. Αυτό επιτρέπει τη λειτουργία σε υψηλή (>90 °C) ή χαμηλή (<90 °C) θερμοκρασία και μάλιστα η μέγιστη θερμοκρασία βρασμού μπορεί να είναι έως και 55 °C^[4], πράγμα που λειτουργεί ανασταλτικά στη διάβρωση και επιτρέπει τη χρήση χαμηλού επιπέδου απορριπτόμενης θερμότητας από άλλες θερμικές διεργασίες. Στη μέθοδο αυτή συχνά χρησιμοποιούνται και συμπιεστές (μηχανικοί ή θερμικοί), ενώ οι παραλλαγές της προκύπτουν απ' την οριζόντια ή κάθετη διάταξη των σωλήνων ατμού και τη φορά του ατμού σε σχέση με την άλμη (ομορροή, αντιρροή ή παράλληλη).

γ) Εξάτμιση με συμπίεση ατμών (vapor compression)



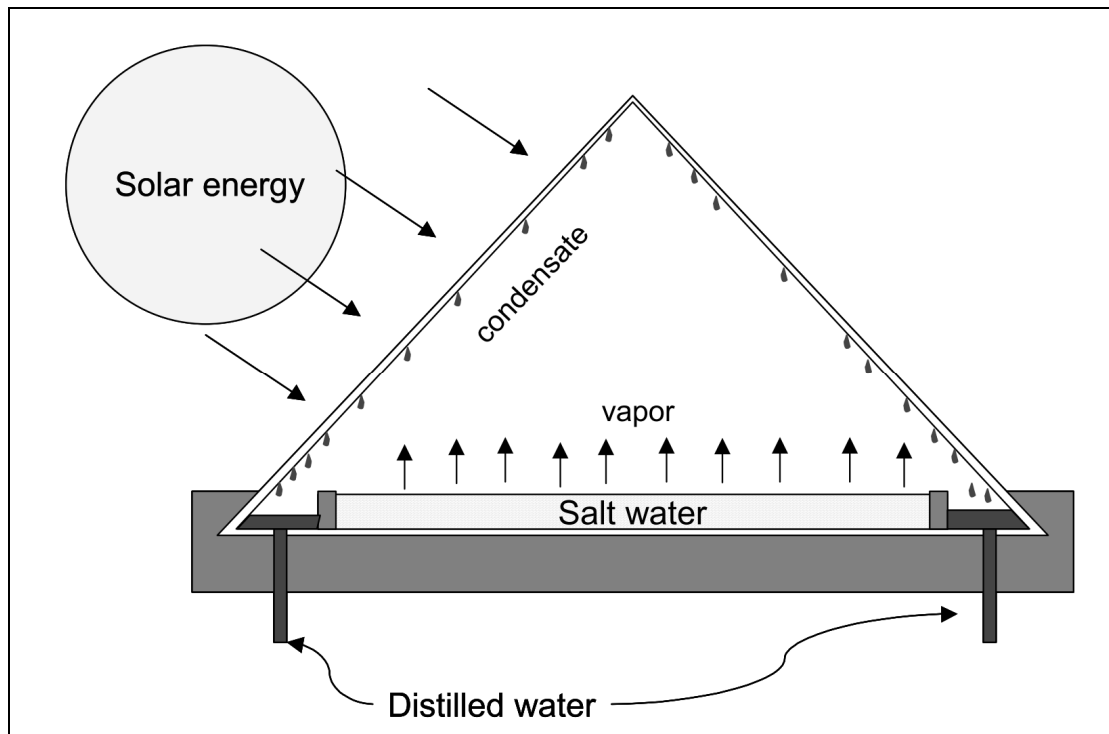
Εγκατάσταση εξάτμισης με συμπίεση ατμών



Σχηματική απεικόνιση της εξάτμισης με συμπίεση ατμών

Η μέθοδος αυτή είναι η πιο αποδοτική και απλή στην κατασκευή, χωρίς πολλαπλά στάδια. Το θαλασσινό νερό ψεκάζεται πάνω σε μια σειρά σωλήνων που τους διαπερνά ατμός, θερμαίνεται και εξατμίζεται με τη βοήθεια αεροσυμπιεστή που δημιουργεί υποπίεση. Ο συμπιεστής αυτός μαζεύει τους ατμούς του καθαρού νερού και τους εκτοξεύει με πίεση μέσα στους σωλήνες και με την επαφή του ψυχρού θαλασσινού νερού συμπυκνώνονται και λαμβάνονται ως προϊόν. Η κύρια διαφορά με τις προηγούμενες δυο μεθόδους είναι προφανώς η απουσία πηγής θερμότητας, αφού εδώ η εξάτμιση προκαλείται αποκλειστικά και μόνο απ' τη χαμηλή πίεση, δηλαδή λειτουργεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Και εδώ η δημιουργία λεπτού φιλμ πάνω στους σωλήνες είναι το κλειδί για την αποτελεσματικότερη εξάτμιση και άρα απόδοση της εγκατάστασης. Η εξάτμιση με συμπίεση ατμών χρησιμοποιείται γενικά σε μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις και παράγει μέχρι και 3000 m³/ημέρα.

δ) Ηλιακή απόσταξη (solar distillation)



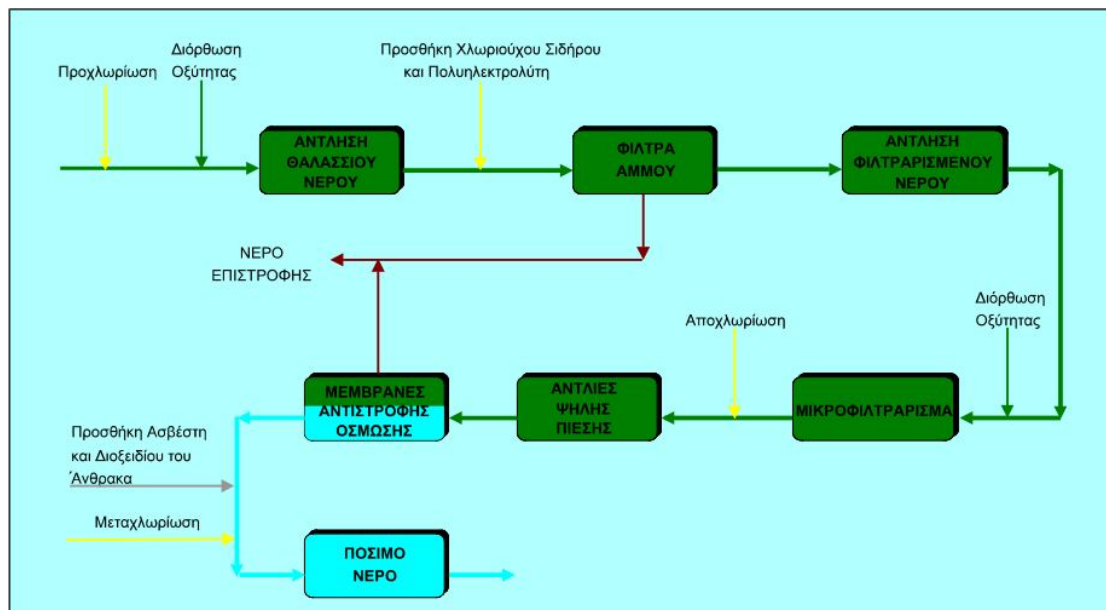
Σχηματική απεικόνιση της ηλιακής απόσταξης

Οι συσκευές της κατηγορίας αυτής ουσιαστικά αναπαράγουν τον υδρολογικό κύκλο σε μικρή κλίμακα: οι ακτίνες του ήλιου διέρχονται μέσα από μια διαφανή οροφή και θερμαίνουν το θαλασσινό νερό που βρίσκεται στον πάτο. Αυτό εξατμίζεται και ανεβαίνει στην οροφή που είναι κεκλιμένη, οπότε συμπυκνώνεται πάλι και συλλέγεται ως προϊόν από κατάλληλη διάταξη. Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούν λιγότερο απ' το 50% της προσπτώμενης ακτινοβολίας και η απόδοσή τους είναι αρκετά χαμηλή, περίπου 4 λίτρα καθαρό νερό την ημέρα ανά τετραγωνικό μέτρο εδάφους. Για το λόγο αυτό πρέπει να χρησιμοποιούνται φθηνά σχετικά υλικά για να μειωθεί το κόστος εγκατάστασης, που είναι και το μόνο έξοδο ουσιαστικά, αφού τα λειτουργικά κόστη είναι από ελάχιστα ως μηδαμινά. Πρέπει βέβαια να αναφερθεί ότι το νερό που παράγεται δεν είναι απαλλαγμένο από μικροοργανισμούς, διότι δεν βράζει σε μεγάλη θερμοκρασία και άρα χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία. Κατά συνέπεια η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε μικρές εγκαταστάσεις ή για οικιακή χρήση.

ε) Αντίστροφη όσμωση (reverse osmosis)



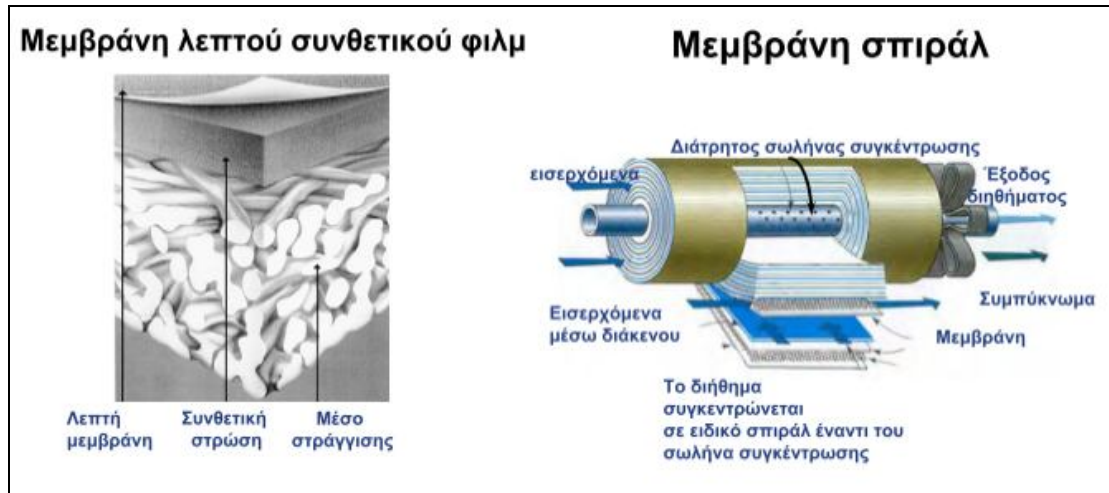
Εγκατάσταση αντίστροφης όσμωσης (Δεκέλεια Κύπρου, δυναμικότητα 40.000 m³/ημέρα)



Διάγραμμα ροής της αντίστροφης όσμωσης

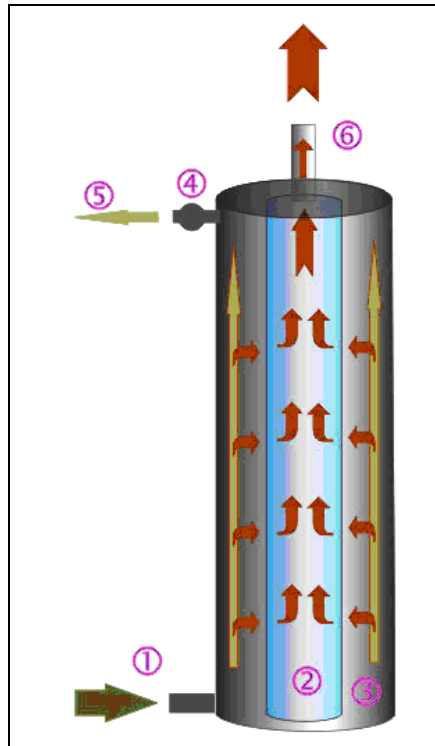
Η μέθοδος αυτή, όπως φαίνεται και από το όνομά της, βασίζεται στο φαινόμενο της όσμωσης, κατά το οποίο όταν δυο διαλύματα με διαφορετικές συγκεντρώσεις (πυκνότητες) χωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη (δηλ. μεμβράνη που δεν επιτρέπει τη διέλευση κάποιων ουσιών μέσα από αυτή, όπως π.χ. άλατα) τότε το διάλυμα με τη μικρότερη συγκέντρωση θα περάσει μέσα από τη μεμβράνη προς το πυκνότερο διάλυμα, μέχρι να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις τους. Το φαινόμενο αυτό απαντάται πολύ συχνά στη φύση και στους ζωντανούς οργανισμούς, ανάμεσά τους και ο άνθρωπος, καθώς

πολλές κυτταρικές λειτουργίες βασίζονται σ' αυτό, για παράδειγμα το δέρμα, τα νεφρά, οι πνεύμονες και τα ίδια τα κύτταρα λειτουργούν λίγο ως πολύ ως μεμβράνες. Η πίεση που πρέπει να ασκηθεί στην πλευρά του πυκνότερου διαλύματος για να μην λάβει χώρα το φαινόμενο της όσμωσης ονομάζεται οσμωτική πίεση.



Τύποι μεμβρανών

Η αντίστροφη όσμωση συνιστά ακριβώς αυτό: την άσκηση πίεσης (μεγαλύτερη της οσμωτικής) στην πλευρά του πυκνότερου διαλύματος (στην περίπτωση της αφαλάτωσης, του θαλασσινού ή άλλου ακάθαρτου νερού), ώστε απ' την άλλη να παραλάβουμε φιλτραρισμένο καθαρό νερό. Ο πιο συνηθισμένος τύπος συσκευής είναι αυτός που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Το προς καθαρισμό νερό εισέρχεται από την είσοδο (1) στη συσκευή και καταλαμβάνει το χώρο (3). Υπάρχουν δυο διέξοδοι: η (5) και η (6). Ο χώρος (3) βρίσκεται υπό πίεση και το νερό εξαναγκάζεται κατά ποσοστό 25% περίπου να διέλθει μέσα από τη μεμβράνη (2), οπότε και καθαρίζεται και εξέρχεται από την (6) ως προϊόν, είτε μόλις η πίεση ξεπεράσει το όριο της βαλβίδας (4) να βγει από την έξοδο (5), σε ποσοστό 75% περίπου, παρασύροντας μαζί του και τις ακαθαρσίες στην επιφάνεια της μεμβράνης, όπου και απορρίπτεται.



Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας συσκευής αντίστροφης όσμωσης

Για το θαλάσσιο νερό, που πρωτίστως μας ενδιαφέρει, χρειάζονται ορισμένα στάδια επεξεργασίας^[7]:

- Στάδιο προεπεξεργασίας
- Στάδιο αντίστροφης όσμωσης
- Τελικό στάδιο επεξεργασίας

Στάδιο προεπεξεργασίας

Στα συστήματα αντίστροφης όσμωσης, για την καλύτερη λειτουργία των μεμβρανών, το πρώτο στάδιο επεξεργασίας του θαλάσσιου νερού είναι πολύ σημαντικό. Γι' αυτό στο στάδιο τούτο, οι μικροοργανισμοί πρέπει να καταστραφούν και τα αιωρούμενα στερεά να αφαιρεθούν ώστε να αποφευχθεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών και η εναπόθεση αλάτων στις μεμβράνες. Η προεπεξεργασία του θαλάσσιου νερού συνήθως περιλαμβάνει:

- Φίλτρο εισόδου (με τοποθέτηση σχάρας στην αναρρόφηση για να μην εισέλθουν ψάρια, φύκια και πλαστικά)
- Προχλωρίωση του θαλάσσιου νερού (με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου)
- Προσθήκη οξέος (συνήθως θειικό οξύ για τη ρύθμιση της οξύτητας και την αποφυγή απόθεσης αλάτων)
- Συσσωμάτωση των κολλοειδών/οργανικών ουσιών (με προσθήκη χλωριούχου σιδήρου και πολυηλεκτρολύτη)
- Φίλτρο άμμου (περιλαμβάνει άμμο, χαλίκια και ανθρακίτη για την κατακράτηση ακόμα μικρότερων στερεών αιωρούμενων σωματιδίων)

- Φίλτρα πολυπροπυλενίου (για κατακράτηση των στερεών ουσιών με μέγεθος μέχρι και 1μm, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν φθορά στις μεμβράνες)
- Αποχλωρίωση (με θειούχο νάτριο ή φίλτρο ενεργού άνθρακα, γιατί οι μεμβράνες καταστρέφονται στην παρουσία ελεύθερου χλωρίου)
- Αποστείρωση με υπεριώδη ακτινοβολία

Στάδιο αντίστροφης όσμωσης

Στο στάδιο του διαχωρισμού στις μεμβράνες, αντλίες υψηλής πίεσης παρέχουν την πίεση που απαιτείται ώστε το νερό να περάσει μέσα από τις μεμβράνες και να απορρίψει τα άλατά του. Αυτή η πίεση είναι μεταξύ 54 και 80 ατμόσφαιρες. Καθώς ένα μέρος του νερού περνάει μέσα από τις μεμβράνες, στο υπόλοιπο νερό αυξάνεται η συγκέντρωση των αλάτων. Την ίδια στιγμή ένα μέρος του νερού που τροφοδοτείται στις μεμβράνες απορρίπτεται χωρίς να περάσει μέσα από αυτές. Χωρίς αυτή την ελεγχόμενη απόρριψη, η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό θα συνέχιζε να αυξάνει, με επακόλουθο την εναπόθεση των υπερκορεσμένων αλάτων και αύξηση της οσμωτικής πίεσης κατά μήκος των μεμβρανών. Η ποσότητα του νερού αυτού είναι μεταξύ 20% και 70% της ροής τροφοδοσίας και εξαρτάται από τη συγκέντρωση των αλάτων στο νερό τροφοδοσίας.

Τελικό στάδιο επεξεργασίας

Στο τελικό στάδιο επεξεργασίας γίνεται σταθεροποίηση του παραγόμενου νερού και προετοιμασία του για τη διανομή του ως πόσιμο νερό. Το στάδιο αυτό μπορεί να αποτελείται από:

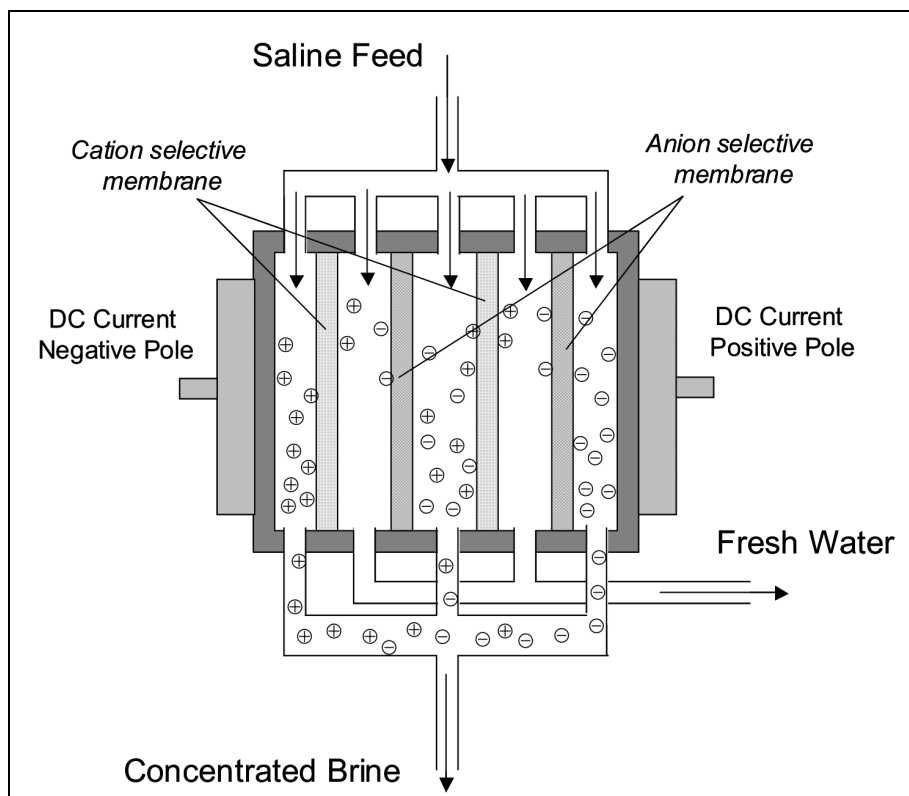
- Απομάκρυνση αερίων, όπως το υδρόθειο
- Ρύθμιση της οξύτητας (pH) και αύξηση της σκληρότητας (με προσθήκη ειδικά επεξεργασμένου ασβέστη και διοξειδίου του άνθρακα)
- Τελική χλωρίωση

Είναι φανερό ότι στη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης η ενέργεια που απαιτείται καταναλώνεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου στις αντλίες για τη συμπίεση του νερού. Επειδή η οσμωτική πίεση (που πρέπει να υπερνικηθεί) είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των αλάτων, η αντίστροφη όσμωση είναι η πρώτη επιλογή για υφάλμυρα νερά, με την πίεση λειτουργίας να είναι 15 – 25 bar, ενώ για θαλάσσιο νερό είναι 54 – 80 bar, αφού η οσμωτική του πίεση είναι περίπου 25 bar. Η σημαντικότερη απώλεια ενέργειας είναι η εκτόνωση της άλμης, όταν βγαίνει με υψηλή πίεση απ' τη συσκευή και γι' αυτό, σε μεγάλες κυρίως μονάδες, υπάρχουν συστήματα ανάκτησης της ενέργειας αυτής, π.χ. υδροστρόβιλοι, με αποτελεσματικότητα μέχρι και 95%.

στ) Ηλεκτροδιάλυση (electrodialysis)



Εγκατάσταση ηλεκτροδιάλυσης



Σχηματική απεικόνιση της ηλεκτροδιάλυσης

Όπως δηλώνει και το όνομά της, αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί τον ηλεκτρισμό για να καθαρίσει το νερό. Το νερό τροφοδοσίας περνάει ανάμεσα από φορτισμένες μεμβράνες, θετικά και αρνητικά εναλλάξ. Έτσι, τα ιόντα που είναι διαλυμένα προσκολλώνται στις μεμβράνες, οι οποίες επιτρέπουν τη διέλευσή τους και μόνο, δημιουργώντας διαμερίσματα μικρότερης και μεγαλύτερης συγκέντρωσης, που μας δίνουν το προϊόν και την άλμη αντίστοιχα. Είναι προφανές ότι η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να απομακρύνει τα μη ιοντικά στερεά, αλλά και όσον αφορά τα ιοντικά, η απαιτούμενη ενέργεια αυξάνει ανάλογα με τη συγκέντρωση. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται σε νερά χαμηλής συγκέντρωσης αλάτων, όπως τα υφάλμυρα. Για τον καθαρισμό

και την καλύτερη λειτουργία των μεμβρανών, εφαρμόζεται αντιστροφή των πεδίων, αλλάζοντας θέση στα κανάλια του προϊόντος με αυτά της άλμης. Έτσι τα τμήματα των μεμβρανών που είχαν μαζέψει πολλά άλατα καθαρίζονται από τη ροή καθαρού νερού. Στο τέλος της διεργασίας γίνεται επεξεργασία του νερού για τη ρύθμιση της σκληρότητας και του pH, όπως στην αντίστροφη όσμωση.

3. Σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης

Για να επιλέξει κάποιος μια συγκεκριμένη μέθοδο πρέπει να λάβει υπόψη του:

- Την ποιότητα του νερού τροφοδοσίας (θαλασσινό, υφάλμυρο)
- Την ποσότητα και την ποιότητα του παραγόμενου νερού
- Το κόστος επένδυσης
- Τη διαθεσιμότητα χώρου
- Τις ενεργειακές απαιτήσεις και τις διαθέσιμες μορφές ενέργειας
- Τη διαθεσιμότητα και την εμπειρία του προσωπικού

Τα συμπεράσματα φαίνονται συγκεντρωτικά στον επόμενο πίνακα^[3, 19]:

Σύγκριση των μεθόδων αφαλάτωσης							
Μέθοδος	Νερό Τροφοδοσίας	Μορφή Ενέργειας	Ποιότητα Προϊόντος (TDS)	Παραγωγή Προϊόντος (m ³ /ημέρα)	Τύπος Ενέργειας	Κατανάλωση Ενέργειας	Κόστος Εγκατάστασης
MSF	Θαλασσινό	Θερμική	~10	1.000 – 60.000	Θερμική Ηλεκτρική	290 kJ/kg 4 – 6 KWh/m ³	1000 – 2000 €/ (m ³ /ημέρα)
MED	Θαλασσινό	Θερμική	~10	500 – 20.000	Θερμική Ηλεκτρική	270 KJ/kg 2,5 – 3 KWh/m ³	850 – 1750 €/ (m ³ /ημέρα)
VC	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	~10	25 – 2.500	Ηλεκτρική	8 – 15 KWh/m ³	1000 – 2350 €/ (m ³ /ημέρα)
SWRO	Θαλασσινό	Ηλεκτρική	>500	0,4 - >70.000	Ηλεκτρική	< 5 KWh/m ³ < 3 KWh/m ³ με ανάκτηση ενέργειας	650 – 4400 €/ (m ³ /ημέρα)
BWRO	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	~250-500	2,5 – > 50.000	Ηλεκτρική	0,5 – 3 KWh/m ³	300 – 2000 €/ (m ³ /ημέρα)
ED	Υφάλμυρο	Ηλεκτρική	~300-500	15 – 50.000	Ηλεκτρική	1,5 – 4 KWh/m ³	1000 – 5000 €/ (m ³ /ημέρα)

4. Η αφαλάτωση στον Ελλαδικό χώρο

Στον επόμενο πίνακα φαίνονται οι μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν στην Ελλάδα και χρησιμοποιούν τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης^[19]:

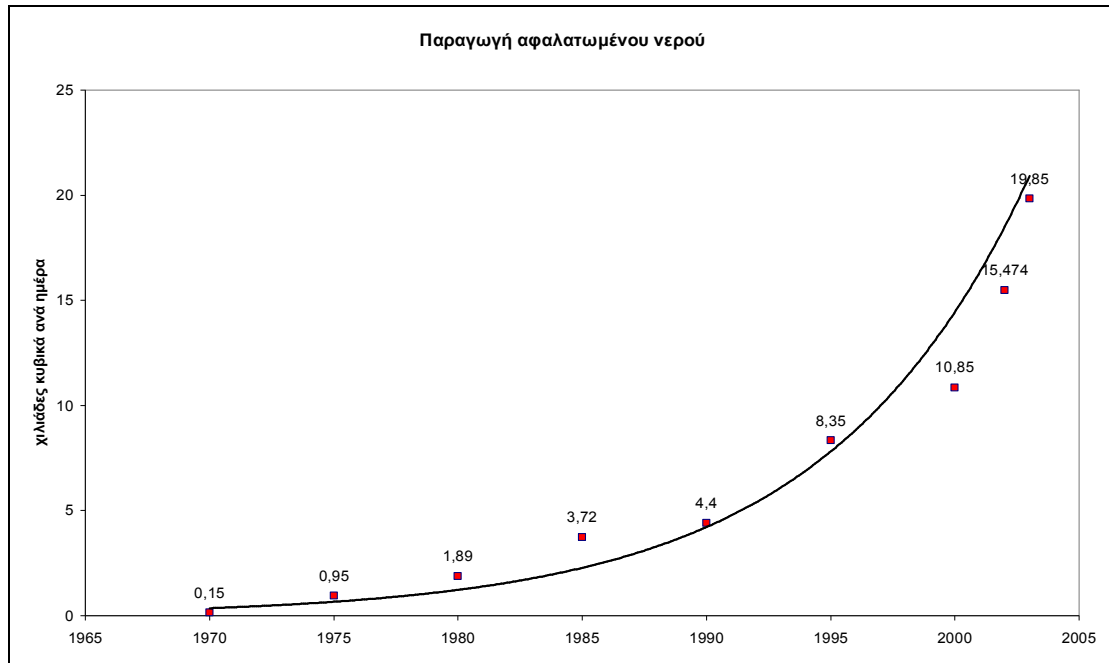
Εγκατεστημένες μονάδες αφαλάτωσης στην Ελλάδα

Μονάδα	Έτος Κατασκευής (αρχικά)	Τύπος	Δυναμικότητα (m ³ /hr)	Αρχικό κόστος (10 ⁶ €)	Λειτουργικό κόστος (€)
Σύρος 1 ^η (Ερμούπολη)	1992	RO (SW)	800	0,589	1,25
Σύρος 2 ^η (Ερμούπολη)	1997	RO (SW)	800	1,482	1,25
Σύρος 3 ^η (Ερμούπολη)	2001	RO (SW)	2x250	0,346	1,00
Σύρος 4 ^η (Άνω Σύρος)	2000	RO (SW)	250	0,215	0,50
Σύρος 5 ^η (Άνω Σύρος)	2002	RO (SW)	500	0,40	0,50
Σύρος 6 ^η (Ερμούπολη)	2002	RO (SW)	4x500	0,313	1,00
Σύρος 7 ^η (Άνω Σύρος)	2005	RO (SW)	2x500	1,000	0,40
Σχοινούσα	2004	RO (SW)	100	0,120	0,70
Μύκονος (Κόρφου) νέα	2001	RO (SW)	3x650	1,276	0,50
Πάρος (Νάουσα)	2001	RO (SW)	1200	0,415	0,50
Τήνος (Παλαιά)	2001	RO (SW)	500	0,434	0,62
Τήνος (Νέα)	2005	RO (SW)	500	0,376	0,62
Οίας, Σαντορίνης 1 ^η	1994	RO	220		2,00
Οίας, Σαντορίνης 2 ^η	2000	RO	320	0,211	2,00
Οίας, Σαντορίνης 3 ^η	2002	RO	160		2,00
Σίφνος	2002	RO (BW)	500	0,224	3,50
Ομηρούπολης (Δήμος), Χίου	2000	RO (BW)	600	0,205	0,30
Ομηρούπολης (Δήμος), Χίου	2005	RO	3x1000	0,710	0,26
Ομηρούπολης (Δήμος), Χίου	2005	RO	500	0,200	0,26
Νίσυρος (Παλαιά)	1991	RO	300	0,572	
Νίσυρος (Νέα)	2002	RO	350	0,295	0,66
Ιθάκη, Κεφαλονιάς 1 ^η	1981	RO	620	0,264	2,88
Ιθάκη, Κεφαλονιάς 2 ^η	2003	RO	520	0,587	0,58
Λέρου (ΔΕΥΑ)	2001	RO	200	0,074	0,13
Κασσωπαιών (Δήμος)	2001	RO	500	0,117	0,13
Ποσειδωνιάς (Δήμος) 2	2002	RO (SW)	2x250	0,464	0,56
Ποσειδωνιάς (Δήμος) 2	2005	RO (SW)	2x500	0,574	0,45
Αγίου Γεωργίου (Δήμος)	2002	RO	500	0,102	0,30
Παξών (Δήμος) 1 ^η	2005	RO	330	0,260	0,51
Παξών (Δήμος) 2 ^η	2005	RO	150	0,162	0,59
Παξών (Δήμος) 3 ^η	2007	RO (SW)	250	0,211	0,51
Δυστίων (Δήμος)	2006	RO (BW)	400	0,200	0,30
Σίφνος (Δήμος)	2007	RO (SW)	250		
Ιος (Δήμος)	2003	RO (SW)	1000		
Ιθάκη (Δήμος)	2005	RO (SW)	200	0,220	
Οινουσών (Δήμος)	2005	RO (SW)	500		
Πόρου (Δήμος)	2006	RO (BW)	1000	0,200	0,30

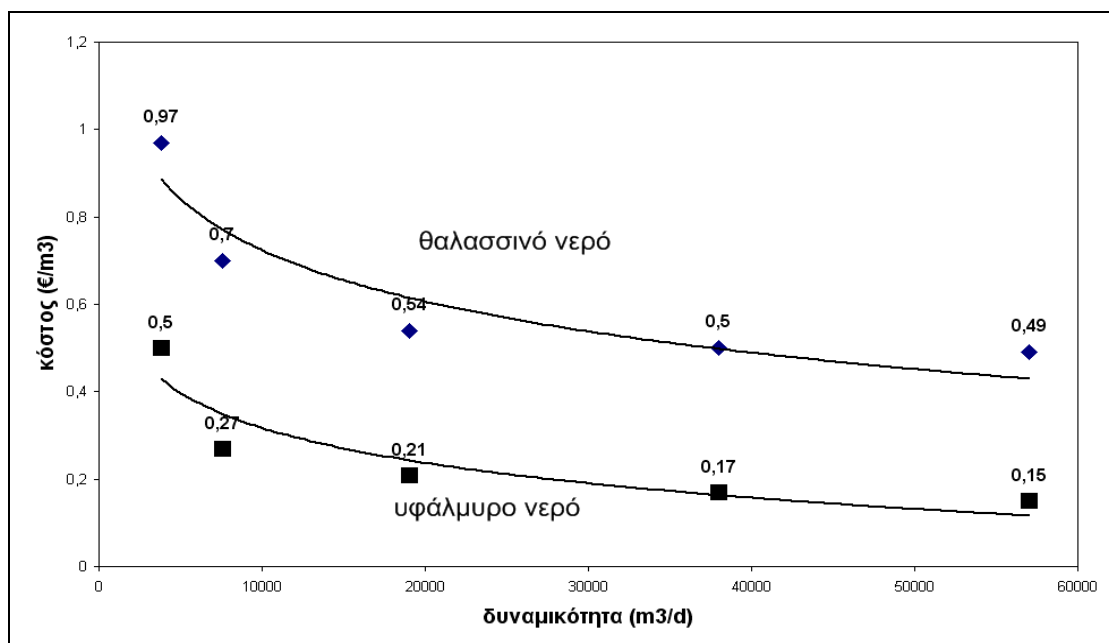
Συνοπτική παρουσίαση των μονάδων αφαλάτωσης στην Ελλάδα:

- ✓ Σύνολο μονάδων: 48
- ✓ Συνολική δυναμικότητα: 23.970 m³/d

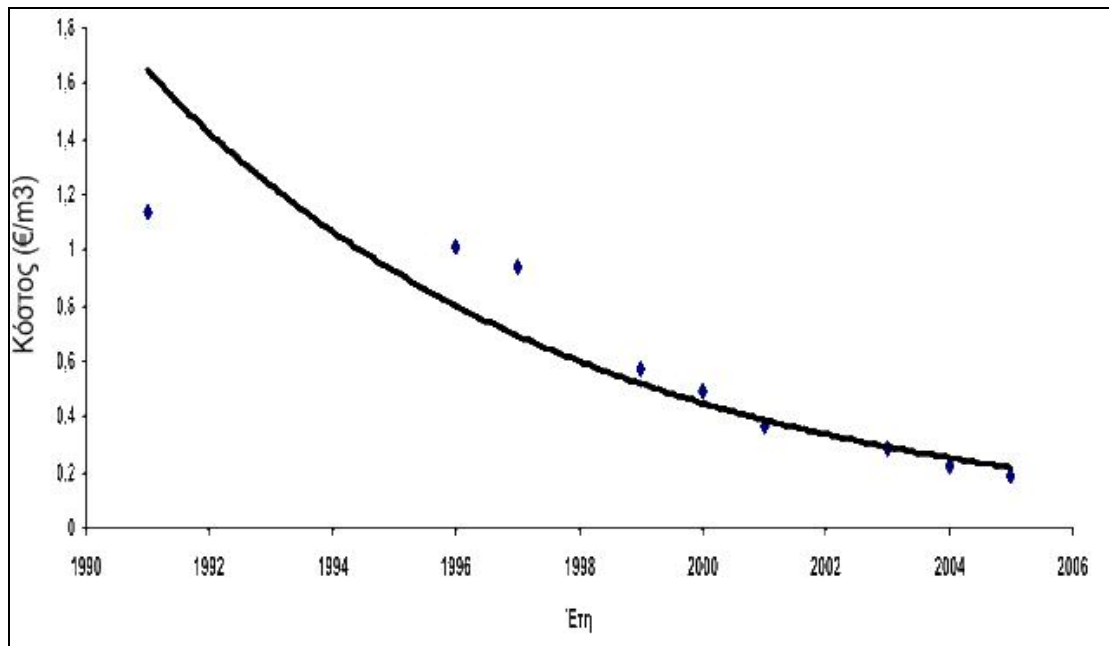
- ✓ Διακύμανση δυναμικότητας: 100 – 2000 m³/d
- ✓ Τύπος: RO
- ✓ Αποδοχή: καλή
- ✓ Διακύμανση κόστους: 0,30 – 2,70 €/m³
- ✓ Κατασκευαστές: CULLIGAN Hellas, TEMARK GR, CHRIST CH, MATRIX USA, κ.α.



Διαχρονική εξέλιξη της αφαλάτωσης στη Ελλάδα



Κόστος παραγωγής αφαλατωμένου νερού



Κόστος έργων αφαλάτωσης βασιζόμενο σε σειρά έργων που έχουν κατασκευαστεί τα τελευταία 15 χρόνια

Παρατηρούμε απ' τα παραπάνω διαγράμματα ότι το κόστος του παραγόμενου νερού φθίνει όσο αυξάνει η ποσότητα καθώς και με το πέρασμα του χρόνου, δηλαδή την ωρίμανση της τεχνολογίας.

Το κόστος του παραγόμενου νερού από τις μονάδες αφαλάτωσης στα Ελληνικά νησιά κυμαίνεται από 0,75 – 3 ευρώ ανά κυβικό μέτρο για το θαλάσσιο νερό, ενώ για υφάλμυρο το κόστος κυμαίνεται στα 0,40 ευρώ το κυβικό.

Να σημειωθεί ότι η πρώτη μονάδα αφαλάτωσης στην Ελλάδα εγκαινιάστηκε στη Σύμη στις 10 Οκτωβρίου 1964.

Τέλος, δεν μπορεί να παραλειφθεί η αναφορά στην «Υδριάδα», την πρώτη πλωτή μονάδα αφαλάτωσης στον κόσμο που είναι εξ' ολοκλήρου ελληνικής μελέτης και κατασκευής^[8]. Η «Υδριάδα» βρίσκεται στην Ηρακλειά των Μικρών Ανατολικών Κυκλάδων και έχει παραγωγή περίπου 70 m³/ημέρα, είναι ενεργειακά αυτόνομη, λόγω της ανεμογεννήτριας και των επικουρικών φωτοβολταϊκών που διαθέτει, ενώ τα έξοδα συντήρησης ανέρχονται σε μόλις 0,2 ευρώ ανά κυβικό μέτρο και ο έλεγχός της γίνεται εξ' αποστάσεως με σύστημα GPRS κινητής τηλεφωνίας. Η ομάδα που την κατασκεύασε ισχυρίζεται ότι θα ετοιμάσει άλλες τρεις πολύ μεγαλύτερες πλατφόρμες που θα παράγουν 200 κυβικά την ημέρα η καθεμία και θα εγκατασταθούν σε νησιά του Αιγαίου. Η κατασκευή αυτή έχει το σοβαρό πλεονέκτημα ότι μπορεί να τοποθετηθεί σε μεγάλη απόσταση από την στεριά, όπου ο άνεμος είναι ισχυρότερος, ενώ αντέχει σε δύσκολες καιρικές συνθήκες, οπότε η παραγωγή πόσιμου νερού είναι συνεχής.



Η «Υδριάδα», η πρώτη παγκοσμίως πλωτή μονάδα αφαλάτωσης

Κατασκευαστικά, αποτελείται από τέσσερις περιφερειακούς κυλινδρικούς πλωτήρες και έναν κεντρικό, συνδεδεμένους με μεταλλικό δίκτυωμα, σε μια γεωμετρία που να ελαχιστοποιεί την επίδραση των κυμάτων. Στους τρεις ορόφους του κεντρικού πλωτήρα βρίσκονται όλα τα συστήματα. Στον ένα όροφο λειτουργεί η μονάδα αφαλάτωσης, που βασίζεται στη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης. Στον ενδιάμεσο όροφο βρίσκεται το κέντρο ελέγχου, που παρέχει τη δυνατότητα χειρισμού της εξέδρας από απόσταση, ενώ ο κάτω όροφος χρησιμοποιείται ως δεξαμενή για την αποθήκευση του παραγόμενου πόσιμου νερού. Η «Υδριάδα» έχει ύψος μιας δεκαώροφης πολυκατοικίας, ζυγίζει 150 τόνους και κόστισε 2.800.000 ευρώ. Πάντως οι επόμενες «Υδριάδες» αναμένεται να κοστίζουν μέχρι 700.000 ευρώ.

Κεφάλαιο 3^ο

Αφαλάτωση με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης

1. Επιλογή καταλληλότερης μεθόδου αφαλάτωσης για τα δεδομένα της νήσου Σικίνου

Έχοντας υπόψη το μέγεθος του νησιού και τις μικρές καταναλώσεις νερού (περίπου 100 κυβ./ημέρα για 9 μήνες το χρόνο και από 300 έως 600 κυβ./ημέρα το καλοκαίρι), η προσφορότερη μέθοδος αφαλάτωσης είναι η αντίστροφη όσμωση για τους εξής λόγους:

- ✓ Μικρό μέγεθος μονάδας (τοποθέτηση σε container) αντί μεγάλης εγκατάστασης που θα προκαλούσε οπτική όχληση
- ✓ Μικρότερο κόστος αγοράς εξοπλισμού και εγκατάστασης και οικονομικότερη λειτουργία και συντήρηση
- ✓ Σχετικά απλή στη λειτουργία και τη συντήρηση
- ✓ Εύκολη επέκταση της μονάδας αν προκύψουν αυξημένες ανάγκες
- ✓ Χαμηλότερη κατανάλωση σε σχέση με τις μεθόδους εξάτμισης
- ✓ Δυνατότητα λειτουργίας με ανάκτηση ισχύος σε ποσοστό μέχρι και 50%
- ✓ Είναι ώριμη τεχνολογία και υπάρχει μεγάλη εμπειρία στη σχεδίαση και τοποθέτηση των μονάδων
- ✓ Καλή συνεργασία με ΑΠΕ (κυρίως με αιολικά, αφού η είσοδός της είναι ηλεκτρική ενέργεια)

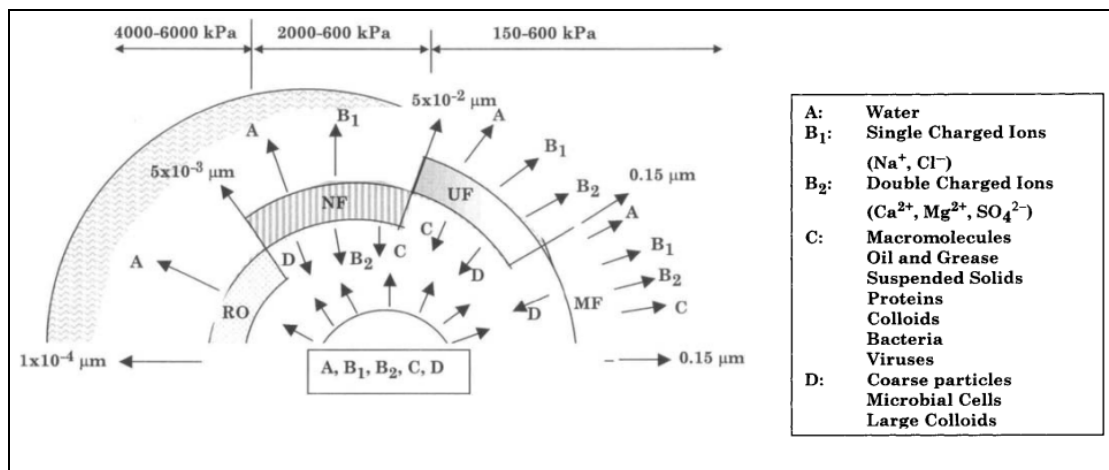
2. Εμβάθυνση στη λειτουργία και την τεχνολογία της αντίστροφης όσμωσης

Στο κεφάλαιο της αφαλάτωσης έγινε μια σύντομη μακροσκοπική περιγραφή της αντίστροφης όσμωσης στο πλαίσιο της σύγκρισης των μεθόδων αφαλάτωσης από πλευράς κόστους, κατανάλωσης ενέργειας και δυναμικότητας. Στη συνέχεια θα γίνει μια σε βάθος ανάλυση της τεχνολογίας αυτής και θα περιγραφούν ποσοτικά τα χαρακτηριστικά της.

α) Γενικά – διεργασίες διαχωρισμού με μεμβράνες – φυσική ερμηνεία

Κατ' αρχήν πρέπει να ξεκαθαριστεί^[20] ότι η αντίστροφη όσμωση δεν είναι η μοναδική διεργασία φίλτρανσης που έχει να κάνει με μεμβράνες σε βιομηχανική κλίμακα. Το σύνολο των διεργασιών αυτών περιλαμβάνει τις: microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration και την αντίστροφη όσμωση. Οι διαφορές τους αφορούν το μέγεθος των σωματιδίων που συγκρατούν οι μεμβράνες τους και φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Η μέθοδος φίλτρανσης	συγκρατεί σωματίδια με μέγεθος	
	από	εως
Microfiltration	-	0,15 μm
Ultrafiltration	0,15 μm	$5 \times 10^{-2} \mu\text{m}$
Nanofiltration	$5 \times 10^{-2} \mu\text{m}$	$5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$
αντίστροφη όσμωση	$5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$	$10^{-4} \mu\text{m}$

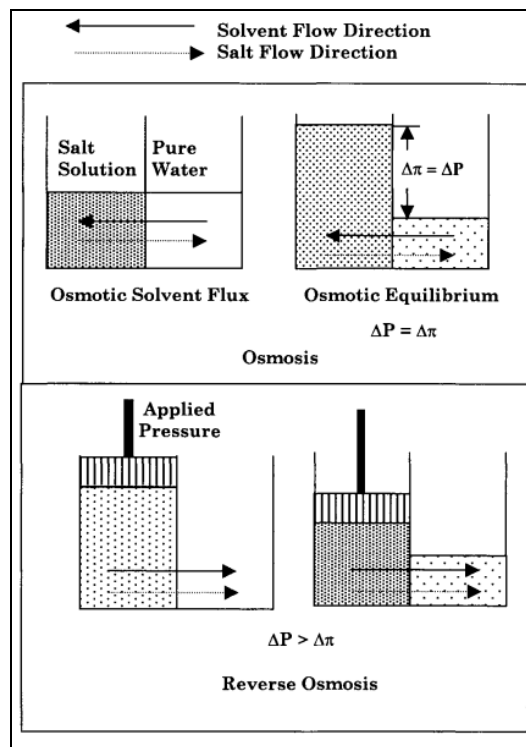


Διεργασίες διαχωρισμού με μεμβράνες και οι απαιτούμενες υδραυλικές πιέσεις σε σχέση με το μέγεθος των σωματιδίων

Η διαφοροποίηση της αντίστροφης όσμωσης από τις άλλες διεργασίες, ως συνέπεια της μεγαλύτερης ικανότητας διήθησης που έχει, είναι ότι ενώ οι υπόλοιπες φίλτράσεις (-filtration) διαχωρίζουν το υγρό από αιωρούμενα μικροσωματίδια, η αντίστροφη όσμωση διαχωρίζει το υγρό από διαλυμένα σε αυτό στερεά. Είναι η ανώτερη δυνατή φίλτραση που μπορεί να επιτευχθεί με μεμβράνες.

Εάν τοποθετήσουμε μια ιδανική ημιπερατή μεμβράνη σε δοχείο που περιέχει καθαρό νερό έτσι ώστε να το χωρίσει σε δυο μέρη, δεν θα υπάρξει μετακίνηση υγρού διαμέσου της μεμβράνης διότι δεν υπάρχει κάποιο αίτιο. Το αίτιο αυτό είναι, εφόσον οι υδροστατικές πιέσεις είναι ίσες, το χημικό δυναμικό. Το χημικό δυναμικό είναι συνάρτηση της πίεσης, της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης των διαλυμένων στερεών. Εάν διαλύσουμε αλάτι στο ένα μέρος το χημικό δυναμικό της πλευράς αυτής μειώνεται και άρα θα υπάρξει μετακίνηση καθαρού νερού από την άλλη πλευρά, διαμέσου της μεμβράνης (φαινόμενο της όσμωσης), έως ότου εξισωθούν πάλι τα χημικά δυναμικά ή μέχρι η υδροστατική πίεση, λόγω διαφοράς στάθμης, γίνει ίση και αντίθετη με την οσμωτική πίεση, οπότε η ροή θα σταματήσει. Προφανώς η άσκηση εξωτερικής πίεσης σε μια απ' τις δυο πλευρές θα έχει ως συνέπεια την συνέχιση του φαινομένου (αν ασκηθεί στην πλευρά του καθαρού νερού) ή την πρόωρη διακοπή του (αν ασκηθεί στην πλευρά του διαλύματος άλατος). Στην πλευρά που ασκείται η εξωτερική πίεση αυξάνεται το χημικό δυναμικό της. Αν μάλιστα η εξωτερική πίεση που θα ασκηθεί στην πλευρά του

διαλύματος είναι μεγαλύτερη από την οσμωτική (και άρα το χημικό δυναμικό γίνει μεγαλύτερο απ' αυτό του καθαρού νερού), θα αντιστραφεί το φαινόμενο και τότε ο διαλύτης (το νερό) θα διαπεράσει τη μεμβράνη προς την πλευρά του καθαρού νερού. Αυτή ακριβώς είναι η αντίστροφη όσμωση.



Τα φαινόμενα της όσμωσης και της αντίστροφης όσμωσης

β) Υπολογισμός οσμωτικής πίεσης

Η οσμωτική πίεση ενός διαλύματος είναι φυσική ιδιότητα του διαλύματος και δεν εξαρτάται από την εκάστοτε μεμβράνη, παρά μόνο απ' τη θερμοκρασία του και τη συγκέντρωση των διαλυμένων σ' αυτό στερεών. Ο τύπος που παρέχει την οσμωτική πίεση ενός διαλύματος είναι:

$$\pi = R \cdot T \cdot \sum X_i \quad (\text{τύπος του van't Hoff})$$

όπου

π είναι η οσμωτική πίεση (kPa)

T είναι η θερμοκρασία (K)

R είναι η παγκόσμια σταθερά των αερίων ίση με 8,314 kPa·m³/kgmol·K ή 0,082 lt·bar/mol·K

$\sum X_i$ είναι η συγκέντρωση όλων των συστατικών στο διάλυμα (kgmol/m³)

Μια συνήθης προσέγγιση της οσμωτικής πίεσης είναι ότι συγκέντρωση 1000 ppm συνολικών διαλυμένων στερεών (Total Dissolved Solids) δίνει 75,84 kPa οσμωτικής πίεσης, δηλαδή σχηματικά:

$$1000 \text{ ppm TDS} = 75,84 \text{ kPa οσμωτική πίεση}$$

Η οσμωτική πίεση του θαλασσινού νερού μπορεί να υπολογιστεί με καλή προσέγγιση ως εξής:

Η περιεκτικότητα του αλατιού στη θάλασσα είναι περίπου 33 gr/lit και για απλότητα θεωρούμε ότι είναι μόνο NaCl. Το ατομικό βάρος του νατρίου είναι 23 gr και του χλωρίου 35,5 gr, άρα το μοριακό βάρος του χλωριούχου νατρίου είναι 58,5 gr. Οπότε τα moles του NaCl στο θαλασσινό νερό είναι $33/58,5 = 0,564$ mol/lit. Όμως το NaCl διαλύεται σε ιόντα Na^+ και Cl^- , άρα η συγκέντρωση των ιόντων είναι διπλάσια, δηλαδή $2 \cdot 0,564 = 1,128$ mol/lit. Υποθέτοντας θερμοκρασία του νερού 15 °C ο τύπος του van't Hoff δίνει:

$$\pi_{\text{θαλ}} = 0,082 \cdot (273+15) \cdot 1,128 = 26,64 \text{ bar, δηλαδή σχεδόν 27 bar}$$

Η πίεση λειτουργίας μιας εγκατάστασης αντίστροφης όσμωσης καλείται να υπερνικήσει:

- την οσμωτική πίεση
- τις απώλειες τριβών
- την αντίσταση των μεμβρανών
- την πίεση εκροής του προϊόντος νερού

Αν η πίεση λειτουργίας είναι ίση ή λίγο μεγαλύτερη απ' το άθροισμα των αντιστάσεων αυτών, τότε η ροή διαμέσου της μεμβράνης θα είναι ελάχιστη ή μηδενική, άρα πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη απ' την οριακή αυτή τιμή, ώστε η διεργασία να είναι οικονομικά αξιοποιήσιμη.

γ) Απόρριψη του άλατος

Η απόρριψη του άλατος (Salt Rejection) ορίζεται ως:

$$SR = 100\% \left(1 - \frac{X_p}{X_f}\right)$$

όπου

X_f η συγκέντρωση του νερού τροφοδοσίας (feed)

X_p η συγκέντρωση του προϊόντος (permeate)

Για παράδειγμα, αν το νερό τροφοδοσίας είναι θαλασσινό συγκέντρωσης 42.000 ppm και το προϊόν έχει αλατότητα 150 ppm, η απόρριψη του άλατος θα είναι:

$$SR = 100\% (1 - 150 / 42.000) = 99,64 \%$$

Αν το νερό τροφοδοσίας είναι υφάλμυρο με αλατότητα 5.000 ppm και το προϊόν 150 ppm, η απόρριψη του άλατος θα είναι:

$$SR = 100\% (1 - 150 / 5.000) = 97 \%$$

Η υπάρχουσα τεχνολογία των μεμβρανών σήμερα μας παρέχει τιμές του SR μεγαλύτερες το 99 % τόσο για θαλασσινό όσο και για υφάλμυρο νερό. Να σημειωθεί ότι στις δυο αυτές περιπτώσεις οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται είναι διαφορετικές, επειδή αλλάζουν σημαντικά οι απαιτήσεις, όπως είδαμε στο πιο πάνω παράδειγμα.

δ) Ανάκτηση προϊόντος

Η ανάκτηση (recovery) ή λογος μετατροπής του τροφοδοτικού νερού σε προϊόν ορίζεται ως:

$$Y = 100\% \frac{M_p}{M_f}$$

όπου

Y το ποσοστό ανάκτησης (%)

M_f η παροχή του τροφοδοτικού νερού

M_p η παροχή του προϊόντος

Η τιμή του Y επηρεάζει την παροχή του προϊόντος και τη ροή του άλατος διαμέσου της μεμβράνης. Όσο το ποσοστό ανάκτησης μεγαλώνει, τόσο η συγκέντρωση του άλατος στη μεμβράνη, από την πλευρά της τροφοδοσίας, αυξάνει και έχει ως συνέπεια την αυξημένη ροή του άλατος στο προϊόν. Η αυξημένη συγκέντρωση άλατος στη μεμβράνη αυξάνει και την οσμωτική πίεση και άρα, για σταθερή πίεση λειτουργίας, ελαττώνεται ο ρυθμός παραγωγής προϊόντος.

Η ανάκτηση στις μεμβράνες ξεκίνησε από χαμηλά ποσοστά, της τάξης του 10 – 20% για να φτάσει σήμερα σε τιμές άνω του 50%. Αυτό οφείλεται αφενός στην ωρίμανση της τεχνολογίας σχεδίασης και κατασκευής των μεμβρανών, αφετέρου στην τοποθέτηση πολλαπλών σπειροειδών μεμβρανών στο ίδιο δοχείο πίεσης.

ε) Μεμβράνες

Οι μεμβράνες της αντίστροφης όσμωσης έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Αποτελούνται από ένα λεπτό φιλμ πολυμερούς υλικού με πάχος μερικές χιλιάδες Angstroms τοποθετημένο σε πορώδες πολυμερές
- Οι μεμβράνες του εμπορίου έχουν υψηλή διαπερατότητα στο νερό και υψηλό βαθμό ημιδιαπερατότητας, δηλαδή το κλάσμα της ροής του νερού προς τη ροή των διαλυμένων ιόντων είναι πολύ μεγάλο
- Πρέπει να έχουν σταθερή απόδοση σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών και pH, αλλά και καλή μηχανική αντοχή
- Οι μεμβράνες του εμπορίου έχουν διάρκεια ζωής 3 – 5 χρόνια, ανάλογα με τη μεμβράνη, την ποιότητα του τροφοδοτικού νερού και τη λειτουργία της εγκατάστασης

- Οι περισσότερες περιλαμβάνουν τις ουσίες *οξικά άλατα κυτταρίνης* (cellulose acetate, CA) και *πολυαμίδες* (polyamide, PA)
- Πολλές φορές η επιλογή της μεμβράνης γίνεται περισσότερο με κριτήριο τη συμβατότητα, παρά από τα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν την ικανότητα φίλτρανσης και τη ροή του νερού διαμέσου αυτής

Μεμβράνες από CA

Οι αρχικές CA μεμβράνες (τέλη του '50) αποτελούνταν μόνο από πολυμερή *δισοξικού άλατος κυτταρίνης* (cellulose diacetate), ενώ σήμερα κατασκευάζονται από μίγμα *δισοξικών και τρισοξικών αλάτων κυτταρίνης* (cellulose diacetate and triacetate). Τα στάδια κατασκευής μιας τέτοιας μεμβράνης περιλαμβάνουν τη χύτευση του λεπτού φιλμ, στη συνέχεια έκπλυση σε ψυχρό λουτρό και ανόπτηση σε υψηλή θερμοκρασία. Με τη χύτευση εξατμίζεται μέρος του διαλύτη, η ψυχρή έκπλυση απομακρύνει τον εναπομείναντα διαλύτη και άλλα περιττά υλικά, ενώ η ανόπτηση, που γίνεται με καυτό νερό θερμοκρασίας 60 – 90 °C, βελτιώνει την ημιπερατότητα της μεμβράνης.

Οι μεμβράνες που προκύπτουν έχουν ασύμμετρη κατασκευή με ένα πυκνό επιφανειακό στρώμα πάχους 0,1 – 0,2 μm το οποίο και αναλαμβάνει την απόρριψη του άλατος. Το υπόλοιπο τμήμα της μεμβράνης είναι πορώδες και έχει υψηλή διαπερατότητα στο νερό. Οι ιδιότητες της CA μεμβράνης (απόρριψη άλατος και ροή νερού) μπορούν να ρυθμιστούν κατά το στάδιο της ανόπτησης με μεταβολή της θερμοκρασίας και της διάρκειας αυτής.

Μεμβράνες από PA

Οι μεμβράνες αυτές αποτελούνται από δυο στρώματα, το πρώτο είναι ένα *πολυσουλφονικό πορώδες* (porous polysulfone) και το δεύτερο ένα ημιπερατό στρώμα από *αμίνες* (amine) και ομάδες *όξινων καρβοξυλικών χλωριδίων* (carboxylic acid chloride functional groups). Έτσι μπορεί να γίνει ξεχωριστή βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών της (απόρριψη άλατος και ροή νερού), σε σχέση με την CA που είναι ενιαία.

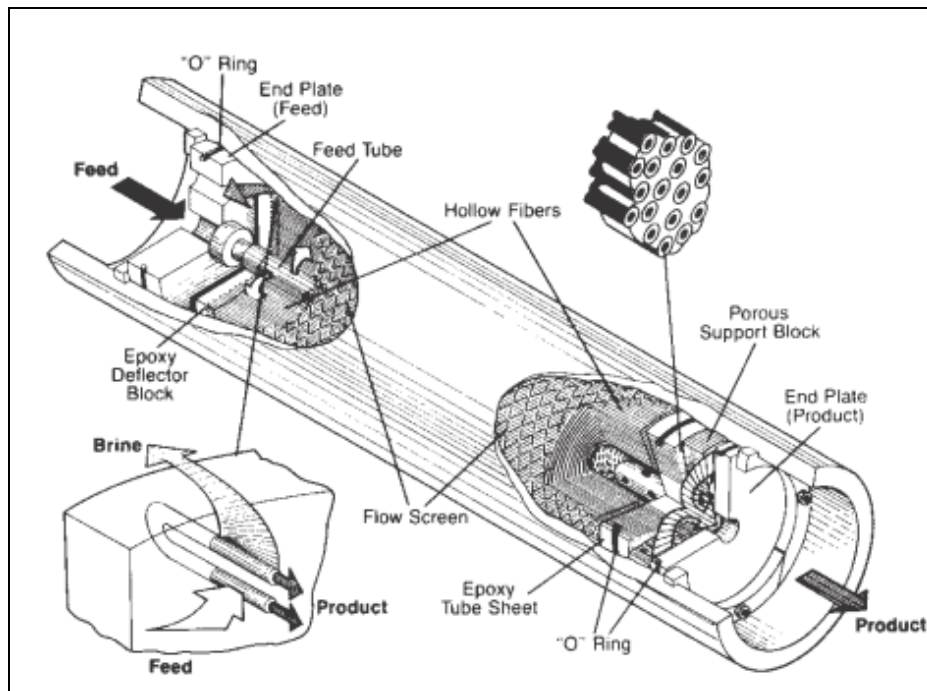
Οι μεμβράνες αυτές έχουν σταθερότερη συμπεριφορά σε ένα μεγάλο εύρος τιμών του pH, σε σχέση με τις CA, αλλά και διαβρώνονται πιο εύκολα από τα ελεύθερα χλώρια. Οι CA έχουν πιο λεία επιφάνεια σε σχέση με τις PA και αυτό τις καθιστά πιο κατάλληλες για εφαρμογές που έχουν πολλά διαλυμένα στερεά, όπως επιφανειακά ύδατα και αποχετεύσεις.

στ) Διαμορφώσεις μεμβρανών

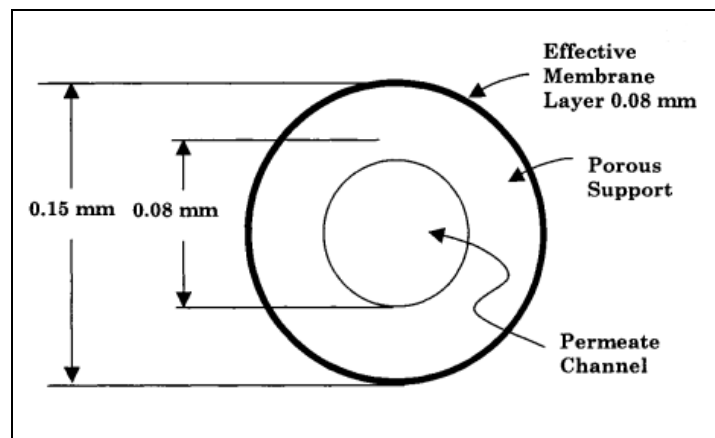
Δυο είναι οι πλέον χρησιμοποιούμενες διαμορφώσεις μεμβρανών στις εφαρμογές της αντίστροφης όσμωσης: τα *κοίλα νήματα* (Hollow Fine Fiber) και τα *σπειροειδή τυλίγματα* (Spiral Wound).

Διαμόρφωση κοίλων νημάτων

Στη διαμόρφωση αυτή οι μεμβράνες είναι δέσμες κοίλων (δηλαδή κούφιων) νημάτων από υλικό που μπορεί να περιέχει κυτταρίνες. Τα νήματα έχουν τη μορφή ανθρώπινης τρίχας με εσωτερική διάμετρο περίπου 42 μm και εξωτερική περίπου 85 μm , όπως στο παρακάτω σχήμα:



Μεμβράνη σε διαμόρφωση κοίλων νημάτων



Διαστάσεις κοίλου νήματος

Άρα τα νήματα στην ουσία είναι τριχοειδείς σωλήνες. Εκατομμύρια τέτοια νήματα δένονται μαζί και διπλώνονται στη μέση σε μήκος περίπου 120 cm. Ένας διάτρητος πλαστικός σωλήνας, που παίζει το ρόλο του διανομέα του τροφοδοτικού νερού, μπαίνει στο κέντρο της δέσμης καθόλο το μήκος της. Τα δυο άκρα της δέσμης συγκολλούνται και στο ένα άκρο σχηματίζεται μια επιφάνεια υφασματοειδής από τις απολήξεις των νημάτων, όπου και παραλαμβάνεται το προϊόν. Η δέσμη μαζί με τον πλαστικό σωλήνα έχουν διάμετρο 10 – 20 cm και τοποθετούνται στο δοχείο πίεσης, που είναι κυλινδρικό μήκους 135 – 140 cm και διαμέτρου 15 – 30 cm. Η σύνθεση αυτή

έχει τη μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια (επιφάνεια ανά μονάδα όγκου) απ' όλες τις διαμορφώσεις μεμβρανών.

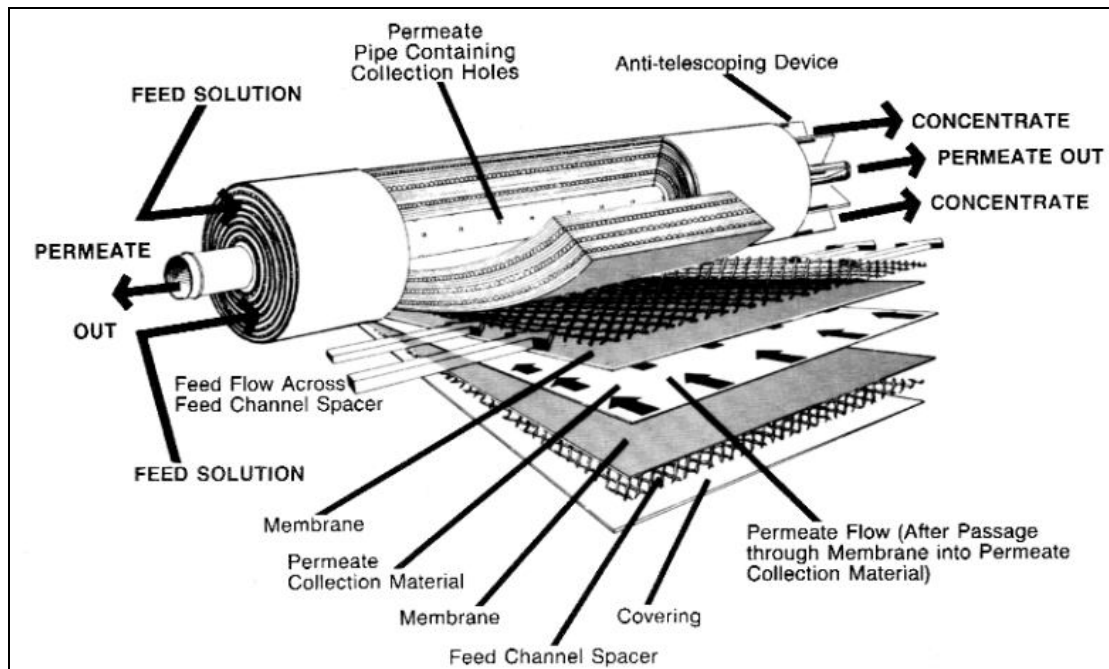
Το τροφοδοτικό νερό εισέρχεται όπως στο σχήμα διαμέσου του κεντρικού διάτρητου σωλήνα και εξαπλώνεται ακτινικά περνώντας μέσα από τους νηματοειδείς σωλήνες. Λόγω της υψηλής πίεσης εισδύει στο εσωτερικό των νημάτων, έχοντας φιλτραριστεί και παραλαμβάνεται από το ένα άκρο του δοχείου, ενώ η άλμη, που παραμένει στο εξωτερικό των νημάτων, παραλαμβάνεται από άλλη έξοδο.

Στη διαμόρφωση των κοίλων νημάτων η παροχή του προϊόντος ανά μονάδα επιφάνειας της μεμβράνης είναι χαμηλή, με αποτέλεσμα τα νήματα να λειτουργούν σε συνθήκες στρωτής ροής. Για το λόγο αυτό πρέπει να διατηρείται μια ελάχιστη τιμή ροής στην απόρριψη, ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή της συγκέντρωσης τροφοδοτικού νερού (άρα και άλμης) στην επιφάνεια όλων των νημάτων. Η διαμόρφωση αυτή μπορεί να λειτουργήσει με ανάκτηση 50% και να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ελάχιστης ροής απόρριψης.

Η διαμόρφωση των κοίλων νημάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υφάλμυρο και για θαλασσινό νερό. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις μεμβράνες αυτές είναι μίγματα CA και PA. Λόγω της πυκνής διάταξης των νημάτων και της βίαιης ροής που τα διαπερνά, το τροφοδοτικό νερό χρειάζεται περισσότερη προεπεξεργασία απ' ότι στη διαμόρφωση των σπειροειδών τυλιγμάτων, δηλαδή μικρότερο ποσοστό αιωρούμενων στερεών.

Διαμόρφωση σπειροειδών τυλιγμάτων

Σ' αυτή τη διαμόρφωση δυο επίπεδα φύλλα μεμβράνης διαχωρίζονται από ένα διάτρητο υλικό που συλλέγει το προϊόν νερό και σφραγίζονται στις τρεις πλευρές τους, με την τέταρτη να παραμένει ανοιχτή για τη συλλογή του προϊόντος. Ανάμεσά τους μπαίνει ένα πλέγμα που βοηθάει το τροφοδοτικό νερό στην κυκλοφορία. Πολλά πακέτα τέτοιων φύλλων τυλίγονται γύρω από έναν πλαστικό διάτρητο σωλήνα που συλλέγει τελικά το προϊόν από το σύνολο των μεμβρανών. Οι διαστάσεις μιας τυπικής εμπορικής διαμόρφωσης σπιράλ είναι 100 ως 150 cm μήκος και 10 ως 20 cm διάμετρος.



Μεμβράνη σε διαμόρφωση σπειροειδών τυλιγμάτων

Η πορεία του τροφοδοτικού νερού στην είσοδο μέχρι την έξοδο της άλμης είναι ευθεία γραμμή κατά την αξονική διεύθυνση, ενώ το προϊόν διαπερνάει κάθετα τις μεμβράνες κατά την ακτινική διεύθυνση. Το πλέγμα ανάμεσα στις μεμβράνες ενισχύει την τύρβη και μειώνει την επιλεκτική συγκέντρωση άλμης (πόλωση). Οι κατασκευαστές προτείνουν ανάκτηση 10 – 20 % ανά στοιχείο για το λόγο αυτό και η οποία ανάκτηση είναι συνάρτηση του μήκους της ευθείας πορείας του τροφοδοτικού νερού από την είσοδο ως την έξοδό του ως άλμη. Για να λειτουργήσει η εγκατάσταση με αποδεκτά ποσοστά παραγωγής νερού χρησιμοποιούνται τρεις εως οκτώ μεμβράνες σε ένα δοχείο πίεσης, με την άλμη που εξέρχεται από το ένα να γίνεται η τροφοδοσία του επόμενου. Η άλμη του τελευταίου στοιχείου εξέρχεται από το δοχείο και απορρίπτεται, ενώ το προϊόν από κάθε στοιχείο εισέρχεται στον συλλέκτη, δηλαδή τον κεντρικό αγωγό και παραλαμβάνεται ως συνολικό προϊόν. Με τη μέθοδο αυτή ένα μόνο δοχείο πίεσης με 4 ως 6 μεμβράνες στη σειρά μπορεί να δώσει προϊόν με ανάκτηση ως και 50 %.

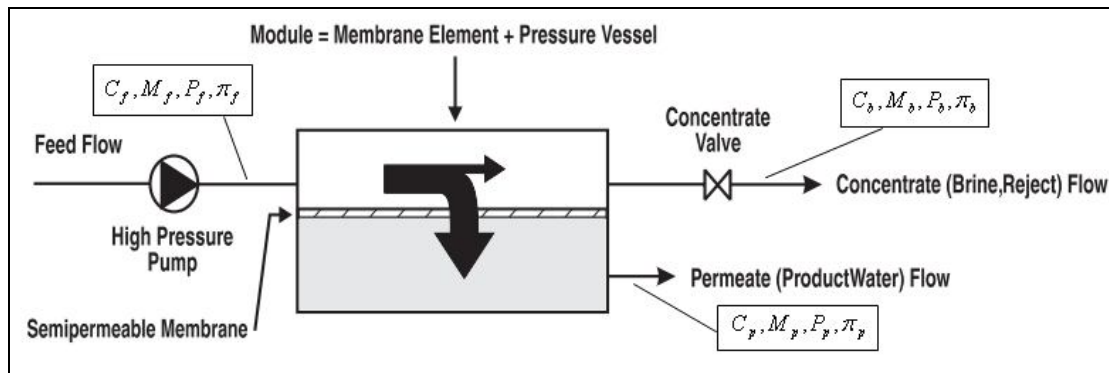
Οι σπειροειδείς διαμορφώσεις χρησιμοποιούν επίπεδες μεμβράνες από μίγμα δισοξικών και τρισοξικών αλάτων κυτταρίνης είτε από συνθετικό λεπτό φιλμ διαφόρων ενεργών πολυμερών με διαστρωμάτωση. Τα πολυμερή αυτά μπορεί να είναι πολυαμίδες, πολυσουλφίδια, πολυουρεθάνες και άλλα. Οι συνθετικές μεμβράνες παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόρριψη άλατος σε χαμηλές πιέσεις λειτουργίας σε σχέση με τις κυτταρίνες.

ζ) Μοντελοποίηση RO – εξισώσεις μεταφοράς μάζας

Εδώ παρουσιάζεται ένα απλό μοντέλο για τη λειτουργία της RO. Οι απλοποιητικές παραδοχές που γίνονται είναι:

- ✓ μόνιμη κατάσταση και ισόθερμη λειτουργία

- ✓ οι συντελεστές διαπερατότητας του νερού και του άλατος είναι ανεξάρτητοι της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης
- ✓ περίπου ίσοι συντελεστές διαπερατότητας για τα διάφορα ιόντα του άλατος
- ✓ η ροή του άλατος διαμέσου της μεμβράνης είναι αμελητέα μπροστά σ' αυτή του νερού
- ✓ η συγκέντρωση του άλατος απ' την πλευρά της τροφοδοσίας μεταβάλλεται γραμμικά κατά μήκος της μεμβράνης
- ✓ η συγκέντρωση του άλατος στο νερό σε οποιαδήποτε στιγμή και θέση είναι ομοιόμορφη



Σχηματική λειτουργία συσκευής αντίστροφης όσμωσης

Μάζα προϊόντος και άλατος

Η μάζα του προϊόντος και του άλατος βρίσκονται απ' τις παρακάτω σχέσεις:

$$M_f = M_p + M_b$$

$$C_f M_f = C_p M_p + C_b M_b$$

όπου

M_f είναι η παροχή μάζας του τροφοδοτικού νερού (kg/s)

M_p είναι η παροχή μάζας του προϊόντος (kg/s)

M_b είναι η παροχή μάζας της άλμης (kg/s)

C_f είναι η αλατότητα του τροφοδοτικού νερού (kg/m³)

C_p είναι η αλατότητα του προϊόντος (kg/m³)

C_b είναι η αλατότητα της άλμης (kg/m³)

Μεταφορά του νερού

Η μεταφορά του νερού διαμέσου της ημιπερατής μεμβράνης δίνεται από τη σχέση:

$$M_p = (\Delta P - \Delta \pi) K_w A$$

όπου

M_p είναι η ροή του νερού μέσα από τη μεμβράνη (m^3/s)

ΔP είναι η διαφορά της οσμωτικής πίεσης εκατέρωθεν της μεμβράνης (kPa)

K_w είναι ο συντελεστής διαπερατότητας του νερού ($m^3/m^2 \text{ s kPa}$)

A είναι το εμβαδό της επιφάνειας της μεμβράνης (m^2)

Να διευκρινιστεί ότι στην προηγούμενη εξίσωση οι όροι ΔP και $\Delta \pi$ παριστούν τη διαφορά υδραυλικής και οσμωτικής πίεσης αντίστοιχα εκατέρωθεν της μεμβράνης, πιο συγκεκριμένα:

$$\Delta P = \bar{P} - P_p$$

$$\Delta \pi = \bar{\pi} - \pi_p$$

όπου

P_p και π_p είναι η υδραυλική και η οσμωτική πίεση αντίστοιχα του προϊόντος
 \bar{P} και $\bar{\pi}$ είναι η μέση υδραυλική και οσμωτική πίεση αντίστοιχα στην πλευρά της τροφοδοσίας και δίνονται απ' τις σχέσεις:

$$\bar{P} = \frac{1}{2}(P_f + P_b)$$

$$\bar{\pi} = \frac{1}{2}(\pi_f + \pi_b)$$

όπου

P_f και π_f είναι η υδραυλική και η οσμωτική πίεση αντίστοιχα στην τροφοδοσία
 P_b και π_b είναι η υδραυλική και η οσμωτική πίεση αντίστοιχα στην απόρριψη

Μεταφορά του άλατος

Η μεταφορά του άλατος διαμέσου της ημιπερατής μεμβράνης δίνεται από τη σχέση:

$$M_s = (\bar{C} - C_p) K_s A$$

όπου

M_s είναι η ροή του άλατος μέσα από τη μεμβράνη (kg/s)

K_s είναι ο συντελεστής διαπερατότητας της μεμβράνης για το αλάτι ($m^3/m^2 \text{ s}$)

C_p είναι η ολική συγκέντρωση των διαλυμένων στερεών στο προϊόν (kg/m^3)

A είναι το εμβαδό της επιφάνειας της μεμβράνης (m^2)

Ο όρος \bar{C} δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{C} = \frac{M_f C_f + M_b C_b}{M_f + M_b}$$

όπου C_f και C_b είναι οι συγκεντρώσεις του άλατος στην τροφοδοσία και στην άλμη αντίστοιχα

Απ' τις παραπάνω σχέσεις διαπιστώνουμε ότι για μια δεδομένη μεμβράνη:

- η ροή του νερού μέσα από αυτήν είναι ανάλογη με τη διαφορά πίεσης ($\Delta P - \Delta \pi$) στα άκρα της
- η ροή του άλατος είναι ανάλογη με τη διαφορά των συγκεντρώσεων ($\bar{C} - C_p$) στα άκρα της και είναι ανεξάρτητη της εφαρμοζόμενης πίεσης (διότι γίνεται με διάχυση)

Η αλατότητα του προϊόντος εξαρτάται απ' τους ρυθμούς μεταφοράς νερού και άλατος διαμέσου της μεμβράνης:

$$C_p = \frac{M_s}{M_p}$$

Το γεγονός ότι το νερό και το αλάτι έχουν διαφορετικούς ρυθμούς μεταφοράς μάζας διαμέσου μιας μεμβράνης δημιουργεί το φαινόμενο της απόρριψης του άλατος. Καμία μεμβράνη δεν είναι ιδανική με την έννοια ότι απορρίπτει πλήρως το αλάτι, αλλά με την αύξηση της πίεσης αυξάνουμε το ρυθμό μεταφοράς μάζας του νερού σε σχέση με αυτόν του άλατος και το προϊόν έχει λιγότερη αλατότητα.

3. Επιλογή συστήματος αφαλάτωσης του εμπορίου για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης της Σικίνου

Θα χρησιμοποιήσουμε μεμβράνες της εταιρείας FILMTEC™ [22] που είναι ευρέως δοκιμασμένες σε παγκόσμιο επίπεδο. Σύμφωνα με το τεχνικό εγχειρίδιο της εταιρείας, που βρίσκεται στην ιστοσελίδα <http://www.dow.com/liquidseps/lit/techman.htm>, πρέπει να ακολουθηθούν ορισμένα βήματα για τη σχεδίαση του συστήματος αφαλάτωσης με αντίστροφη όσμωση.

Βήμα 1^ο : Καθορισμός τύπου και ποιότητας νερού τροφοδοσίας, παροχή και ποιότητα προϊόντος

Το νερό που θα τροφοδοτήσει τη μονάδα είναι βέβαια θαλασσινό με χημική ανάλυση που φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Χημική ανάλυση θαλασσινού νερού της Σίκινο

Ιόντα		mg/l	όρια (mg/l)
Ammonium	(NH ₄)	0	0,5
Potassium	(K)	381	12
Sodium	(Na)	12155	175
Magnesium	(Mg)	1402	50
Calcium	(Ca)	455	-
Strontium	(Sr)	21	-
Barium	(Ba)	0,02	-
Carbonate	(CO ₃)	13	-
Bicarbonate	(HCO ₃)	140	-
Nitrate	(NO ₃)	0	50
Chloride	(Cl)	21107	200
Fluoride	(F)	1,1	1,5
Sulfate	(SO ₄)	2840	250
Silica	(SiO ₂)	1,2	-
Boron	(B)	2	1

Επειδή δεν έχει γίνει χημική ανάλυση του νερού στη Σίκινο, οι παραπάνω τιμές έχουν προκύψει από αντίστοιχη ανάλυση σε διάφορες ακτές της νήσου Μήλου^[23], που βρίσκεται πολύ κοντά στη Σίκινο και άρα μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα. Για την ακρίβεια είναι οι μέσες τιμές του συνόλου των μετρήσεων.

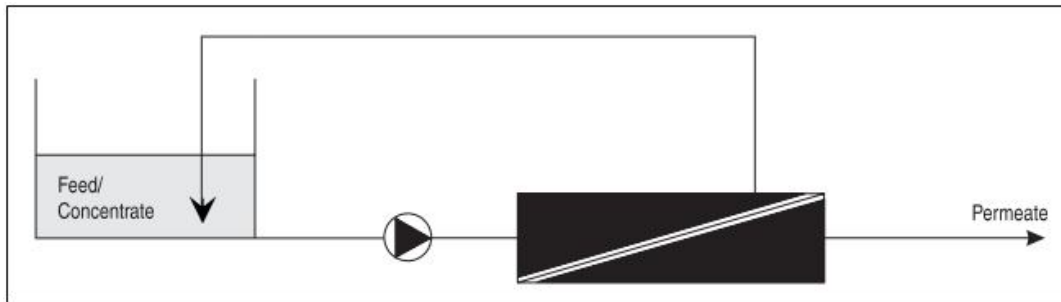
Βήμα 2^ο : Καθορισμός τρόπου ροής και αριθμός περασμάτων

Ο απλούστερος τρόπος είναι η συνεχής ροή με ένα πέρασμα από τις μεμβράνες. Ανάλογα με το είδος της εφαρμογής και τις απαιτήσεις ποιότητας του προϊόντος μπορεί η τροφοδοσία να είναι διακοπτόμενη (βιομηχανικά ή δημοτικά απόβλητα), οπότε μέρος της άλμης επιστρέφει σε μια δεξαμενή και αναμιγνύεται με το τροφοδοτικό νερό για να καλύψει τις ασυνέχειες στην παροχή τροφοδοσίας, μπορεί να είναι ενός στοιχείου με επανακυκλοφορία, ενός σταδίου ή πολλαπλών σταδίων. Οι περιπτώσεις αυτές απεικονίζονται στα παρακάτω σχήματα:



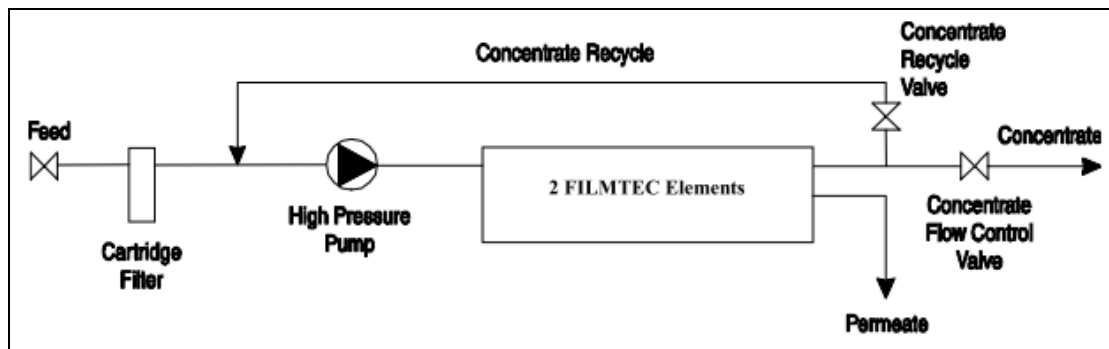
Συνεχής λειτουργία (continuous RO process)

Εδώ έχουμε δυο διακριτές εξόδους, το προϊόν και την άλμη.



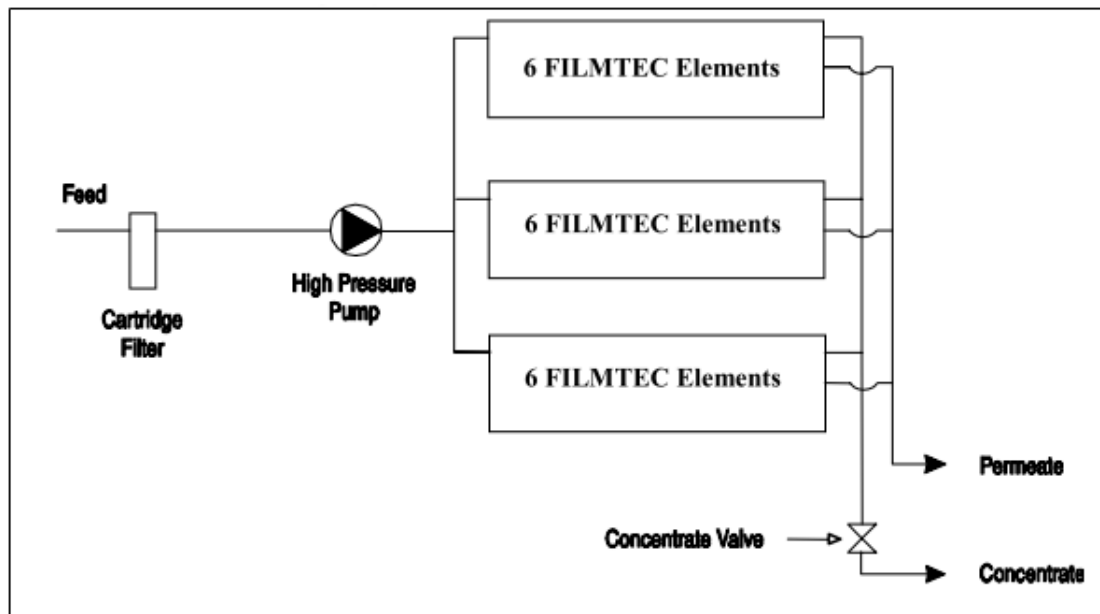
Διακοπτόμενη λειτουργία (batch RO process)

Εδώ η άλμη επιστρέφει στην τροφοδοσία για να φιλτραριστεί ξανά, μέσα σε δεξαμενή όμως, λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας.



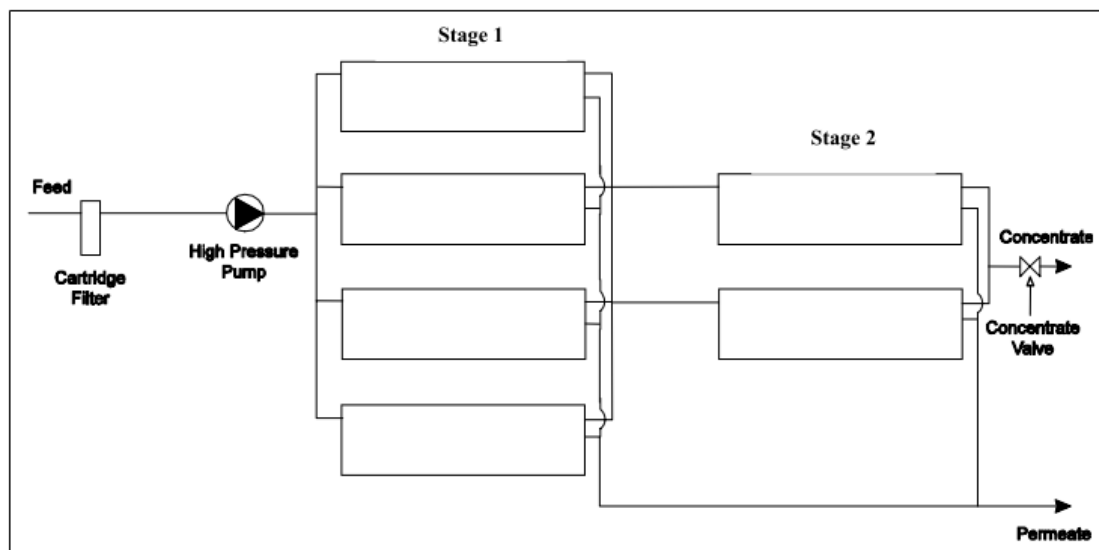
Λειτουργία ενός στοιχείου με επανακυκλοφορία (single module system)

Η περίπτωση αυτή διαφέρει απ' την προηγούμενη στο ότι δεν υπάρχει δεξαμενή (συνεχής λειτουργία) και ότι ένα ποσοστό μόνο της άλμης επιστρέφει στην τροφοδοσία.



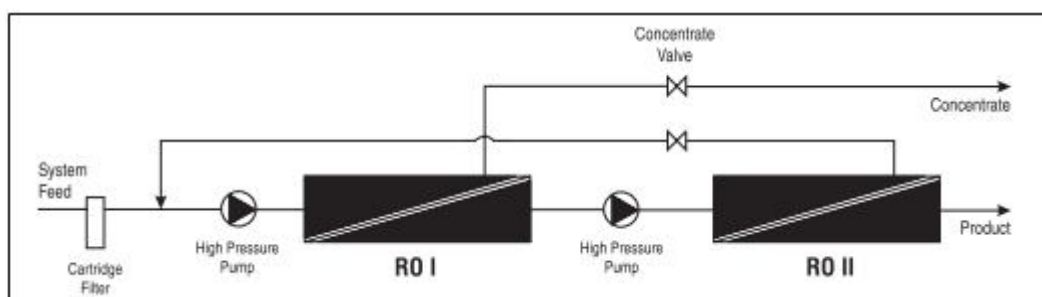
Λειτουργία ενός σταδίου – πολλαπλών στοιχείων (single stage system)

Στην περίπτωση αυτή η ίδια τροφοδοσία μοιράζεται σε περισσότερα του ενός στοιχεία, τα οποία έχουν κοινή έξοδο για την άλμη και για το προϊόν (διαφορετικές βέβαια μεταξύ τους).



Λειτουργία πολλαπλών σταδίων (multi stage system)

Εδώ προστίθεται άλλο ένα στάδιο ή και περισσότερα στην προηγούμενη περίπτωση και η άλμη που εξέρχεται από τα στοιχεία του πρώτου σταδίου εισέρχεται ως τροφοδοσία στα στοιχεία του δεύτερου σταδίου, ενώ το προϊόν είναι κοινό για τα δυο στάδια.



Λειτουργία διπλού περάσματος του προϊόντος (permeate staged system)

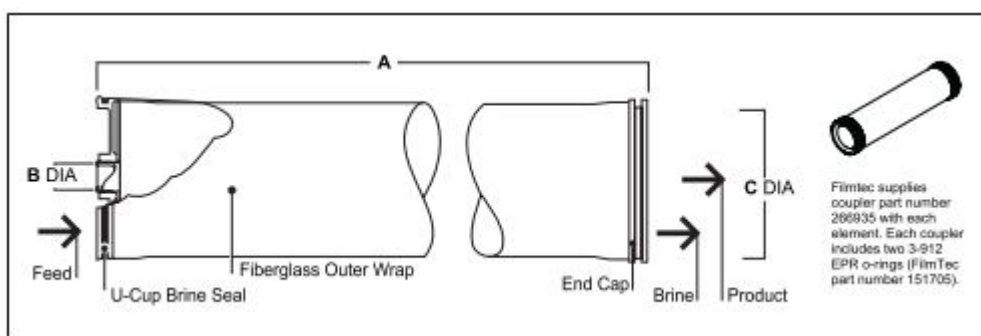
Τέλος υπάρχει η περίπτωση που το προϊόν, αφού εξέλθει από το πρώτο στοιχείο, εισέρχεται ως τροφοδοσία στο δεύτερο, για περαιτέρω φίλτρανση. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις για το προϊόν, όπως για ιατρική χρήση. Επίσης η άλμη που εξέρχεται απ' το δεύτερο στοιχείο αναμιγνύεται με την τροφοδοσία, μιας και είναι γενικά καλύτερης ποιότητας από αυτή.

Η επιλογή της μεθόδου θα γίνει με τη βοήθεια των επόμενων βημάτων.

Βήμα 3^ο : Επιλογή κατάλληλης μεμβράνης

Η εταιρεία προτείνει για τη δεδομένη χρήση (πόσιμο νερό κοινότητας, υδροληψία ανοικτής θάλασσας) τη μεμβράνη *FILMTEC SW30HR-320*, η οποία έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Μεμβράνη FILMTEC SW30HR-320		
Τύπος μεμβράνης		Συνθετική, λεπτού φιλμ από πολυαμίδες
Ενεργός επιφάνεια	(m ²)	30
Μέγιστη πίεση λειτουργίας	(bar)	83
Μέγιστη παροχή προϊόντος	(m ³ /ημέρα)	23
Ελάχιστη παροχή άλμης	(m ³ /hr)	3,4
Μέγιστη παροχή τροφοδοσίας	(m ³ /hr)	13
Ελάχιστη απόρριψη άλατος	(%)	99,60
Σταθερή απόρριψη άλατος	(%)	99,75
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας	(°C)	45
Μέγιστη πτώση πίεσης ανά στοιχείο	(bar)	1
Εύρος pH για συνεχή λειτουργία		2 – 11
Εύρος pH για συντήρηση (30 min.)		1 – 13
Όριο ελεύθερου χλωρίου		< 0,1 ppm
SDI (Silt Density Index)		< 5
Διαστάσεις (mm)		
A		1016
B		29
C		201
Κόστος : \$ 1000 (περίπου)		



Διαστάσεις μεμβράνης FILMTEC SW30HR-320

Σύμφωνα με την εταιρεία, οι μεμβράνες με το χαρακτηριστικό HR (High Rejection) έχουν υψηλό λόγο απόρριψης άλατος (99,75% η συγκεκριμένη) με αποτέλεσμα να μη χρειάζεται περίπλοκη εγκατάσταση και πολλά στοιχεία με επανακυκλοφορία του προϊόντος. Επίσης παρουσιάζει μικρή πτώση πίεσης ανά στοιχείο (< 1,0 bar) και λειτουργεί σε μεγάλο εύρος pH, τόσο κατά τη μόνιμη λειτουργία όσο και κατά τη συντήρηση.

Βήμα 4^ο : Επιλογή μέσης ροής του συστήματος

Η επιλογή αυτή γίνεται από εμπειρικά δεδομένα που βρίσκονται στον Πίνακα 3.4 του τεχνικού εγχειριδίου της εταιρείας και για τη μεμβράνη που έχουμε επιλέξει έχει την τιμή $f = 11 - 17 \text{ lt/m}^2\text{hr}$. Οι τιμές που δίνει η εταιρεία έχουν προκύψει από την υπάρχουσα εμπειρία και είναι ένα μέτρο – όριο που σχετίζεται με τη φθορά της μεμβράνης από τις διαλυμένες ουσίες που

περιέχονται στο τροφοδοτικό νερό και οι οποίες συσσωρεύονται στην επιφάνειά της. Αν δεν τηρηθεί το όριο αυτό τότε θα αυξηθούν οι απαιτούμενες συντηρήσεις και κατά συνέπεια τα λειτουργικά κόστη.

Βήμα 5° : Υπολογισμός του αναγκαίου αριθμού στοιχείων (μεμβρανών)

Σύμφωνα με την εταιρεία ο αριθμός των στοιχείων που απαιτούνται υπολογίζεται απ' τον τύπο:

$$N_E = \frac{Q_P}{f \cdot S_E}$$

όπου

N_E = ο αριθμός των αναγκαίων στοιχείων

Q_P = η απαιτούμενη παροχή προϊόντος, για τη Σίκινο: $600 \text{ m}^3/\text{day}$

f = η μέση ροή του συστήματος (Βήμα 4), επιλέγουμε τη μέση τιμή: $15 \text{ lt}/\text{m}^2\text{hr}$

S_E = η ονομαστική επιφάνεια της μεμβράνης, για την SW30HR-320 : 30 m^2

Άρα ο παραπάνω τύπος δίνει:

$$N_E = \frac{600 \text{ m}^3 / \text{day}}{15 \text{ lt} / \text{m}^2 \text{ hr} \cdot 30 \text{ m}^2} = \frac{600 \text{ m}^3 / 24 \text{ hr}}{15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ hr} \cdot 30 \text{ m}^2} = 55,55$$

Άρα, στρογγυλοποιώντας προς τα πάνω, χρειαζόμαστε 56 στοιχεία (μεμβράνες)

Βήμα 6° : Υπολογισμός του αριθμού των δοχείων πίεσης

Ο αριθμός των δοχείων πίεσης δίνεται από τον τύπο:

$$N_V = \frac{N_E}{N_{EpV}}$$

όπου

N_V = ο αριθμός των δοχείων πίεσης

N_E = ο αριθμός των στοιχείων απ' το Βήμα 5

N_{EpV} = ο αριθμός των στοιχείων ανά δοχείο πίεσης

Σε μεγάλα συστήματα μπορούν να μπουν 6 ή και 8 μεμβράνες σε ένα δοχείο πίεσης. Επειδή έχουμε $N_E = 56$ μεμβράνες, είναι καλύτερα να τοποθετήσουμε $N_{EpV} = 7$ στοιχεία ανά δοχείο, για να προκύψει ακέραιος αριθμός, άρα χρειαζόμαστε $N_V = 8$ δοχεία πίεσης.

Βήμα 7° : Υπολογισμός του αριθμού των σταδίων

Όπως είδαμε ο αριθμός των σταδίων καθορίζει πόσα δοχεία πίεσης σε σειρά θα διαπεράσει το τροφοδοτικό νερό μέχρι να εξέλθει απ' το σύστημα ως

άλμη και να απορριφθεί. Κάθε στάδιο αποτελείται από έναν αριθμό δοχείων πίεσης εν παραλλήλω. Ο αριθμός των σταδίων είναι συνάρτηση του επιθυμητού λόγου ανάκτησης του συστήματος, του αριθμού των στοιχείων ανά δοχείο και της ποιότητας του τροφοδοτικού νερού. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος ανάκτησης και όσο χειρότερη η ποιότητα της τροφοδοσίας, τόσο μεγαλύτερη διαδρομή χρειάζεται να περάσει το νερό και άρα περισσότερα στάδια και μεμβράνες. Για το θαλασσινό νερό η εταιρεία προτείνει τον παρακάτω πίνακα:

Αριθμός σταδίων RO για θαλασσινό νερό		
Ανάκτηση συστήματος (%)	Αριθμός στοιχείων σε σειρά	Αριθμός σταδίων για 6 στοιχεία ανά δοχείο
35 – 40	6	1
45	7 – 12	2
50	8 – 12	2
55 – 60	12 – 14	2

Οπότε για λόγο ανάκτησης περίπου 50% θα χρειαστούν 2 στάδια.

Βήμα 8^ο : Υπολογισμός του λόγου διαβάθμισης (staging ratio)

Η σχέση του αριθμού των δοχείων πίεσης στα διαδοχικά στάδια ονομάζεται λόγος διαβάθμισης:

$$R = \frac{N_V(i)}{N_V(i+1)}$$

Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα δυο σταδίων με 4 δοχεία στο πρώτο στάδιο και δυο δοχεία στο δεύτερο, ο λόγος διαβάθμισης θα είναι 2:1. Σε σύστημα θαλασσινού νερού δυο σταδίων με 6 στοιχεία ανά δοχείο, ο τυπικός λόγος διαβάθμισης είναι 3:2. Η ιδανική διαβάθμιση σε ένα σύστημα είναι όταν κάθε στάδιο λειτουργεί στο ίδιο κλάσμα του λόγου ανάκτησης του συστήματος, με την προϋπόθεση όλα τα δοχεία να περιέχουν τον ίδιο αριθμό στοιχείων.

Ο λόγος διαβάθμισης ενός συστήματος με n στάδια και λόγο ανάκτησης Y, υπολογίζεται απ' τον τύπο:

$$R = \left[\frac{1}{(1-Y)} \right]^{\frac{1}{n}}$$

Άρα για λόγο ανάκτησης 50% και 2 στάδια παίρνουμε:

$$R = \left[\frac{1}{(1-0,50)} \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{2} \cong 1,414$$

Για ένα σύστημα δυο σταδίων, όπως αυτό που επιλέξαμε, ο αριθμός των δοχείων πίεσης σε κάθε στάδιο είναι:

$$N_V(1) = \frac{N_V}{1 + R^{-1}} = \frac{8}{1 + 1,414^{-1}} = 3,314$$

δηλαδή πρακτικά $N_V(1) = 4$ και άρα $N_V(2) = 4$ (στρογγυλοποίηση προς τα πάνω).

Άρα έχουμε ένα σύστημα με 50% ανάκτηση, που αποτελείται από δυο στάδια, το πρώτο στάδιο περιέχει 4 δοχεία πίεσης, το δεύτερο στάδιο περιέχει επίσης 4 δοχεία και το κάθε δοχείο έχει 7 μεμβράνες, σύνολο 56 στοιχεία με παροχή προϊόντος 600 m³/ημέρα.

Βήμα 9^ο : Εξισορρόπηση της ροής του προϊόντος

Η ροή του προϊόντος είναι συνήθως χαμηλότερη στα τελευταία στοιχεία, δηλαδή αυτά που βρίσκονται κοντύτερα στην έξοδο της άλμης, από αυτά στην είσοδο της τροφοδοσίας. Αυτό είναι αποτέλεσμα της πτώσης πίεσης στο κανάλι της τροφοδοσίας μέχρι την έξοδο του προϊόντος, λόγω του περάσματος απ' τις μεμβράνες, αλλά και της αύξησης της οσμωτικής πίεσης από την τροφοδοσία μέχρι την έξοδο της άλμης. Υπό ορισμένες συνθήκες ο λόγος της ροής του προϊόντος στο πρώτο και στο τελευταίο στοιχείο μπορεί να πάρει πολύ υψηλές τιμές:

- Υψηλό ποσοστό ανάκτησης
- Μεγάλη αλατότητα στην τροφοδοσία
- Χαμηλή πίεση στις μεμβράνες
- Υψηλή θερμοκρασία νερού
- Καινούργιες μεμβράνες

Ο σκοπός μιας καλής σχεδίασης είναι να εξισορροπήσει τη ροή σε όλες τις θέσεις. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί ως εξής:

- ✓ Αύξηση της πίεσης τροφοδοσίας μεταξύ των σταδίων (για αποτελεσματικότερη διαχείριση της ενέργειας)
- ✓ Για σύστημα δυο σταδίων να εφαρμοστεί μια υποπίεση στο προϊόν μόνο στο πρώτο στάδιο (οικονομική λύση)
- ✓ Υβριδικό σύστημα: στα πρώτα στάδια μεμβράνες χαμηλότερης διαπερατότητας νερού και στα τελευταία στάδια υψηλότερης διαπερατότητας νερού

Η μέθοδος της εξισορρόπησης (αν χρειαστεί) μπορεί να προσδιοριστεί μετά την ανάλυση και βελτιστοποίηση του συστήματος με το πρόγραμμα ROSA (βλ. παρακάτω).

Βήμα 10^ο : Ανάλυση και βελτιστοποίηση του συστήματος

Υπάρχουν δυο μέθοδοι για να γίνουν οι υπολογισμοί των παραμέτρων του συστήματος. Είναι η επίλυση των εξισώσεων «στοιχείο προς στοιχείο» και η επίλυση ολόκληρου του συστήματος.

Για την πρώτη μέθοδο πρέπει να είναι γνωστές όλες οι παράμετροι που αφορούν το πρώτο στοιχείο (μεμβράνη) και θέτοντας μια αρχική τιμή για την πίεση τροφοδοσίας, υπολογίζονται στοιχείο προς στοιχείο όλες οι τιμές μέχρι την έξοδο της άλμης και του προϊόντος (οι παράμετροι εξόδου του στοιχείου i είναι οι παράμετροι εισόδου του στοιχείου $(i+1)$). Αξιολογώντας τα αποτελέσματα μπορεί να προκύψει ότι η αρχική τιμή της πίεσης ήταν πολύ μεγάλη ή πολύ μικρή, οπότε τίθεται μια νέα τιμή και οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται. Η μέθοδος αυτή είναι κοπιαστική για επίλυση με το χέρι, αλλά προσφέρεται για προγραμματισμό σε Η/Υ.

Στη μέθοδο επίλυσης ολόκληρου του συστήματος χρησιμοποιούνται μέσες τιμές για την πίεση τροφοδοσίας και την ποιότητα του προϊόντος, εάν η ποιότητα της τροφοδοσίας, η θερμοκρασία, η ροή του προϊόντος και ο αριθμός των στοιχείων είναι γνωστά. Εάν δοθεί η πίεση τροφοδοσίας αντί για τον αριθμό των στοιχείων, αυτός μπορεί να υπολογιστεί με λίγες επαναλήψεις.

Στο Παράρτημα II παραθέτονται οι εξισώσεις για κάθε μέθοδο. Τις εξισώσεις αυτές θα τις επιλύσει αριθμητικά το πρόγραμμα ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) για Η/Υ, που παρέχει η εταιρεία FILMTEC στην ιστοσελίδα <http://www.dow.com/liquidseps/design/rosa.htm> και το οποίο βρίσκεται στην έκδοση 6.1.5.

Τα δεδομένα που εισάγουμε είναι: η ποιότητα του νερού τροφοδοσίας (Βήμα 1), η παροχή του προϊόντος ($600 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$), ο επιθυμητός λόγος ανάκτησης (50%), η επιλεγμένη μεμβράνη (SW30HR-320) και τα χαρακτηριστικά της (Βήμα 3), ο αριθμός των στοιχείων (56) (Βήμα 5), ο αριθμός των δοχείων πίεσης (8) (Βήμα 6) με 7 στοιχεία ανά δοχείο, ο αριθμός των σταδίων (2) (Βήμα 7) μαζί με την πληροφορία ότι το πρώτο στάδιο περιέχει 4 δοχεία όπως και το δεύτερο στάδιο, καθώς και τη θερμοκρασία λειτουργίας ($25 \text{ }^\circ\text{C}$). Το πρόγραμμα λαμβάνει επιπρόσθετα ως δεδομένα (τα οποία όμως μπορούν να τροποποιηθούν) το βαθμό απόδοσης της αντλίας (80%) και το συντελεστή επικαθίσεων στη μεμβράνη (85%).

Αποτελέσματα ανάλυσης

Καταρχήν πρέπει να διευκρινιστεί ότι η ανάλυση έγινε για τη μέγιστη παραγωγή του συστήματος, δηλαδή 600 κυβικά/ημέρα . Τα αποτελέσματα της επίλυσης των εξισώσεων του συστήματος από το ROSA φαίνονται αναλυτικά παρακάτω:

Παροχή τροφοδοτικού νερού στο 1 ^ο στάδιο	1200 m ³ /day	TDS τροφοδοσίας	39225,61 mg/l
Παροχή προϊόντος	599,98 m ³ /day	Αριθμός μεμβρανών	56
Πίεση τροφοδοσίας	67,01 bar	Μέση ροή	15,02 lt/m ² hr
Συντελεστής επικαθίσεων	0.85	Οσμωτική πίεση: παροχής άλμης μέση	27,96 bar 58,25 bar 43,11 bar
Ολική ενεργός επιφάνεια	1664,77 m ²	Μέση απαιτούμενη πίεση	20,28 bar
Ανάκτηση συστήματος	50%	Ισχύς	116,35 kW
Θερμοκρασία τροφοδοσίας	25 °C	Ενέργεια	4,65 kWh/m ³

Στάδιο	1	2
Αριθμός δοχείων πίεσης	4	4
Αριθμός μεμβρανών/δοχείο	7	7
Παροχή τροφοδοσίας (m ³ /d)	1200,00	742,48
Πίεση τροφοδοσίας (bar)	66,66	64,30
Παροχή άλμης (m ³ /d)	742,48	600,02
Πίεση άλμης (m ³ /d)	64,65	63,12
Παροχή προϊόντος (m ³ /d)	457,52	142,47
Μέση ροή (lt/m ² hr)	22,90	7,13
TDS προϊόντος (mg/lt)	145,05	592,30

Πίνακας συγκεντρώσεων ιόντων (mg/lt)							
Ιόντα	Τροφοδοσία	Προσαρμοσμένη τροφοδοσία	Άλμη		Προϊόν		Σύνολο
			Στάδιο 1	Στάδιο 2	Στάδιο 1	Στάδιο 2	
NH ₄	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K	381,00	381,00	614,64	758,74	1,84	7,73	3,24
Na	12155,00	12155,00	19612,87	24219,05	51,96	213,29	90,27
Mg	1402,00	1402,00	2265,03	2801,49	1,42	5,66	2,43
Ca	455,00	455,00	735,09	909,20	0,45	1,82	0,78
Sr	21,00	21,00	33,93	41,96	0,02	0,08	0,04
Ba	0,02	0,02	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00
CO ₃	7,64	7,64	14,38	18,78	0,00	0,00	0,00
HCO ₃	140,00	140,00	221,73	271,55	0,88	3,05	1,38
NO ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cl	21107,00	21810,21	35196,95	43470,75	85,47	350,65	148,44
F	1,10	1,10	1,77	2,19	0,01	0,02	0,01
SO ₄	2840,00	2840,00	4589,31	5677,92	1,13	4,44	1,92
SiO ₂	1,20	1,20	1,93	2,39	0,01	0,03	0,01
B	2,00	2,00	3,04	3,53	0,32	0,96	0,48

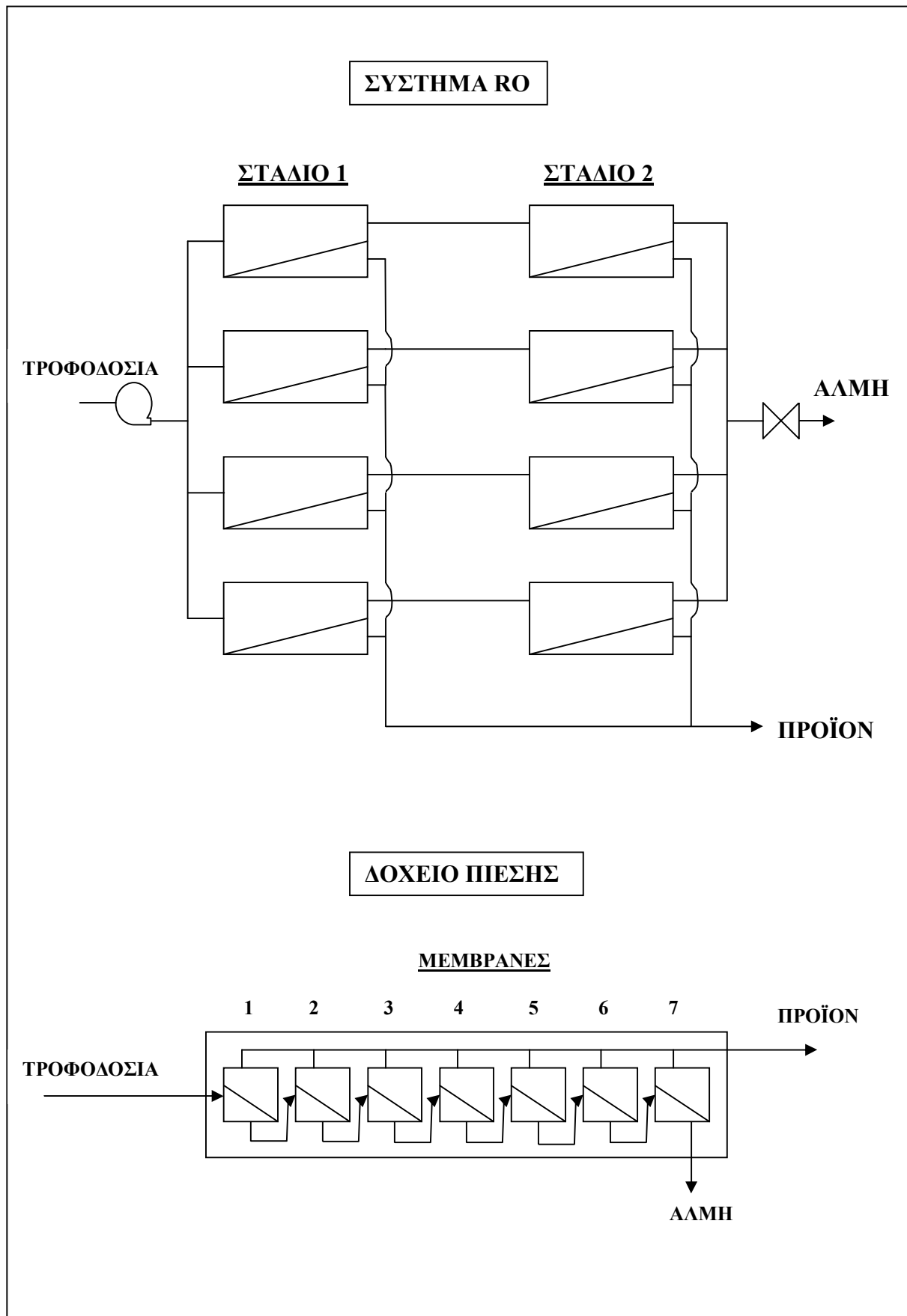
CO ₂	1,74	1,73	2,94	3,68	2,06	3,13	2,32
TDS	38522,41	39225,61	63305,02	78194,22	145,05	592,30	251,24
pH	7,60	7,60	7,62	7,70	5,79	6,10	5,92

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ		
Ιόντα	Συγκέντρωση στο προϊόν (mg/lit)	Ανώτατη επιτρεπόμενη συγκέντρωση^(*) (mg/lit)
NH ₄	0,00	0,5
K	3,24	12
Na	90,27	200
Mg	2,43	50
Ca	0,78	-
Sr	0,04	-
Ba	0,00	-
CO ₃	0,00	-
HCO ₃	1,38	-
NO ₃	0,00	50
Cl	148,44	250
F	0,01	1,5
SO ₄	1,92	250
SiO ₂	0,01	-
B	0,48	1,0
CO ₂	2,32	-
TDS	251,24	1500
pH	5,92	6,5 – 9,5

^(*) Κοινή Υπουργική Απόφαση Υ2/2600/2001 – ΦΕΚ-892 Β'/11-7-01

Παρατηρούμε ότι όλες οι τιμές είναι εντός προδιαγραφών, εξαιρουμένης της τιμής του pH, άρα στο στάδιο της μετεπεξεργασίας θα γίνει διόρθωση της οξύτητας.

Σκαρίφημα της εγκατάστασης μαζί με τις παραμέτρους που την περιγράφουν φαίνεται παρακάτω:



Σκαρίφημα του συστήματος αντίστροφης όσμωσης και λεπτομέρεια του δοχείου πίεσης

Στο πρώτο από τα δυο σχήματα, δηλαδή το σύστημα, φαίνονται η αντλία τροφοδοσίας (υψηλής πίεσης) και τα 2 στάδια που περιλαμβάνουν από 4 δοχεία με 7 μεμβράνες έκαστο. Η άλμη από το πρώτο στάδιο αποτελεί την τροφοδοσία των δοχείων του δευτέρου σταδίου, ενώ το κοινό προϊόν των δοχείων του πρώτου σταδίου αναμιγνύεται με το επίσης κοινό προϊόν του δευτέρου σταδίου και παραλαμβάνεται ως τελικό προϊόν του συστήματος. Η άλμη του δευτέρου σταδίου, κοινή για όλα τα δοχεία, απορρίπτεται.

Στο δεύτερο σχήμα, δηλαδή το δοχείο πίεσης, φαίνεται η εσωτερική διασύνδεση των μεμβρανών, όπου το προϊόν είναι κοινό, ενώ η άλμη του πρώτου είναι η τροφοδοσία του δευτέρου κ.ο.κ.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ 1^{ΟΥ} ΣΤΑΔΙΟΥ						
ΜΕΜΒΡΑΝΗ	ΑΝΑΚΤΗΣΗ	ΡΟΗ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ (m³/day)	TDS ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ (mg/l)	ΡΟΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (m³/day)	TDS ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (mg/l)	ΠΙΕΣΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (bar)
1	0,08	22,92	86,29	300,00	39225,61	66,66
2	0,07	20,65	102,32	277,08	42462,87	66,27
3	0,07	18,39	122,30	256,43	45873,87	65,92
4	0,07	16,16	147,37	238,05	49407,28	65,61
5	0,06	14,03	178,79	221,89	52994,20	65,34
6	0,06	12,03	218,38	207,86	56558,65	65,09
7	0,05	10,21	267,98	195,83	60019,21	64,86

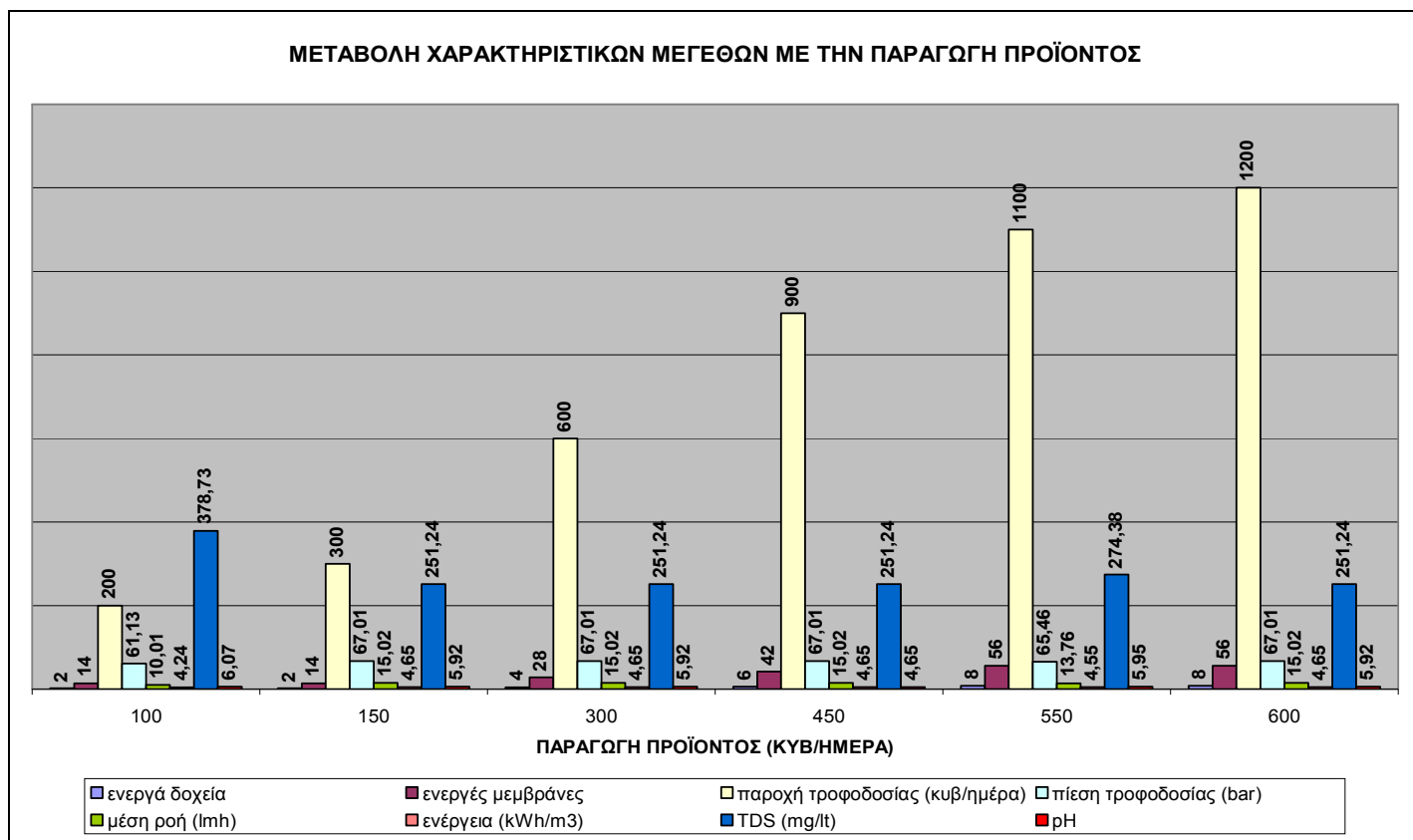
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ 2^{ΟΥ} ΣΤΑΔΙΟΥ						
ΜΕΜΒΡΑΝΗ	ΑΝΑΚΤΗΣΗ	ΡΟΗ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ (m³/day)	TDS ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ (mg/l)	ΡΟΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (m³/day)	TDS ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (mg/l)	ΠΙΕΣΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ (bar)
1	0,05	8,47	334,05	185,62	63305,02	64,30
2	0,04	7,01	415,16	177,15	66314,28	64,11
3	0,03	5,77	516,56	170,15	69028,38	63,92
4	0,03	4,72	642,55	164,38	71431,15	63,75
5	0,02	3,87	796,44	159,66	73525,26	63,58
6	0,02	3,17	982,91	155,79	75331,21	63,43
7	0,02	2,61	1204,12	152,62	76876,34	63,27

Στη συνέχεια θα γίνουν υπολογισμοί και για διαφορετικές τιμές της παροχής προϊόντος, που ανταποκρίνονται στις ανάγκες παραγωγής άλλων μηνών, χωρίς να δοθούν όλα τα στοιχεία της ανάλυσης, παρά μόνο ένας συγκριτικός πίνακας των κυριότερων μεγεθών.

Όνομαστική παροχή προϊόντος (m ³ /day)		100	150	300	450	550	600
Παροχή προϊόντος (m ³ /day)		100,02	150,00	299,99	449,99	549,93	599,98
Ενεργά δοχεία	Στάδιο 1	1	1	2	3	4	4
	Στάδιο 2	1	1	2	3	4	4
Ενεργές μεμβράνες (σύνολο)		14	14	28	42	56	56
Παροχή τροφοδοσίας (m ³ /day)		200,00	300,00	600,00	900,00	1100,00	1200,00
Πίεση τροφοδοσίας (bar)		61,13	67,01	67,01	67,01	65,46	67,01
Ολική ενεργός επιφάνεια (m ²)		416,19	416,19	832,38	1248,58	1664,77	1664,77
Μέση ροή (lt/m ² hr)		10,01	15,02	15,02	15,02	13,76	15,02
Μέση οσμωτική πίεση (bar)		43,06	43,11	43,11	43,11	43,09	43,11
Ισχύς (KW)		17,69	29,09	58,18	87,26	104,20	116,35
Ενέργεια (KWh/m ³)		4,24	4,65	4,65	4,65	4,55	4,65
TDS (mg/lt)		378,73	251,24	251,24	251,24	274,38	251,24
pH		6,07	5,92	5,92	4,65	5,95	5,92

Πίνακας μεταβολής βασικών παραμέτρων με την παραγωγή προϊόντος

Η μεταβολή των παραπάνω μεγεθών με την παραγωγή προϊόντος φαίνεται εποπτικά στο παρακάτω διάγραμμα:



Όπως είδαμε και στο 1^ο Κεφάλαιο στην κατανάλωση του νερού, τα δυο πρώτα πακέτα μεγεθών χαρακτηρίζουν τη λειτουργία της μονάδας για 9 μήνες του χρόνου (από Σεπτέμβριο έως και Μάιο), τα τρία επόμενα αντιστοιχούν στους καλοκαιρινούς μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο αντίστοιχα, ενώ το τελευταίο είναι το μέγιστο που μπορεί να πιάσει η αφαλάτωση και ίσως χρειαστεί για μερικές ημέρες του Αυγούστου.

Κεφάλαιο 4^ο

Ενεργειακή κάλυψη του νησιού από αιολικά

1. Υπολογισμός απαιτούμενης ενέργειας για την αφαλάτωση

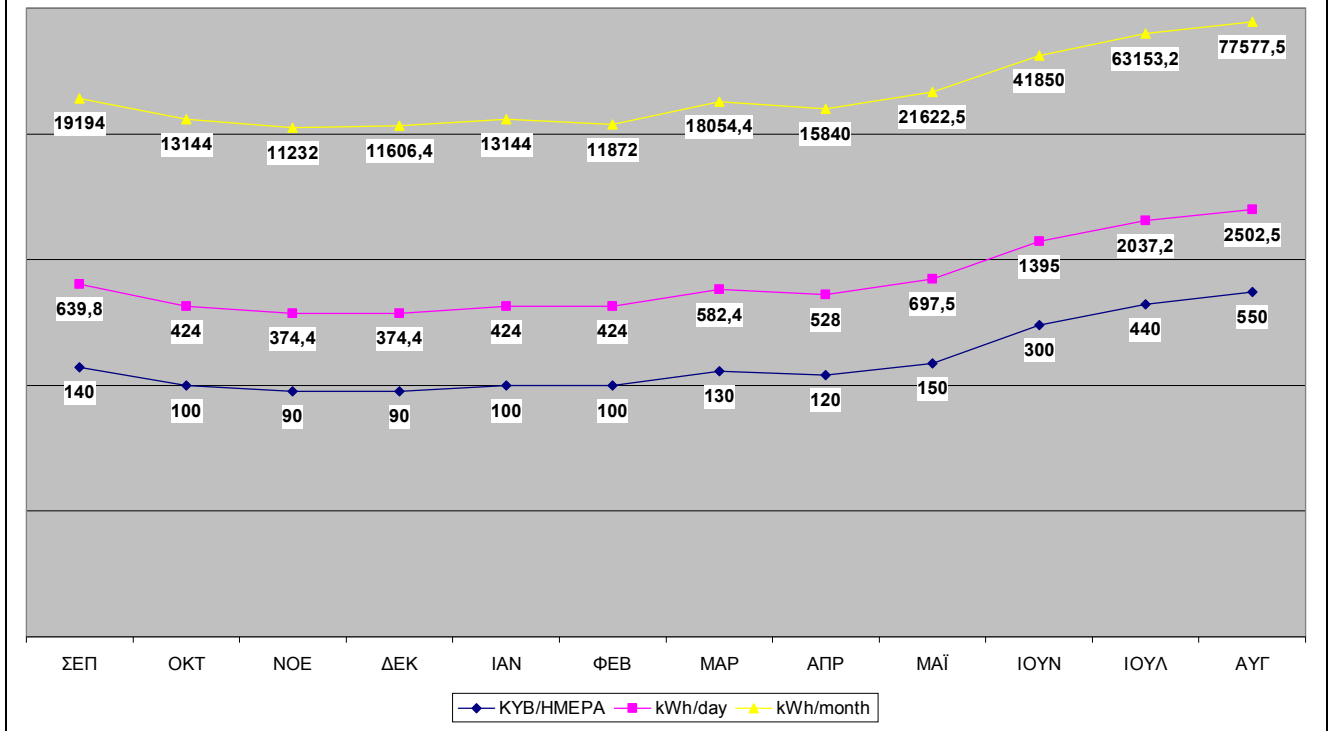
Σύμφωνα με τα στοιχεία που υπάρχουν για τη ζήτηση του νερού (1^ο Κεφάλαιο, Παράρτημα Ι) και την κατανάλωση ενέργειας από την αφαλάτωση (3^ο Κεφάλαιο), έχοντας δηλαδή θεωρήσει σταθερή ημερήσια παραγωγή και κατανάλωση νερού που μεταβάλλεται μόνο με το μήνα, μπορούμε να υπολογίσουμε τις ημερήσιες ανάγκες της αφαλάτωσης σε ενέργεια για όλο το χρόνο.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

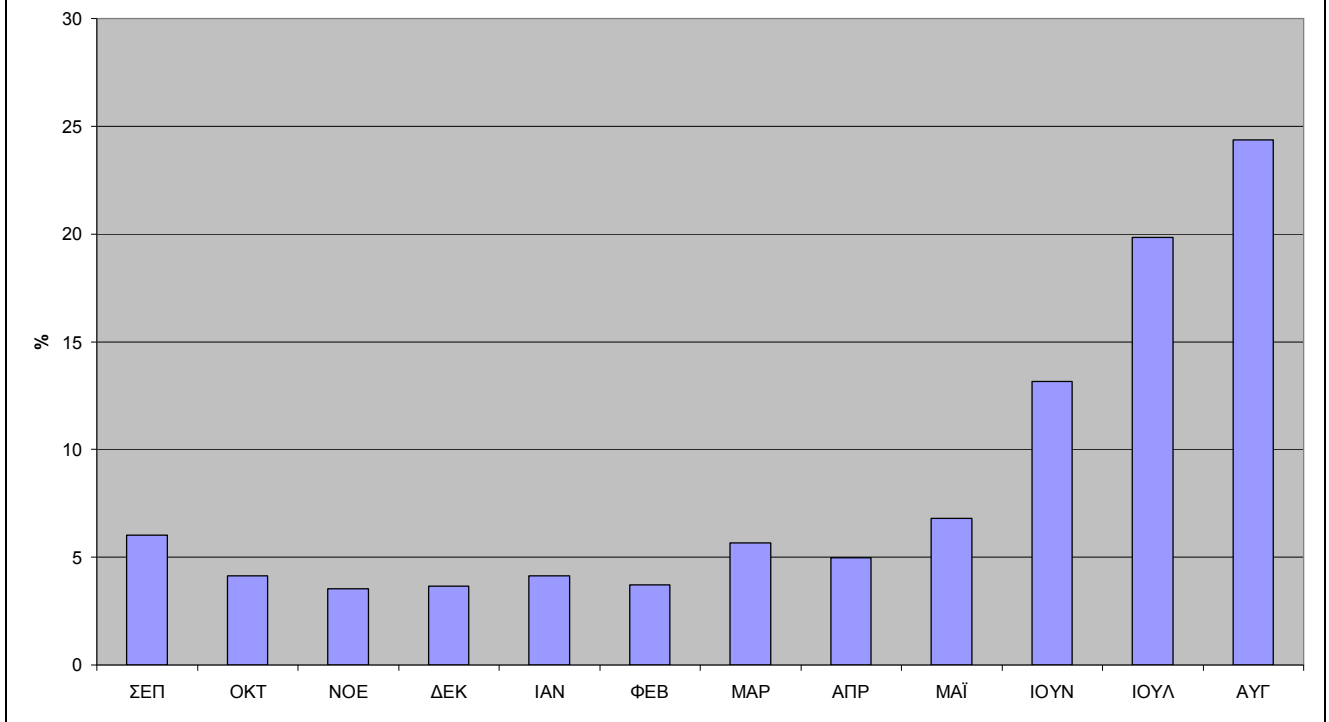
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΝΕΡΟΥ (m ³ /day)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (KWh/m ³)	ΗΜΕΡΕΣ/ΜΗΝΑ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ/ΗΜΕΡΑ (KWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ/ΜΗΝΑ (KWh)
ΣΕΠ	140	4,57	30	639,8	19194
ΟΚΤ	100	4,24	31	424	13144
ΝΟΕ	90	4,16	30	374,4	11232
ΔΕΚ	90	4,16	31	374,4	11606,4
ΙΑΝ	100	4,24	31	424	13144
ΦΕΒ	100	4,24	28	424	11872
ΜΑΡ	130	4,48	31	582,4	18054,4
ΑΠΡ	120	4,4	30	528	15840
ΜΑΙ	150	4,65	31	697,5	21622,5
ΙΟΥΝ	300	4,65	30	1395	41850
ΙΟΥΛ	440	4,63	31	2037,2	63153,2
ΑΥΓ	550	4,55	31	2502,5	77577,5
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΤΟΥΣ : 318.290 KWh ≈ 320 MWh					

Υπολογισμός απαιτούμενης ενέργειας από την αφαλάτωση

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ



ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΤΗΣΙΑ = 320 MWh

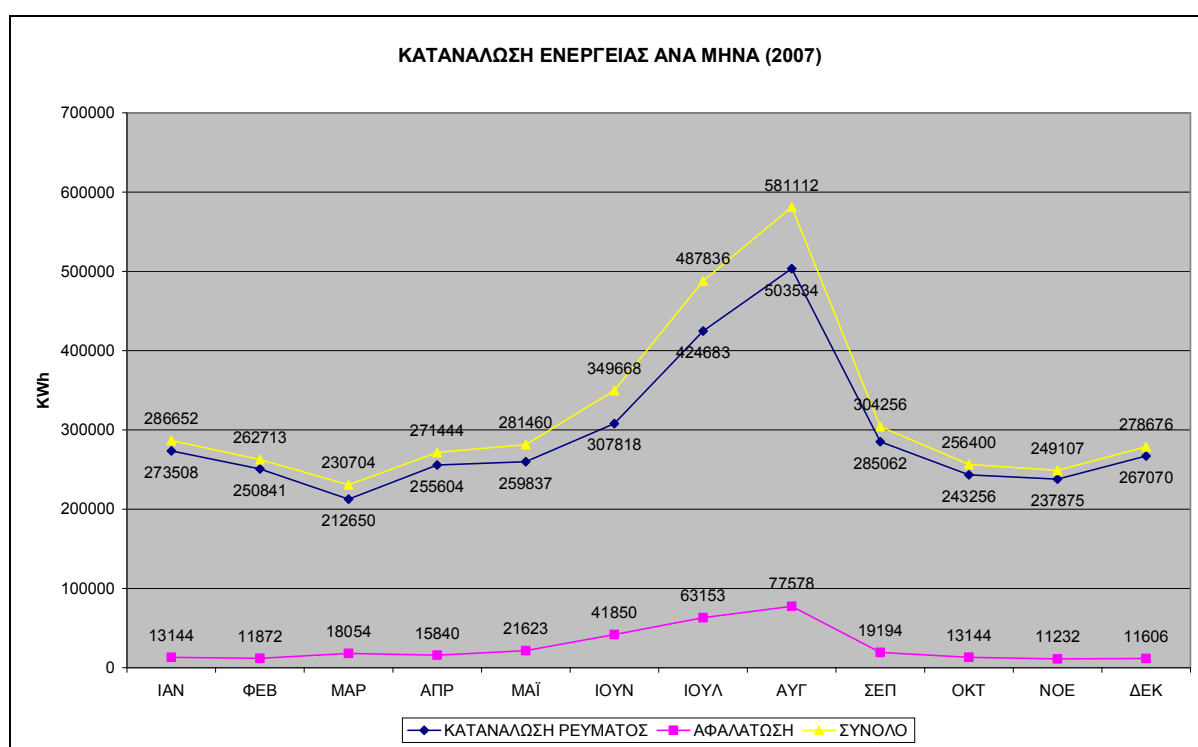


Παρατηρούμε ότι η κατανάλωση ενέργειας, που παρακολουθεί τη ζήτηση του νερού, κυμαίνεται στο 4 – 8% τους 9 μήνες χαμηλής ζήτησης, ενώ τον Αύγουστο φτάνει το 25% της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας.

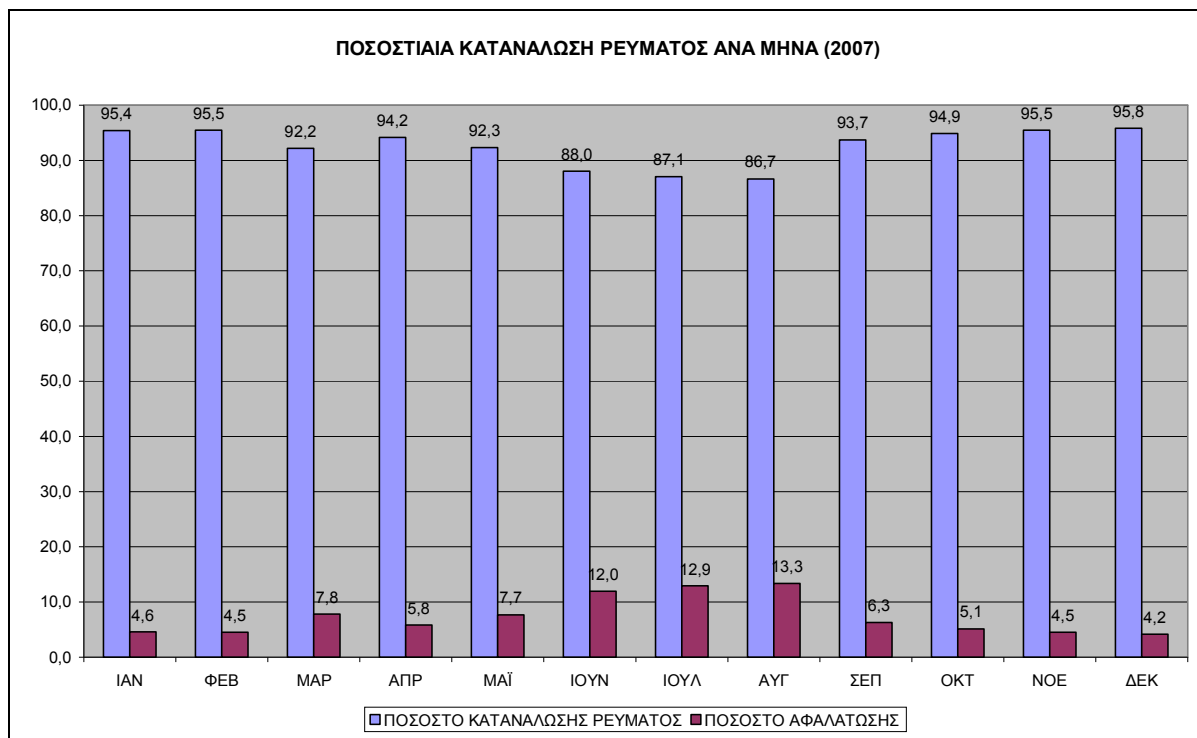
2. Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στη Σίκινο

Θα υπολογίσουμε τη μέση ενέργεια ανά μήνα που απαιτείται για την ηλεκτροδότηση του νησιού. Για το σκοπό αυτό πήραμε τη μέση ισχύ (ελάχιστη+μέγιστη)/2 (από τους αντίστοιχους πίνακες του Παραρτήματος Ι) και πολλαπλασιάζουμε επί 24 για να βρούμε την μέση ενεργειακή κατανάλωση ημέρας του κάθε μήνα. Στο τέλος βρίσκουμε τη μέση ημερήσια κατανάλωση ανά μήνα, καθώς και τη μέση ολική κατανάλωση του μήνα. Ο αναλυτικός πίνακας των υπολογισμών παρατίθεται στο Παράρτημα Ι.

Θα κάνουμε υπέρθεση των τιμών αυτών με τις ενεργειακές ανάγκες της αφαλάτωσης για να βρούμε τη συνολική κατανάλωση.



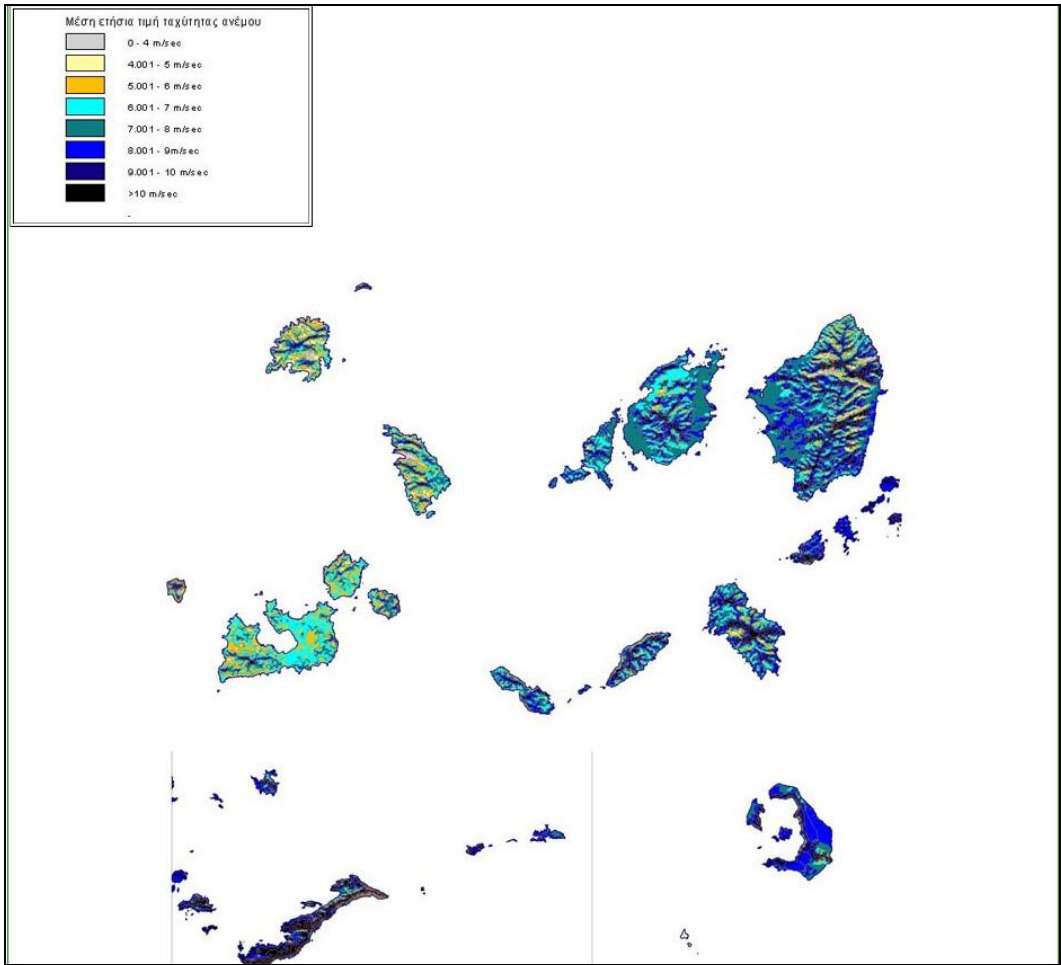
Παρατηρούμε ότι η ελάχιστη μέση μηνιαία κατανάλωση είναι το Μάρτιο (230.704 KWh) και η μέγιστη φυσικά τον Αύγουστο (581.112 KWh). Τους 9 μήνες χαμηλής ζήτησης η μέση μηνιαία κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται στην περιοχή των 250.000 KWh. Η ολική κατανάλωση ενέργειας ολόκληρου του έτους είναι 3.840.028 KWh \approx 3,84 GWh. Η μέση ισχύς θα είναι αντίστοιχα $3.840.028 \text{ KWh} / 8760 \text{ h} \approx 438 \text{ KW}$.



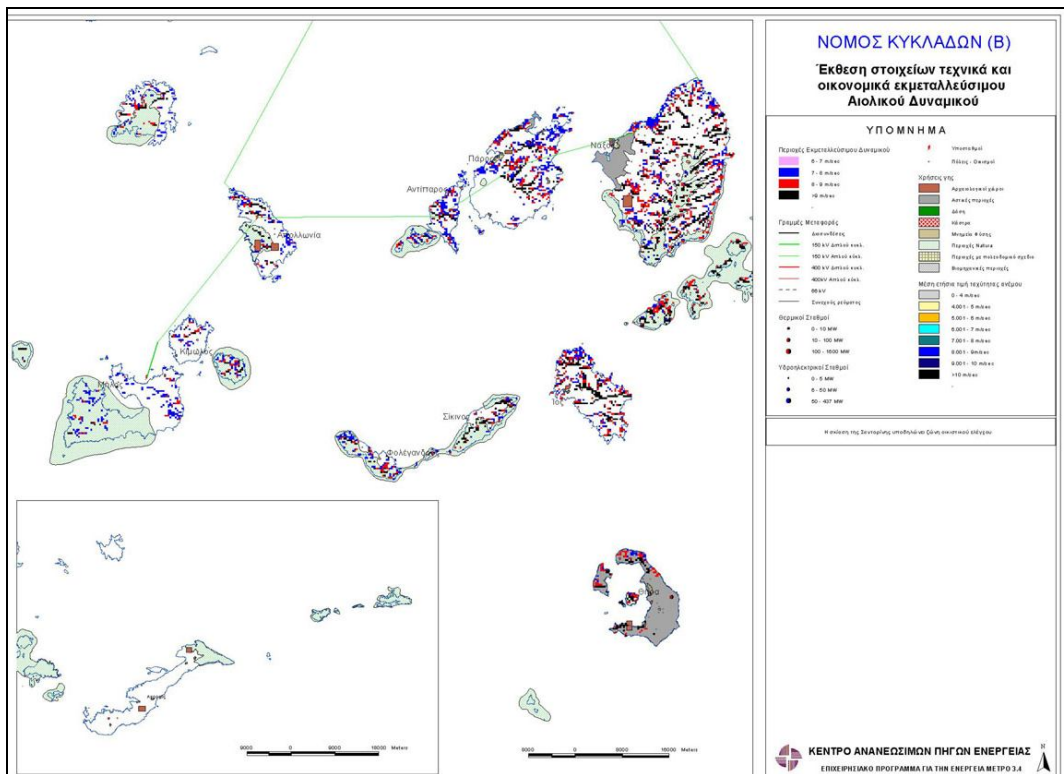
Διαπιστώνουμε πόσο μικρό ποσοστό της ολικής μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας αποτελεί η αφαλάτωση. Άρα το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που θα κληθούν τα αιολικά να καλύψουν είναι οι καθημερινές ανάγκες των κατοίκων και των τουριστών σε ηλεκτρισμό.

3. Ανεμολογικά δεδομένα – δυνατότητες εγκατάστασης Α/Γ

Μια πρώτη συνολική εικόνα για τις ταχύτητες του ανέμου στη Σίκινο θα πάρουμε από ανεμολογικούς χάρτες, στην προκειμένη περίπτωση από αυτούς του ΚΑΠΕ, που μας δίνουν πληροφορίες τόσο για το αιολικό δυναμικό γενικά όσο και για το αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό.



Χάρτης ΚΑΠΕ αιολικού δυναμικού στις νότιες Κυκλάδες

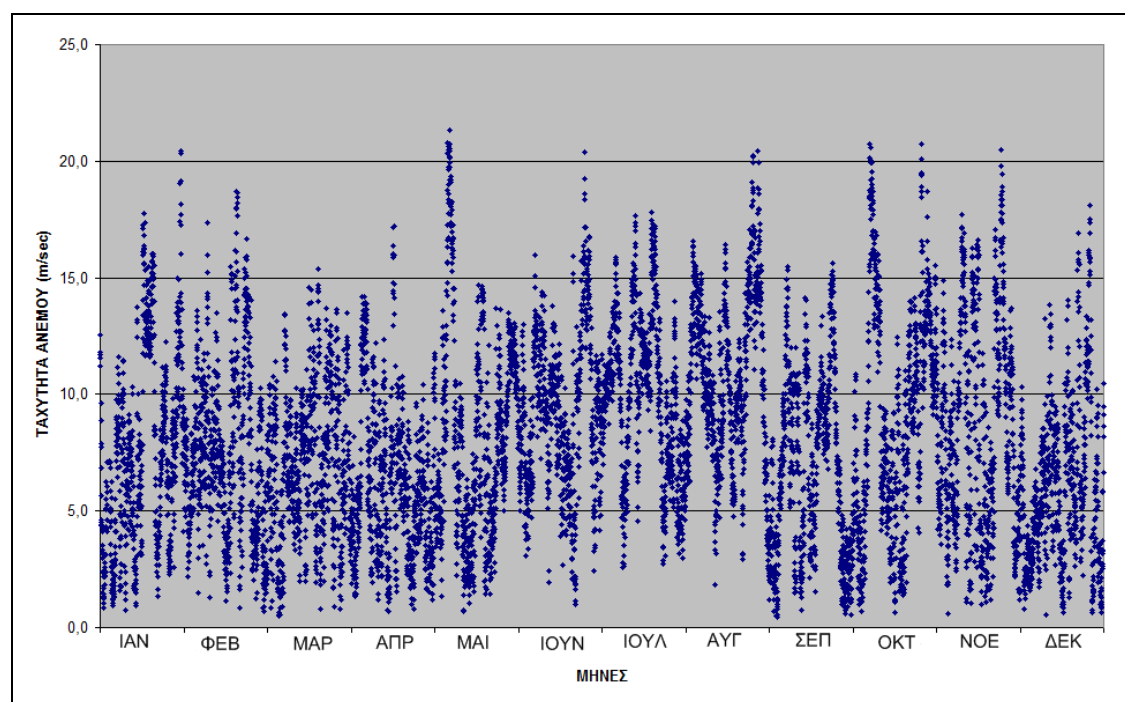


Χάρτης ΚΑΠΕ εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού στις νότιες Κυκλάδες

Παρατηρώντας τον πρώτο χάρτη διαπιστώνουμε ότι η Σίκινος, όπως και όλα τα νησιά των Κυκλάδων, διαθέτει αξιόλογο αιολικό δυναμικό με ταχύτητες ανέμου από 6 – 9 m/sec σε μεγάλο ποσοστό της επιφάνειας του νησιού.

Ο δεύτερος χάρτης, που αφορά το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό, μας πληροφορεί ότι το μεγαλύτερο μέρος του νησιού είναι προστατευόμενοι βιότοποι, σύμφωνα με το ευρωπαϊκό δίκτυο Natura 2000, μιας και στο νησί κάνουν τις φωλιές τους σπάνια θαλασσοπούλια, αγριοπερίστερα και βρίσκει καταφύγιο η μεσογειακή φώκια. Επομένως οι δυνατές θέσεις για την εγκατάσταση Α/Γ περιορίζονται σε πολύ λίγες, που φαίνονται σαν σημεία πάνω στο χάρτη. Ευτυχώς όμως αυτές οι λίγες θέσεις έχουν εξαιρετικό αιολικό δυναμικό, με ταχύτητες ανέμου από 8 μέχρι και πάνω από 10 m/sec.

Για τη Σίκινο δεν υπάρχουν ακόμα δημοσιευμένες αξιόπιστες μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου, οπότε θα χρησιμοποιήσουμε τις αντίστοιχες για τη νήσο Σέριφο, λόγω του ότι είναι επίσης νησί των Κυκλάδων και μάλιστα όχι πολύ μακριά από τη Σίκινο. Οι μετρήσεις δίνουν μια μέση ταχύτητα 8,1 m/sec, που ταιριάζει στις ταχύτητες της Σικίνου και έγιναν ανά ώρα, άρα υπάρχουν 8760 τιμές ταχύτητας.




Ωριαία κατανομή ταχυτήτων ανέμου στη Σέριφο για ένα έτος

Παρατηρούμε ότι οι περισσότερες τιμές ταχύτητας βρίσκονται στο διάστημα 5 – 10 m/sec, ενώ πολλές επίσης βρίσκονται στο διάστημα 10 – 15 m/sec. Τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, που οι ανάγκες είναι αυξημένες, οι ταχύτητες είναι κατανομημένες ψηλά, πάνω από 10 m/sec επί το πλείστον, άρα θα υπάρχει αυξημένη παραγωγή από τα αιολικά.

Η ανάλυση των δεδομένων για κάθε μήνα θα γίνει με τη βοήθεια του προγράμματος για Η/Υ WindRose του ΚΑΠΕ, το οποίο στη δωρεάν έκδοσή του, η οποία και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, μπορεί να επεξεργαστεί δεδομένα για χρονική περίοδο 1 μήνα. Επισημαίνεται ότι οι διαθέσιμες μετρήσεις από τη Σέριφο δεν δίνουν πληροφορίες για τη διεύθυνση του ανέμου (αυτό εξάλλου δεν θα είχε ιδιαίτερη σημασία εφόσον πρόκειται για άλλο νησί) και έγιναν σε ύψος 10 μέτρων από το έδαφος. Το WindRose εμπεριέχει στοιχεία από αρκετές ανεμογεννήτριες του εμπορίου, με την αντίστοιχη καμπύλη ισχύος καθεμίας και υπολογίζει παράλληλα και την παραγόμενη ενέργεια, ανάλογα με το προφίλ του ανέμου.

Για τους υπολογισμούς ενέργειας χρησιμοποιήσαμε την ανεμογεννήτρια E33 της Γερμανικής εταιρείας ENERCON που έχει τα εξής χαρακτηριστικά^[25]:



E33

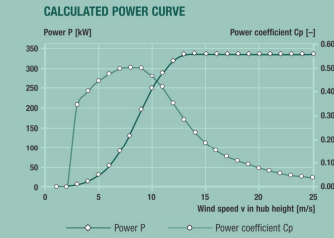
ENERCON's E-33 wind turbine makes it economically feasible to realise wind energy projects even at sites difficult to access. Their modular design allows for convenient container transport by ship and truck as well as efficient installation using one regular-sized lifting crane.

TECHNICAL DATA

Rated power:	330 kW
Rotor diameter:	33.4 m
Hub height:	36 m – 50 m
Wind class (IEC):	IEC/NWN I and IEC/NWN II (depending on hub height)
Turbine concept:	Gearless, variable speed, variable pitch control
Rotor	
Type:	Upwind rotor with active pitch control
Direction of rotation:	Clockwise
Number of blades:	3
Swept area:	876 m ²
Blade material:	Fibreglass (epoxy resin); integrated lightning protection
Rotational speed:	Variable, 18–45 rpm
Pitch control:	ENERCON blade pitch system, one independent pitching system per rotor blade with allocated emergency supply
Drive train with generator	
Hub:	Rigid
Main bearings:	Single-row cylindrical roller bearings
Generator:	ENERCON direct-drive synchronous annular generator
Grid feeding:	ENERCON converter
Braking systems:	– 3 independent blade pitch systems with emergency supply – Rotor brake – Rotor lock
Yaw control:	Active via adjustment gears, load-dependent damping
Cut-out wind speed:	28–34 m/s (with ENERCON storm control)
Remote monitoring:	ENERCON SCADA

Details – ENERCON Storm Control – (see last page)

CALCULATED POWER CURVE



Wind [m/s]	Power P [kW]	Power coefficient Cp [-]
1	0.0	0.00
2	0.0	0.00
3	5.0	0.35
4	13.7	0.40
5	30.0	0.45
6	55.0	0.47
7	92.0	0.50
8	138.0	0.50
9	196.0	0.50
10	250.0	0.47
11	292.8	0.41
12	320.0	0.35
13	335.0	0.28
14	335.0	0.23
15	335.0	0.18
16	335.0	0.15
17	335.0	0.13
18	335.0	0.11
19	335.0	0.09
20	335.0	0.08
21	335.0	0.07
22	335.0	0.06
23	335.0	0.05
24	335.0	0.05
25	335.0	0.04

Details – ENERCON power curve – (see last page)

2
3

4. Επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων με το πρόγραμμα Windrose και υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας

α) Επιλογή Α/Γ – κατανομή Weibull – μέσος συντελεστής ισχύος

Στη συνέχεια εισάγουμε στο Windrose τα ανεμολογικά δεδομένα ανά μήνα και με δεδομένη την Α/Γ ENERCON E33 με ισχύ 330 KW το πρόγραμμα τα επεξεργάζεται και δίνει πάρα πολλές πληροφορίες και διαγράμματα. Εδώ πρέπει να διευκρινιστεί γιατί επιλέχθηκε η συγκεκριμένη Α/Γ. Σήμερα οι τεράστιες ενεργειακές ανάγκες παγκοσμίως και η τάση για αύξηση του ποσοστού της «πράσινης» ενέργειας έχουν «σπρώξει» τους κατασκευαστές των Α/Γ στην κατασκευή αιολικών μηχανών της τάξης του 1 MW και πάνω, ενώ τα 2 MW δεν είναι πια κάτι ασυνήθιστο. Η ελληνική εμπειρία έχει δείξει ότι οι κάτοικοι των μικρών κοινωνιών αντιδρούν γενικότερα στην εγκατάσταση Α/Γ, λόγω παραπληροφόρησης συνήθως, και ιδιαίτερα στις μεγάλες μηχανές, που προκαλούν δέος με το μέγεθός τους και απαιτούν την εκχέρωση μεγάλων εκτάσεων για τη μεταφορά και την τοποθέτησή τους. Η E33 της ENERCON είναι απ' τις λίγες εμπορικά διαθέσιμες μικρομεσαίας ισχύος Α/Γ και μάλιστα από μια αξιόπιστη μεγάλη εταιρεία. Με ύψος πύργου περίπου 40 m και διάμετρο πτερωτής 33 m θα γίνει σίγουρα ευκολότερα αποδεκτή απ' τους κατοίκους της Σικίνου, σε σχέση με τις τεράστιες μηχανές άνω του MW με ύψος >60 m και αντίστοιχες διαμέτρους. Εξάλλου η εγκατάσταση ενός μικρού αριθμού τέτοιων Α/Γ (E33) μάς δίνει περισσότερη ευελιξία στη ρύθμιση της παραγόμενης ισχύος και σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης μιας εξ' αυτών υπάρχουν οι άλλες να καλύψουν το φορτίο, ενώ η απώλεια μιας μεγάλης μηχανής θα ήταν πολύ δυσκολότερο να καλυφθεί.

Λόγω οικονομίας χώρου θα παρουσιάσουμε μόνο 3 διαγράμματα ανά μήνα, που αφορούν το προφίλ του ανέμου και την δυνάμενη να παραχθεί ενέργεια. Τα διαγράμματα αυτά είναι:

- η κατανομή των ταχυτήτων και η αντίστοιχη καμπύλη Weibull
- η αθροιστική πιθανότητα για την ταχύτητα του ανέμου, η οποία παριστάνει την πιθανότητα να έχουμε άνεμο με ταχύτητα μεγαλύτερη ή ίση αυτής που αντιστοιχεί στη δεδομένη πιθανότητα
- η αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας, που προκύπτει απ' την καμπύλη ισχύος της Α/Γ και την κατανομή ταχυτήτων του ανέμου

Στο σημείο αυτό θα υπενθυμίσουμε τις βασικές εξισώσεις για την καμπύλη Weibull.

Κατανομή Weibull

Η καλύτερη περιγραφή της κατανομής των ταχυτήτων του ανέμου για την εύκρατη ζώνη και για ύψη μέχρι 100 m είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας Weibull:

$$P(V) = \frac{k}{c} \left[\frac{V}{c} \right]^{k-1} \exp \left\{ - \left[\frac{V}{c} \right]^k \right\}$$

η οποία προσδιορίζει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται σε μια περιοχή της ταχύτητας V , βάσει δυο μόνο παραμέτρων, των c και k .

Η μέση ταχύτητα βρίσκεται από τη σχέση:

$$\bar{V} = \int_0^{\infty} V \cdot P(V) dV$$

και η παράμετρος c συνδέεται με τη μέση ταχύτητα \bar{V} με τη σχέση:

$$\bar{V} = c \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right)$$

όπου $\Gamma(x)$ είναι η γνωστή συνάρτηση Γάμμα. Για γρήγορους υπολογισμούς και για την περιοχή του Αιγαίου (οπότε η παράμετρος k παίρνει τιμές μεταξύ του 1,3 και του 3,0) μπορούμε να θεωρήσουμε ότι:

$$c \approx 1,1 \cdot \bar{V}$$

Η ετήσια μεταβλητότητα του ανέμου ορίζεται ως:

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} [V - \bar{V}]^2 P(V) dV$$

και η δεύτερη παράμετρος k είναι αντιστρόφως ανάλογη της μεταβλητότητας, δηλαδή:

$$\sigma^2 = c^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{k} \right) - \left(\Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \right)^2 \right]$$

Δηλαδή μεγαλύτερες τιμές του k εκφράζουν μικρότερη διασπορά των ταχυτήτων του ανέμου και συνεπώς μεγαλύτερη συγκέντρωσή τους γύρω από τη μέση τιμή της ταχύτητας.

Η αθροιστική κατανομή συχνοτήτων δίνεται από τη σχέση:

$$P(V \leq V_x) = \int_0^{V_x} P(V) dV = 1 - \exp \left[- \left(\frac{V_x}{c} \right)^k \right]$$

και εκφράζει την πιθανότητα να φυσάει άνεμος με ταχύτητα μικρότερη ή ίση της V_x .

Στα επόμενα διαγράμματα υπάρχουν οι καμπύλες της αθροιστικής πιθανότητας, που είναι η συμπληρωματική της αθροιστικής κατανομής συχνοτήτων, δηλαδή έχουν άθροισμα τη μονάδα και εκφράζει την πιθανότητα να φυσάει άνεμος με ταχύτητα μεγαλύτερη ή ίση της V_x . Άρα η αθροιστική πιθανότητα (ή καμπύλη διάρκειας) για την ταχύτητα V_x δίνεται απ' τη σχέση:

$$G(V \geq V_x) = 1 - P(V \leq V_x) = \exp \left[- \left(\frac{V_x}{c} \right)^k \right]$$

Μέσος συντελεστής ισχύος

Μια ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος P_0 όταν εργαστεί για χρονικό διάστημα Δt παράγει ενέργεια $E(\Delta t)$. Μέσος συντελεστής ισχύος της ανεμογεννήτριας (ή της εγκατάστασης) ορίζεται ως^[13]:

$$\omega(\Delta t) = \frac{E(\Delta t)}{P_0 \cdot \Delta t}$$

Άρα ο συντελεστής αυτός εκφράζει το ποσοστό της ενέργειας $E(\Delta t)$ που παρήγαγε πραγματικά η ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος P_0 σε χρονικό διάστημα Δt σε σχέση με αυτή που θα παρήγαγε αν δούλευε συνεχώς στην ονομαστική της ισχύ. Επομένως δείχνει την ισοδύναμη μηχανή συνεχούς ισχύος ($\omega \cdot P_0$). Προφανώς όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής αυτός, τόσο αποδοτικότερη είναι η εγκατάσταση.

Όταν η εξεταζόμενη χρονική περίοδος είναι 1 έτος, ο μέσος συντελεστής ισχύος ονομάζεται και «Συντελεστής Εκμεταλλευσιμότητας», δηλαδή:

$$CF = \frac{E}{E_R} = \frac{\bar{P}}{P_R}$$

όπου

CF ο συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας (Capacity Factor)

E_R η ενέργεια που θα παρήγαγε η ανεμογεννήτρια σε ένα έτος αν δούλευε συνεχώς στην ονομαστική της ισχύ P_R και είναι $E_R = 8760 \cdot P_R$

E η ενέργεια που πραγματικά παράγει η ανεμογεννήτρια κατά τη διάρκεια του έτους

\bar{P} η μέση πραγματική ισχύς της ανεμογεννήτριας που βρίσκεται από τη σχέση $E = 8760 \cdot \bar{P}$

Ικανοποιητικές τιμές για το CF είναι από 0,25 ως 0,35 και φανερώνει το πόσο καλό είναι το «ταίριασμα» της Α/Γ με το αιολικό δυναμικό της περιοχής στην οποία εγκαθίσταται.

β) Επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων

Η ανάλυση των στοιχείων από το Windrose βρίσκεται στο Παράρτημα III. Συγκεντρωτικά τα στοιχεία από τα διαγράμματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ						
	ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ (m/sec)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (KWh)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ 1 Χ Ε33 (KWh)	ΜΕΣΟΣ ΣΥΝ/ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ $\omega(\Delta t)$	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ WEIBULL	
					k	c (m/sec)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	7,5	286.652	118.851	0,48	1,89	8,6
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	7,8	262.713	113.287	0,51	2,27	8,9
ΜΑΡΤΙΟΣ	6,9	230.704	110.293	0,45	2,43	7,8
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	6,2	271.444	83.691	0,35	1,94	7,0
ΜΑΪΟΣ	8,1	281.460	127.196	0,52	1,84	9,1
ΙΟΥΝΙΟΣ	9,3	349.668	162.880	0,69	3,03	9,4
ΙΟΥΛΙΟΣ	9,9	487.836	182.298	0,74	3,22	11,1
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	10,7	581.112	194.350	0,79	3,42	12,0
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	6,8	304.256	107.813	0,45	1,90	7,7
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	8,9	256.400	145.336	0,59	1,81	10,3
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	8,7	249.107	136.451	0,57	1,85	9,9
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	6,0	278.676	82.733	0,34	1,69	6,7
ΣΥΝΟΛΟ	8,1	3.840.028	1.565.179	0,54	2,27	9,0

Η παραγωγή ενέργειας από την Α/Γ όπως έγινε αφορά ιδανικές συνθήκες, χωρίς να ληφθούν υπόψη καταναλώσεις από βοηθητικές λειτουργίες (φωτισμός, θέρμανση κλπ) του αιολικού πάρκου και της μονάδας αφαλάτωσης, μη διαθεσιμότητα των μονάδων λόγω βλάβης/συντήρησης και απώλειες μεταφοράς δικτύου. Για μια ρεαλιστικότερη προσέγγιση θα κάνουμε τις εξής παραδοχές^[23, 24, 31]:

- συντελεστής διαθεσιμότητας αιολικού πάρκου 95 %
- απώλειες δικτύου 3 %
- βοηθητικές λειτουργίες 5 %
- απώλειες λόγω ομόρρου 10 %
- ποσοστό απορρόφησης ενέργειας από αιολικά (λόγω απόρριψης τις ώρες χαμηλής ζήτησης) 80 %

Δηλαδή στην παραγόμενη ενέργεια μπαίνει ένας γενικός συντελεστής απωλειών ίσος με: $0,95 \times 0,97 \times 0,95 \times 0,90 \times 0,80 = 0,63$

Τώρα μπορούμε να υπολογίσουμε την καθαρή παραγόμενη ενέργεια, η οποία διατίθεται αυτούσια στην κατανάλωση, και να βρούμε τον αριθμό των Α/Γ που απαιτούνται για να καλύψουν τη ζήτηση.

	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (KWh)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ 3 Χ Ε33 Χ 0,63 (KWh)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ 4 Χ Ε33 Χ 0,63 (KWh)	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ 5 Χ Ε33 Χ 0,63 (KWh)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ - ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ		
					3 Χ Ε33 (KWh)	4 Χ Ε33 (KWh)	5 Χ Ε33 (KWh)
ΙΑΝ	286.652	224.771	299.694	374.381	-61.881	13.042	87.729
ΦΕΒ	262.713	214.248	285.665	356.854	-48.465	22.952	94.141
ΜΑΡ	230.704	208.586	278.115	347.423	-22.118	47.411	116.719
ΑΠΡ	271.444	158.277	211.035	263.627	-113.167	-60.409	-7.817
ΜΑΙ	281.460	240.553	320.738	400.667	-40.907	39.278	119.207
ΙΟΥΝ	349.668	308.038	410.718	513.072	-41.630	61.050	163.404
ΙΟΥΛ	487.836	344.762	459.682	574.239	-143.074	-28.154	86.403
ΑΥΓ	581.112	367.554	490.073	612.203	-213.558	-91.039	31.091
ΣΕΠ	304.256	203.896	271.862	339.611	-100.360	-32.394	35.355
ΟΚΤ	256.400	274.859	366.479	457.808	18.459	110.079	201.408
ΝΟΕ	249.107	258.056	344.075	429.821	8.949	94.968	180.714
ΔΕΚ	278.676	156.465	208.619	260.609	-122.211	-70.057	-18.067
ΣΥΝΟΛΟ	3.840.028	2.629.267	3.946.755	4.930.314	-1.210.761	106.727	1.090.286

Παρατηρήσεις - συμπεράσματα:

- ✓ η μέση ταχύτητα του ανέμου για κάθε μήνα είναι πολύ υψηλή, εξαιρουμένων του Δεκέμβρη (6,0 m/sec) και του Απρίλη (6,2 m/sec)
- ✓ ο μέσος συντελεστής ισχύος $\omega(\Delta t)$ κρίνεται ικανοποιητικός, τόσο για κάθε μήνα όσο και για το σύνολο του χρόνου, εξαιρουμένων πάλι του Δεκέμβρη και του Απρίλη, δηλαδή η εγκατάσταση είναι συμφέρουσα και αποδοτική
- ✓ βάσει του ετήσιου $\omega(\Delta t)$ η κάθε Α/Γ συμπεριφέρεται ως μηχανή σταθερής παραγωγής ισχύος ίσης με: $0,54 \times 330 = 178,2 \text{ KW}$
- ✓ λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες ενέργειας και με βάση την ετήσια παραγωγή του αιολικού πάρκου διαπιστώνουμε ότι 3 Α/Γ δεν επαρκούν (ετήσιο έλλειμμα $\approx 1.200 \text{ MWh}$), οι 4 Α/Γ έχουν μικρό πλεόνασμα ($\approx 100 \text{ MWh}$ ετησίως), ενώ οι 5 Α/Γ έχουν μεγάλο πλεόνασμα ($\approx 1.100 \text{ MWh}$ ετησίως)
- ✓ σε επίπεδο μηνιαίας παραγωγής παρατηρούμε ότι οι 3 Α/Γ αφήνουν σχετικά μεγάλο έλλειμμα 6 μήνες το χρόνο και δεν καλύπτουν τον Ιούλιο, τον Αύγουστο και το Σεπτέμβριο, οι 4 Α/Γ αφήνουν μικρότερο έλλειμμα 5 μήνες το χρόνο και πάλι δεν καλύπτουν τους παραπάνω μήνες, ενώ οι 5 Α/Γ αφήνουν μικρό έλλειμμα 2 μήνες το χρόνο και καλύπτουν πλήρως τους μήνες υψηλής ζήτησης
- ✓ ο συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας για 1 x Ε33 είναι ίσος με:

$$CF = \frac{0,63 \cdot 1565179}{8760 \cdot 330} = 0,34$$

και άρα η συγκεκριμένη A/G αποδεικνύεται πολύ καλή επιλογή για το εν λόγω νησί

Την τελική απόφαση για τον αριθμό των A/G που θα εγκατασταθούν (3, 4 ή 5) θα την λάβουν το κράτος και η τοπική κοινωνία, βάσει του κόστους, της διαθέσιμης γης και τη δυνατότητα απορρόφησης ή κάλυψης του πλεονάσματος και του ελλείμματος ενέργειας αντίστοιχα. Ο γράφων έχει την προσωπική άποψη ότι είναι καλύτερο να τοποθετηθούν 5 A/G για να καλύψουν μελλοντική αύξηση της ζήτησης νερού ή ενέργειας και να δίνουν το τυχόν περίσσειμα στα υπόλοιπα διασυνδεδεμένα νησιά ή να το απορρίπτουν στη χειρότερη περίπτωση. Εξάλλου οι ανάγκες για ενέργεια μάλλον γενικά αυξάνονται παρά ελαττώνονται. Για να αξιοποιηθεί η περισσευούμενη ενέργεια μπορούν να γίνουν πρόσθετα έργα υποδομής στο νησί, όπως δρόμοι και πλατείες με φωτισμό ή άλλα δημόσια έργα.

γ) Ορισμένα χαρακτηριστικά της A/G ENERCON E33

Οι περισσότερες τεχνικές λεπτομέρειες δίνονται στο Παράρτημα IV, εδώ θα δοθούν κάποια στοιχεία που αφορούν κυρίως τη δυνατότητα της E33 να συνδεθεί με το υπάρχον δίκτυο.

Καταρχήν η συγκεκριμένη A/G δεν έχει κιβώτιο ταχυτήτων, πράγμα που συνεπάγεται λιγότερες μηχανικές απώλειες, χαμηλότερη στάθμη θορύβου, λιγότερη συντήρηση και λίπανση. Η γεννήτρια είναι σύγχρονη, δακτυλιοειδούς τύπου, συνεχούς τυλίγματος και στρέφεται απευθείας απ' τον ρότορα με τα πτερύγια. Αποδίδει την ονομαστική της ισχύ μόλις στις 46 RPM.

Η E33 διαθέτει πτερύγια με λειτουργία μεταβλητού βήματος, ενώ η ίδια μπορεί να λειτουργήσει με μεταβλητές στροφές (18 – 56 RPM).

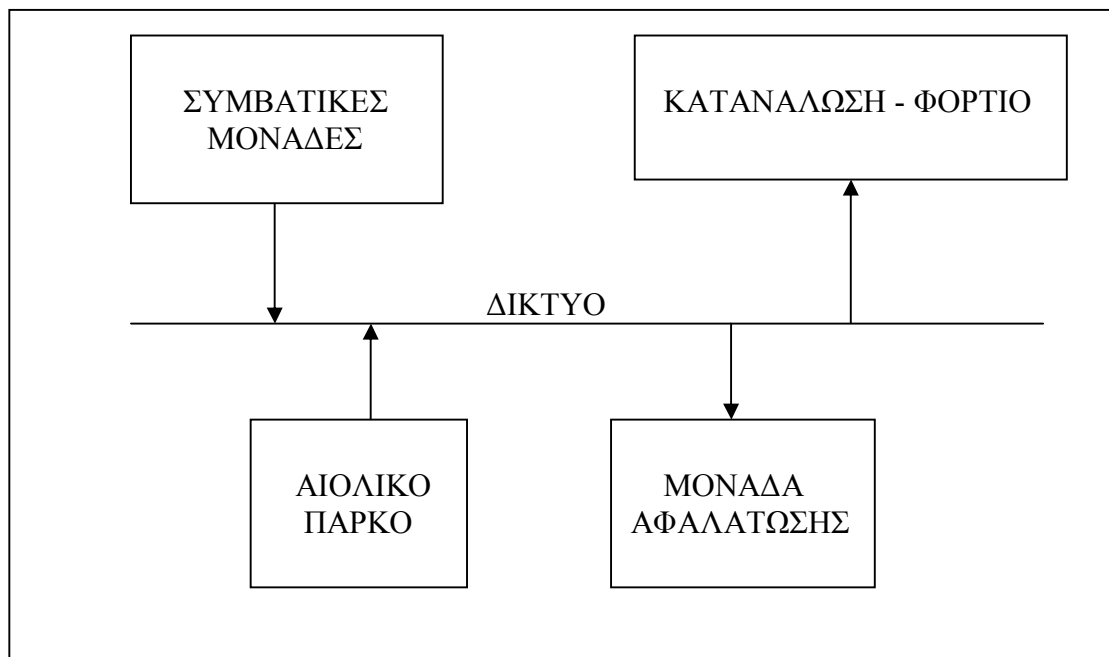
Επίσης διαθέτει το «Enercon grid management system», δηλαδή ένα σύστημα που της επιτρέπει να διοχετεύει την παραγόμενη ενέργεια στο δίκτυο παρακολουθώντας την τάση και τη συχνότητά του και να προσαρμόζει ανάλογα τη λειτουργία της, εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη απορρόφηση ισχύος. Πιο συγκεκριμένα παίρνει το ρεύμα από τη γεννήτρια και το μετατρέπει σε ημιτονικό χωρίς υψηλές αρμονικές (λόγω παρουσίας βαθυπερατού φίλτρου) και μετά το διοχετεύει στο δίκτυο μέσω μετασχηματιστή. Υπάρχει ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου που κάθε στιγμή συγκρίνει το παραγόμενο ρεύμα με το ρεύμα αναφοράς και κάνει τις κατάλληλες διορθώσεις. Μπορούν να τεθούν εξαρχής τα μέγιστα και ελάχιστα όρια για την τάση και τη συχνότητα του δικτύου, ώστε να αποσυνδεθεί αυτόματα η A/G σε περίπτωση παραβίασής τους. Η αποσύνδεση γίνεται άμεσα, σε χρόνο 10 ms περίπου, οπότε δεν δημιουργούνται ούτε αιχμές τάσης. Επίσης σε περίπτωση μεγάλης ικανότητας παραγωγής ισχύος (υψηλός άνεμος) αλλά μικρού φορτίου (π.χ. νυχτερινές ώρες), το παραγόμενο ρεύμα μειώνεται αυτόματα για να μην αυξηθεί υπερβολικά η τάση, άρα η A/G δεν βγαίνει απ' το δίκτυο, παρά λειτουργεί σε χαμηλότερο φορτίο.

Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι η γωνία φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος παραμένει σταθερή σε όλο το φάσμα της ισχύος (0 – 300 KW) με το $\cos\phi = 1$.

Αυτό μας εξασφαλίζει ότι παρέχεται στο δίκτυο μόνο πραγματική ισχύς και όχι άεργος. Πάντως, εάν είναι επιθυμητό, μπορεί να επιλεγεί και το $\cos\phi \neq 1$.

δ) Διασύνδεση Α/Γ – μονάδας αφαλάτωσης – φορτίου (κατανάλωση)

Οι Α/Γ θα συνδεθούν απευθείας με το δίκτυο, από το οποίο θα τροφοδοτούνται τόσο η μονάδα αφαλάτωσης όσο και οι υπόλοιπες καταναλώσεις. Αυτό γίνεται γιατί η αφαλάτωση αποτελεί όπως είδαμε πολύ μικρό ποσοστό της ισχύος κατανάλωσης και εξάλλου πιθανότατα δεν θα βρίσκεται κοντά στο αιολικό πάρκο για να συνδεθεί άμεσα (οι Α/Γ θα τοποθετηθούν σε κάποιο υψόμετρο ενώ η αφαλάτωση κοντά στην ακτή). Ένα σχεδιάγραμμα της συνδεσμολογίας φαίνεται παρακάτω:



Συνδεσμολογία αιολικών – αφαλάτωσης – δικτύου

Κεφάλαιο 5^ο

Οικονομική ανάλυση του έργου

1. Υπολογισμός συνολικού κόστους της εγκατάστασης (αιολικά και αφαλάτωση)

Τα κόστη των επιμέρους τμημάτων του έργου βασίζονται σε εκτιμήσεις, κυρίως από τη συνομιλία του γράφοντος με τον κ. Χατζηβασιλειάδη και τις μελέτες του^[23, 24] και τον κ. Μαντά, για την Α/Γ^[28].

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΘΕΤΟ ΕΡΓΟ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ 600 m³/ημέρα ΚΑΙ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 4 X 330 KW ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΣΙΚΙΝΟ		
A/A	Περιγραφή αντικειμένου	Εκτίμηση Δαπανών (€)
0	Δαπάνες Μελετών-Συμβούλων-Αδειοδοτήσεων	
0.1	Μελέτη-Σύμβουλοι για ΜΑ&Α/Γ, Αρχιτεκτονική μελέτη, Ηλεκτρο-Μηχανολογικές Μελέτες και Επιβλέψεις,	100.000
	Σύνολο	100.000
	ΦΠΑ (19%)	19.000
1.	Μονάδα αφαλάτωσης (ΜΑ)	
1.1	Διαμόρφωση γηπέδου εγκατάστασης ΜΑ, δρόμος προσπέλασης, κατασκευή βάσεων για τον εξοπλισμό και υποδομές, περίφραξη, φωτισμός και μέτρα ασφαλείας	70.000
1.2	Φρεάτιο άντλησης θαλασσινού νερού, φίλτρο, σωλήνες προσαγωγής -επιστροφής, εργασίες στη θάλασσα, σωλήνες τροφοδότησης	60.000
1.3	Εξοπλισμός: προεπεξεργασίας/φίλτρα αντλιοστάσια θαλννού νερού, δεξαμενές, containers, μονάδες αφαλάτωσης RO, μετακατεργασία και δεξαμενή γλυκού νερού	700.000
1.4	Μεταφορά-εγκατάσταση εξοπλισμού	170.000
1.5	Γραμμή ΜΤ&Υ/Σ, σύνδεση	40.000
1.6	Προμήθεια περνοφόρου ανυψωτικού μηχανήματος (fork-lift)	12.000
1.7	Δοκιμές, θέση σε λειτουργία (commissioning)	35.000
1.8	Αποκατάσταση και βελτίωση περιβάλλοντος χώρου	7.000
1.9	Εκπαίδευση	8.000
	Σύνολο	1.102.000
	ΦΠΑ (14%)	154.280
2.	Αντλιοστάσια, καταθλιπτικός αγωγός, αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί	
2.1	Αντλιοστάσιο, αντλίες, καταθλιπτικός αγωγός, αγωγοί μεταφοράς, αυτοματισμοί	150.000
	Σύνολο	150.000
	ΦΠΑ (14%)	21.000
3.	Ανεμογεννήτριες	
3.1	Πλήρης εξοπλισμός ανεμογεννητριών Enercon 5 x E33 (μεταφορά σε λιμάνι προορισμού στην Ελλάδα, κόστος εγκατάστασης, γερανοί ανέγερσης)	2.500.000 (500.000 έκαστη)
3.2	Έργα υποδομής (χωματουργικά, αποκατάσταση περιβάλλοντος)	20.000

3.3	Εκπαίδευση προσωπικού	8.000
	Σύνολο (1.532 €/KW)	2.528.000
	ΦΠΑ (19% στο 3.1, 14% στο 3.2 και 3.3)	478.920
	Γενικό σύνολο	2.880.000
	ΦΠΑ συνολικό	673.200

2. Υπολογισμός ετήσιων δαπανών λειτουργίας και συντήρησης της εγκατάστασης (αιολικά και αφαλάτωση)

Οι ετήσιες δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης της εγκατάστασης βασίζονται στις μελέτες του κ. Χατζηβασιλειάδη^[23, 24].

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΘΕΤΟ ΕΡΓΟ ΜΟΝΑΔΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑΣ 600 m³/ημέρα ΚΑΙ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 4 X 330 KW ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΣΙΚΙΝΟ			
A/A	Περιγραφή Αντικειμένου	Τιμή Μονάδος	Συνολική Δαπάνη (€/έτος)
0	Διοίκηση-Διαχείριση του σύνθετου έργου (M/A & A/Γ)		20.000
	Σύνολο		20.000
	ΦΠΑ (19%)		3.800
1.	Μονάδα αφαλάτωσης (παραγωγή 70.660 m³/έτος)		
1.1	Ηλεκτρ. ενέργεια για μονάδα αφαλάτωσης και αντλήσεις (4,5 KWh/m ³ + 25 MWh = 342.970 KWh)	0,07719 €/KWh ^(*)	26.474
1.2	Χημικά λειτουργίας και καθαρισμού, αναγωγή κόστους αντικατάστασης μεμβρανών στο χρόνο	0,25 €/m ³	17.665
1.3	Συντήρηση Μονάδας, ανταλλακτικά, αναλώσιμα		4.000
1.4	Δαπάνες προσωπικού, λειτουργία-συντήρηση (2 άτομα)	30.000 €	60.000
1.5	Τεχνική υποστήριξη από τον κατασκευαστή		6.000
1.6	Ασφάλεια έργου		2.000
1.7	Διάφορα έξοδα		2.000
	Υπο-Σύνολο		118.139
	Απρόβλεπτα (3%)		3.544
	Σύνολο		121.683
	ΦΠΑ (14%)		17.036
2.	Αντλιοστάσιο, καταθλιπτικός αγωγός, αυτοματισμοί		
2.1	Συντήρηση του εξοπλισμού, ανταλλακτικά, αναλώσιμα		2.000
	Υπο-Σύνολο		2.000
	Απρόβλεπτα (3%)		60
	Σύνολο		2.060
	ΦΠΑ (14%)		288
3.	Ανεμογεννήτριες		
3.1	Συντήρηση μονάδας, ανταλλακτικά, αναλώσιμα		17.000
3.2	Δαπάνες προσωπικού, λειτουργίας-συντήρησης		60.000
3.3	Τεχνική υποστήριξη από τον κατασκευαστή		5.000
3.4	Ασφάλεια Έργου		5.000
3.5	Διάφορα έξοδα		4.000
	Υπο-Σύνολο		91.000
	Απρόβλεπτα (3%)		2.700

	Σύνολο		93.700
	ΦΠΑ (14%)		13.118
	Γενικό Σύνολο (8,2 % του κόστους εγκατάστασης)		237.443
	ΦΠΑ συνολικό		34.242

(*) ΔΕΗ, τιμολόγιο B2B, τιμές πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας υπό μέση τάση

3. Προσωπικό αιολικού πάρκου και μονάδας αφαλάτωσης

Η λειτουργία της Μονάδας Αφαλάτωσης και του εξοπλισμού καθώς και οι τακτικές συντηρήσεις πρώτης βαθμίδας επί τόπου θα γίνονται από 2 τεχνικούς ειδικά εκπαιδευμένους με δυνατότητα κάλυψης σχεδόν επί 24ώρου βάσεως, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες. Για λόγους εξασφάλισης της μεγαλύτερης δυνατής αξιοπιστίας και ομαλής λειτουργίας σε συνεχή βάση θα τύχουν ειδικής εκπαίδευσης για να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του έργου και θα υπάρχει η δυνατότητα εναλλαγής/αντικατάστασης (άδειες, ασθένειες, αργίες κλπ) καθώς και για κάθε συνδρομή όταν απαιτείται.

Επιπλέον θα απαιτηθούν υπηρεσίες διεύθυνσης και διαχείρισης του έργου, της Μονάδας Αφαλάτωσης και των Ανεμογεννητριών. Η διεύθυνση και διοίκηση του έργου αφορά στη συνεχή παρακολούθηση της λειτουργίας του έργου, την ανάλυση των στοιχείων και εκτίμηση της αποδοτικότητάς του ποιοτικά και ποσοτικά, την προμήθεια αναλωσίμων, ανταλλακτικών και άλλων υλικών και αναγκαίου εξοπλισμού, τις εισπράξεις και πληρωμές, τις προγραμματισμένες κύριες συντηρήσεις και τις ανωμαλίες και γενικά αντιμετώπιση και επίλυση τυχόν προβλημάτων διοίκησης αυτής της τεχνικής μονάδας και επιχειρηματικής δραστηριότητας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι αυτή η σύνθετη μονάδα εξυπηρετεί ζωτικές ανάγκες της Σικίνου, η διοικητική υποστήριξη πρέπει να είναι άρτια και συνεχής με υψηλό αίσθημα ευθύνης.

Η λειτουργία της μονάδας είναι σε συνεχή βάση και σε αυτό θα ανταποκρίνεται το προσωπικό λειτουργίας και συντήρησης καθώς και η διεύθυνση του έργου.

Επομένως, σε ότι αφορά το προσωπικό για τη Μονάδα Αφαλάτωσης, εκτιμάται:

- Δύο Τεχνικοί, πλήρους απασχόλησης, μέσης τεχνικής στάθμης
- Διεύθυνση της μονάδας και λογιστική υποστήριξη, γενικά έξοδα διοίκησης

Για τις Α/Γ προβλέπονται 2 τεχνικοί/ηλεκτρολόγοι μέσης τεχνικής στάθμης με ειδική εκπαίδευση για τις ανάγκες των Α/Γ και του συστήματος εποπτείας (SCADA) και δυνατότητα εναλλαγής/αντικατάστασης (άδειες, ασθένειες, αργίες κλπ) καθώς και για κάθε συνδρομή όταν απαιτείται.

Για τις ανάγκες λειτουργίας και συντήρησης προβλέπεται η χρήση ενός περονοφόρου οχήματος (fork-lift) για την εκφόρτωση-μεταφορά-αποθήκευση των αναλωσίμων και για την πλήρωση της Μονάδας Αφαλάτωσης με χημικά (πχ ανθρακικό ασβέστιο κλπ) όπου απαιτούνται μεγάλες ποσότητες.

4. Χρήσιμες οικονομικές έννοιες

Εδώ θα δοθούν σύντομα οι ορισμοί και οι εξισώσεις για μερικές οικονομικές έννοιες που χρησιμεύουν στην ανάλυση κόστους των αιολικών συστημάτων.

Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value – NPV)

Εκφράζει την αξία σε χρηματικές μονάδες που προκύπτει απ' την προεξόφληση στο παρόν όλων των καθαρών χρηματοροών κάθε έτους, δηλαδή τη διαφορά των μελλοντικών ταμειακών εισροών (εσόδων) και εκροών (εξόδων) για ολόκληρο το χρονικό ορίζοντα της επένδυσης. Η μαθηματική έκφρασή της είναι:

$$NPV = -I + \sum_{t=1}^n C_t \cdot (1+i)^{-t}$$

όπου

I η αρχική επένδυση

i το επιτόκιο προεξόφλησης

t η περίοδος προεξόφλησης

C_t η διαφορά εσόδων-εξόδων σε κάθε περίοδο

n η διάρκεια ζωής του σχεδίου επένδυσης

Αν η καθαρή παρούσα αξία μιας επένδυσης είναι θετική, προφανώς αυτό σημαίνει ότι είναι κερδοφόρα σε βάθος χρόνου.

Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR)

Είναι το επιτόκιο προεξόφλησης που μηδενίζει την NPV, δηλαδή

$$NPV = -I + \sum_{t=1}^n C_t \cdot (1 + IRR)^{-t} = 0$$

Όταν το επιτόκιο προεξόφλησης είναι ίσο με το IRR τότε οι μελλοντικές εισροές ισούνται με τις μελλοντικές εκροές (ανηγμένες στο παρόν) και αυτό σημαίνει ότι η επένδυση δεν θα αποφέρει κέρδη. Όταν το επιτόκιο είναι μεγαλύτερο του IRR η επένδυση είναι ασύμφορη (ζημιογόνα), ενώ όταν το επιτόκιο είναι μικρότερο του IRR η επένδυση είναι συμφέρουσα (οικονομικά βιώσιμη).

Αποσβέσεις

Οι αποσβέσεις αντιπροσωπεύουν τη σταδιακή μείωση της αξίας των παγίων περιουσιακών στοιχείων μιας επένδυσης (λόγω φθοράς, τεχνολογικής απαξίωσης) και θεωρητικά επιτρέπει την αντικατάστασή τους μετά το τέλος του χρήσιμου χρόνου ζωής τους. Με τη μέθοδο των αποσβέσεων επιδιώκεται η κατανομή του κόστους πάγιων στοιχείων σε όλο το χρόνο ζωής τους με

αποτέλεσμα και την αντίστοιχη φορολογική ελάφρυνση. Η κατανομή του κόστους των πάγιων στοιχείων δεν αποτελεί πραγματική ταμειακή εκροή κατά τα έτη της παραγωγικής λειτουργίας, αφού η δαπάνη για την απόκτηση του περιουσιακού στοιχείου σημειώθηκε κατά τη χρονική στιγμή απόκτησής του. Για τον υπολογισμό των αποσβέσεων των πάγιων περιουσιακών στοιχείων πρέπει να είναι γνωστά, για το καθένα, το αρχικό κόστος επένδυσης, ο χρήσιμος χρόνος ζωής και υπολειμματική του αξία. Στην πράξη χρησιμοποιείται ένας σταθερός συντελεστής απόσβεσης στη θέση του χρήσιμου χρόνου ζωής. Όταν μια επιχείρηση δικαιούται να αποσβέσει ένα ποσό σε κάποιο οικονομικό έτος (καθορίζεται νομοθετικά), τότε το ουσιαστικό της κέρδος δεν είναι το ποσό αυτό αλλά το γινόμενο αυτού με το φορολογικό συντελεστή που χρησιμοποιείται για την φορολόγηση των κερδών της. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά τον ισολογισμό, το ποσό της απόσβεσης αφαιρείται από τα καθαρά κέρδη, και αφού αυτά φορολογηθούν, προστίθεται ξανά στο ενεργητικό της.

Περίοδος ανάκτησης κεφαλαίου

Ορίζεται ως το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να καλυφθεί η δαπάνη της αρχικής επένδυσης από τις ετήσιες ταμειακές ροές μετά φόρων. Όσο μικρότερη είναι η περίοδος ανάκτησης του κεφαλαίου τόσο ασφαλέστερη θεωρείται η επένδυση. Γενικά, επενδυτικά σχέδια με περίοδο ανάκτησης μεγαλύτερη των 7 έως 8 ετών θεωρούνται από τους επενδυτές ριψοκίνδυνα ή χαμηλής απόδοσης.

Μέθοδος των ισοτοκοχρεωλυσίων

Είναι μια συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την εξόφληση δανείων. Το χρεωλύσιο είναι το ποσό που πληρώνεται σε κάθε χρονική περίοδο (συνήθως ένα έτος) για την αποπληρωμή του δανείου. Το χρεωλύσιο τοκίζεται και προκύπτει το τοκοχρεωλύσιο. Η μέθοδος των ισοτοκοχρεωλυσίων είναι, όπως φανερώνει το όνομά της, ένας τρόπος εξόφλησης δανείων που βασίζεται στην πληρωμή ίσων τοκοχρεωλυσίων σε κάθε χρονική περίοδο. Αν K είναι το κεφάλαιο του δανείου, N τα έτη αποπληρωμής και i_δ το επιτόκιο δανεισμού, τότε το σταθερό τοκοχρεωλύσιο ισούται με:

$$X = \frac{K \cdot i_\delta}{1 - (1 + i_\delta)^{-N}}$$

5. Ανάλυση κόστους παραγωγής

Για να προχωρήσουμε στην ανάλυση του κόστους παραγωγής πρέπει, εκτός απ' τα κόστη προμήθειας, συντήρησης κλπ που είδαμε παραπάνω, να εξετάσουμε το χρονικό ορίζοντα του έργου, δηλαδή ουσιαστικά την διάρκεια ζωής του τεχνικού εξοπλισμού.

- Μονάδα αφαλάτωσης: 20 χρόνια (μέγιστη)
- Δεξαμενές αποθήκευσης νερού και αγωγοί: >20 χρόνια
- Ανεμογεννήτριες: 20 χρόνια (κανονική)

Θα λάβουμε την οικονομική διάρκεια ζωής του έργου ίση με την τεχνική, δηλαδή 20 χρόνια. Το ύψος της επένδυσης που απαιτείται είναι: 2.880.000 €. Το ποσό αυτό θα καλυφθεί ως εξής:

- Κατά 45% (1.296.000 €) των δαπανών από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ανταγωνιστικότητα», Μέτρο 6.3 - Ειδικές ενεργειακές υποδομές για τα νησιά και για την προώθηση των ΑΠΕ, Δράση 6.3.2 - Έργα προώθησης καινοτόμων λύσεων
- Ίδια συμμετοχή 30% (864.000 €)
- Τραπεζικό δάνειο 25% (720.000 €)

Το επιτόκιο δανεισμού εκτιμάται στο $i_δ = 7\%$ και η περίοδος αποπληρωμής σε 5 έτη με τη μέθοδο των ισοτοκοχρεωλυσιών.

$K = 720.000$ €, $i_δ = 7\%$ και $N = 5$, οπότε (βλ. προηγούμενη παράγραφο) το τοκοχρεωλύσιο X είναι

$$X = \frac{720000 \cdot 0,07}{1 - (1 + 0,07)^{-5}} = 175601 \text{ €}$$

Συνεπώς η αποπληρωμή του δανείου θα γίνει ως εξής:

Δάνειο: 720.000	ΕΤΟΣ 1	ΕΤΟΣ 2	ΕΤΟΣ 3	ΕΤΟΣ 4	ΕΤΟΣ 5
Χρεωλύσιο	125.201	133.965	143.343	153.377	164.113
Τόκοι	50.400	41.636	32.258	22.224	11.488
Τοκοχρεωλύσιο	175.601	175.601	175.601	175.601	175.601

**Αποπληρωμή του δανείου με τη μέθοδο των ισοτοκοχρεωλυσιών
(τιμές του πίνακα σε €)**

Ο συντελεστής φορολογίας των καθαρών κερδών λαμβάνεται ίσος με 35%.

Η απόσβεση για 20 έτη δίνει ετήσιο συντελεστή $1/20 = 5\%$. Άρα το ετήσιο κόστος απόσβεσης είναι:

$$\text{απόσβεση} = 2.880.000 \cdot (1 - 45\%) \cdot 5\% = 79.200 \text{ €/έτος}$$

Η υπολειμματική αξία του έργου θεωρείται μηδενική, με τη λογική ότι το κράτος παραχωρεί το δικαίωμα εκμετάλλευσης σε μια ιδιωτική εταιρεία για ορισμένο χρόνο (η οποία αναλαμβάνει την περάτωση και την αποπληρωμή του, αλλά αποκομίζει και τα όποια κέρδη απ' τη λειτουργία του) και μετά την παρέλευση του χρόνου αυτού το έργο μεταβιβάζεται πάλι στο κράτος, το οποίο μπορεί να εκμεταλλευτεί το ίδιο το έργο ή να το παραχωρήσει πάλι σε άλλη εταιρεία.

Στο Παράρτημα V δίνονται οι πίνακες με τους αναλυτικούς υπολογισμούς κόστους, κερδών, καθαρής παρούσας αξίας και εσωτερικού συντελεστή απόδοσης.

Τα έσοδα του εγχειρήματος θα προκύψουν φυσικά από την πώληση του παραγόμενου νερού και ενέργειας στους καταναλωτές.

Πώληση ηλεκτρικής ενέργειας:

Είδαμε ότι κατά τη διάρκεια ενός έτους το αιολικό πάρκο δύναται να παράγει ενέργεια ίση με 4.930.314 KWh. Σύμφωνα με τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας^[29] η ΔΕΗ αγοράζει την παραγόμενη από αιολικά κιλοβατώρα (στα μη διασυνδεδεμένα νησιά) προς 0,08742 €/KWh. Άρα το κέρδος κατά τη διάρκεια ενός έτους είναι:

$$4.930.314 \text{ KWh} \cdot 0,08742 \text{ €/KWh} = 431.008 \text{ €}$$

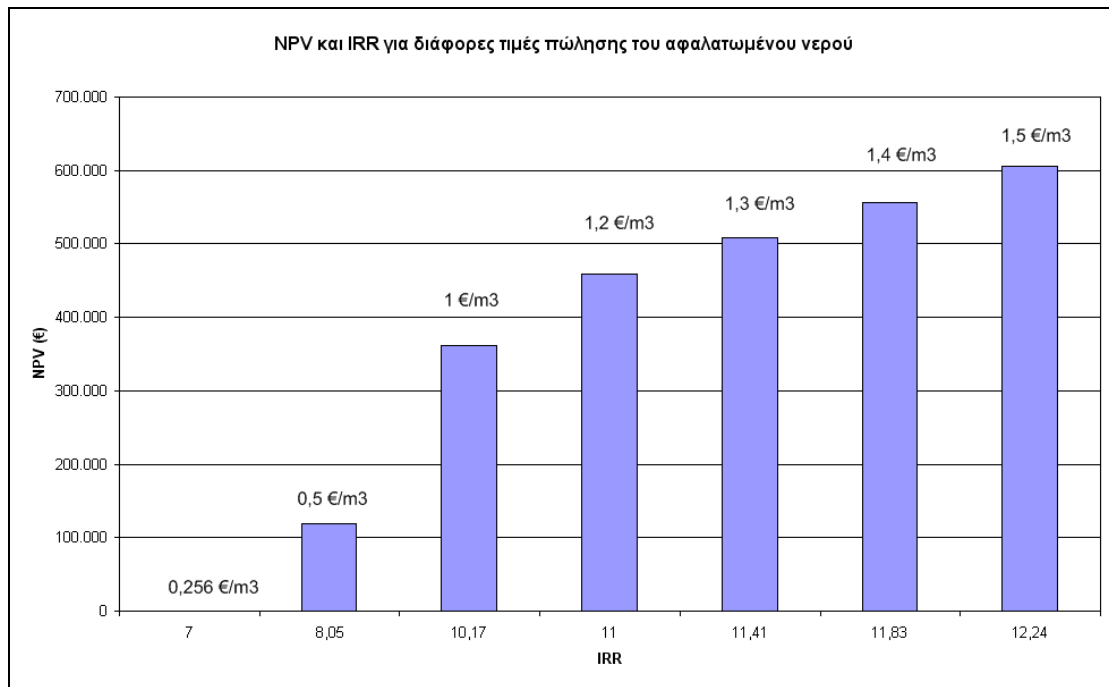
Πώληση νερού:

Στο Κεφάλαιο 1 είδαμε ότι η ετήσια παραγωγή νερού από τη Μονάδα Αφαλάτωσης είναι 70.660 m³ (σύμφωνα με το μοντέλο σταθερής παραγωγής ανά μήνα που παρουσιάστηκε εκεί). Δεδομένου ότι η τιμή του κυβικού σήμερα στη Σίκινο είναι περίπου 3 €, για να αποδειχτεί συμφέρουσα η Μ/Α πρέπει το νερό να κοστίζει λιγότερο. Από τους υπολογισμούς μας προκύπτει ότι για τιμή νερού περίπου 0,256 €/m³ μηδενίζεται η NPV και το IRR γίνεται ίσο με το επιτόκιο 7%, άρα η επένδυση καθίσταται οριακά συμφέρουσα. Για την τιμή 1,45 €/m³ το IRR γίνεται 12%, που σημαίνει ότι η επένδυση είναι πολύ προσοδοφόρα, ενώ το νερό είναι 51,6% φθηνότερο σε σχέση με το σημερινό καθεστώς. Με αυτή την τιμή για το νερό τα ετήσια έσοδά μας είναι:

$$70.660 \text{ m}^3 \cdot 1,45 \text{ €/m}^3 = 102.457 \text{ €}$$

Στα ετήσια έξοδα της επένδυσης περιλαμβάνονται οι δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης, το τοκοχρεωλύσιο, οι αποσβέσεις και η φορολογία.

Παρακάτω δίνεται ένα διάγραμμα της NPV για διάφορες τιμές του νερού. Ο σκοπός είναι να φανεί η αποδοτικότητα του έργου αν επιλεγεί διαφορετική τιμή πώλησης και ο αντίστοιχος IRR.



Παρατηρούμε ότι η NPV ανεβαίνει κατακόρυφα με μικρή σχετικά αύξηση του κόστους του νερού.

Όσο για την περίοδο ανάκτησης κεφαλαίου σε σχέση με το κόστος του νερού βρίσκουμε την εξής συσχέτιση:

Κόστος νερού (€/m ³)	Περίοδος ανάκτησης κεφαλαίου (έτη)
0,5	11,5
1	9,5
1,2	9,5
1,3	9,5
1,4	8,5
1,5	8,5
2	7,5

Με κριτήριο τη γρήγορη ανάκτηση του ίδιου κεφαλαίου, η τιμή του αφαλατωμένου νερού δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 1,4 €/m³ και άρα είναι στο χέρι του επενδυτή, σε συμφωνία με την Κοινότητα του νησιού, να βρουν μια κοινά αποδεκτή λύση που θα συμφέρει και τους δυο. Πάντως το κόστος του νερού θα είναι οπωσδήποτε σημαντικά μικρότερο από το σημερινό (3 €/m³).

6. Περιβαλλοντικά οφέλη

Από περιβαλλοντικής σκοπιάς, η παραγωγή σημαντικών ενεργειακών ποσοτήτων από αιολικά είναι ανεκτίμητη. Είδαμε στο 1^ο Κεφάλαιο ότι ο ΑΣΠ Πάρου καίει βασικά μαζούτ. Το 2007 έκαψε 2.832.724 kg μαζούτ, παρήγαγε 14.069.175 KWh ενέργειας, με μέση ειδική κατανάλωση 0,204 kg/KWh. Το μαζούτ αγοράζεται προς 0,15 €/kg περίπου. Η δυνάμενη να παραχθεί ενέργεια από το αιολικό πάρκο είναι 4.930.314 KWh. Εάν υποθέσουμε ότι οι ΜΕΚ του ΑΣΠ Πάρου έχουν μέσο βαθμό απόδοσης 30%, τότε για να παραχθεί αυτή η ενέργεια έπρεπε να παραχθεί θερμική ενέργεια ίση με

$$\frac{4930314}{30\%} = 16434380 \text{ KWh}$$

Γι' αυτό θα πρέπει να καούν

$$16.434.380 \cdot 0,204 = 3352613,52 \text{ kg} \approx 3.353 \text{ τόνοι μαζούτ}$$

με αντίστοιχο κόστος

$$3.352.613,52 \cdot 0,15 = 502.892 \text{ € ετησίως}$$

Κατά μέσο όρο, ένας τόνος μαζούτ εκπέμπει 3.175 kg CO₂ και άρα οι 3.353 τόνοι εκπέμπουν

$$3.353 \cdot 3,175 = 10.645.775 \text{ kg} \approx 10.646 \text{ τόνους CO}_2 \text{ ετησίως}$$

Τόσο επιβαρύνει το περιβάλλον η Σίκινος κάθε χρόνο και άρα αυτή η ποσότητα CO₂ μπορεί να εξοικονομηθεί χάρη στην αιολική ενέργεια.

7. Συμπεράσματα

Είδαμε παραπάνω τα περιβαλλοντικά οφέλη απ' την αποφυγή των εκπομπών CO₂. Τα οικονομικά οφέλη είναι βέβαια η εξοικονόμηση του καυσίμου απ' τον ΑΣΠ της Πάρου, τα σημαντικά έξοδα που επωμίζεται το κράτος για τη μεταφορά νερού με υδροφόρες και το μεγάλο κόστος του πόσιμου νερού για τους κατοίκους και τους επισκέπτες της Σικίνου. Το σύνθετο αυτό έργο μπορεί να δώσει στο νησί την ευκαιρία να ανεξαρτητοποιηθεί ενεργειακά και υδρευτικά απ' την ηπειρωτική Ελλάδα και μάλιστα σε μια περίοδο που το πόσιμο νερό λιγοστεύει και η ενέργεια ακριβαίνει. Είναι κρίμα στα νησιά του Αιγαίου, που διαθέτουν πλούσιο και καλής ποιότητας αιολικό δυναμικό, να μην εγκαταστήσουμε ανεμογεννήτριες που θα αξιοποιήσουν αυτό το ανεξάντλητο και δωρεάν «καύσιμο», με άμεσο όφελος τη φτηνή παραγωγή πόσιμου νερού και μάλιστα χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Πρέπει να διευκρινιστεί ότι δεν εξετάστηκαν συστήματα ανάκτησης ενέργειας στην αφαλάτωση και αποθήκευσης ενέργειας στα αιολικά, διότι

αυτό θα ανέβαζε σημαντικά το κόστος του έργου και άρα την τιμή του νερού, οπότε θα αναιρούσε τα οφέλη του.

Φορέας υλοποίησης του έργου μπορεί να είναι μια ιδιωτική επιχείρηση, που θα επωμιστεί σημαντικά κέρδη, η ίδια η Κοινότητα της Σικίνου ή ακόμα και το ελληνικό δημόσιο. Η οικονομική ανάλυση που έγινε έδειξε ότι πρόκειται για μια βιώσιμη και κερδοφόρα επένδυση για οποιονδήποτε επιχειρήσει την υλοποίησή της.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΣΠ ΠΑΡΟΥ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΑ ΣΙΚΙΝΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΕΤΟΣ 2007

29/02 '08 FRI 09:08 FAX +30 22840 51780 ΔΕΗ ΔΡΠΝ/ASP PAROS ☑001
 ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε. +30 22840 51780
 ΔΠΑΝ / Α.Σ.Π. ΠΑΡΟΥ
 ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ : Δ.Α.ΣΙΦΝΑΙΟΣ
 ΤΗΛ: 22840 - 51450 / 52511
 FAX: 22840 - 51780

ΕΛΑΧΙΣΤΑ & ΜΕΓΙΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ ΑΝΑΧΩΡΗΣΗΣ P-370 (AMPERE) ΕΤΟΥΣ 2007

ΗΜΕΡ.	ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ												ΜΕΓΙΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ												
	ΑΝΑΧΩΡΗΣΗ P-370 (ΣΙΚΙΝΟΣ-ΦΟΛΕΓΑΝΑΡΟΣ & ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΙΟΥ)																								
	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	
1	14	14	43	38	39	41	27	54	51	33	30	43	60	60	47	54	55	63	78	135	106	37	49	53	
2	49	41	39	37	44	37	27	39	56	34	42	46	59	50	52	52	59	62	82	140	110	38	48	54	
3	47	48	39	41	43	40	40	36	43	35	44	41	58	60	60	63	52	64	95	123	102	43	39	47	
4	48	47	39	47	44	40	32	40	38	30	38	37	54	56	56	56	50	71	95	135	98	43	50	42	
5	42	41	42	40	40	31	45	43	38	32	40	42	58	60	50	59	57	60	100	153	65	84	48	48	
6	42	41	41	47	44	32	47	49	29	41	40	44	60	65	52	67	56	62	87	141	92	95	47	59	
7	45	39	43	47	40	38	33	57	41	44	42	43	61	66	59	86	53	54	88	151	59	81	50	62	
8	45	43	48	42	38	29	27	52	37	44	40	38	61	61	58	61	56	56	78	148	81	86	53	57	
9	44	49	45	42	40	37	30	49	37	36	45	38	61	62	48	62	55	58	96	150	81	49	66	53	
10	48	48	39	37	37	35	48	60	39	35	38	41	58	59	55	56	48	64	108	158	77	48	55	48	
11	47	41	41	39	37	36	43	60	38	44	44	39	61	58	47	56	55	63	100	137	75	50	49	47	
12	42	41	42	39	37	43	30	54	42	44	39	44	66	57	48	54	55	75	99	158	86	48	44	58	
13	43	40	39	38	38	40	44	48	34	43	34	49	56	63	58	52	90	74	95	156	56	42	52	55	
14	46	40	40	36	37	43	36	42	34	41	38	47	59	59	68	56	46	70	107	151	62	44	51	66	
15	48	42	14	43	32	41	47	60	37	35	41	51	59	58	68	57	57	73	105	140	80	41	42	61	
16	43	48	48	36	41	43	47	61	28	36	40	44	60	62	62	47	59	77	107	141	94	38	42	55	
17	44	43	48	34	41	44	48	61	34	36	40	45	58	82	62	54	41	75	110	150	60	44	45	58	
18	44	41	14	37	29	44	53	47	40	48	36	42	58	60	51	58	56	79	115	145	67	49	39	53	
19	37	46	39	39	33	42	47	46	40	44	42	39	48	61	52	56	80	82	120	152	67	43	50	52	
20	40	46	46	39	40	44	41	55	42	35	38	43	57	53	49	57	47	90	115	154	61	44	44	61	
21	48	41	38	42	41	30	45	66	30	39	41	46	50	58	58	51	52	168	118	155	46	47	47	56	
22	37	48	44	38	37	41	37	60	30	39	36	43	50	59	60	55	61	56	120	140	51	42	51	60	
23	47	45	45	35	43	41	49	41	28	34	47	44	54	55	61	42	62	57	130	126	54	39	56	58	
24	38	38		37	42	41	39	37	36	38	47	48	53	57		55	62	49	130	127	68	48	57	65	
25	40	44		45	43	38	70	43	31	41	47	50	50	56		58	52	99	148	127	56	50	55	56	
26	41	42		42	43	49	74	43	32	41	40	43	57	64		51	62	100	130	107	56	44	43	54	
27	41	48		40	33	41	69	35	41	39	37	41	53	56		52	55	98	138	105	61	45	52	50	
28	37	40		41	41	56	55	30	41	39	41	38	60	62		53	55	96	130	101	53	49	49	38	
29	48			41	36	51	48	34	35	44	41	38	59			54	53	99	136	91	49	49	58	45	
30	44			43	44	37	42	60	37	33	40	43	57			65	61	54	86	125	113	45	48	58	58
31	45			45		39		50	47		38		62			65		62		144	113	50		62	
14	14	14	34	29	29	27	30	28	30	30	37		66	66	68	86	90	168	148	158	110	499	66	66	

ΕΛΑΧΙΣΤΟ

ΜΕΓΙΣΤΟ

Ο ΣΥΝΤΑΚΤΗΣ

Ο πίνακας έχει τις αντάξεις σε Α.
 Για τις 16χλμς πολλαπλασιάζεται με $\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi = 1,73 \times 15,7 \times 0,9 \approx 24,5$

Φορτία ΑΣΠ Πάρου το έτος 2007 σε Ampere^[78]

ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ (KW)												
ΗΜΕΡ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
1	102,9	102,9	316,05	279,3	286,65	301,35	198,45	396,9	374,85	242,55	220,5	316,05
2	360,15	301,35	286,65	271,95	323,4	271,95	198,45	286,65	411,6	249,9	308,7	338,1
3	345,45	352,8	286,65	301,35	316,05	294	294	264,6	316,05	257,25	323,4	301,35
4	352,8	345,45	286,65	345,45	323,4	294	235,2	294	279,3	220,5	279,3	271,95
5	308,7	301,35	308,7	294	294	227,85	330,75	316,05	279,3	235,2	294	308,7
6	308,7	301,35	301,35	345,45	323,4	235,2	345,45	360,15	213,15	301,35	294	323,4
7	330,75	286,65	316,05	345,45	294	279,3	242,55	418,95	301,35	323,4	308,7	316,05
8	330,75	316,05	352,8	308,7	279,3	213,15	198,45	382,2	271,95	323,4	294	279,3
9	323,4	360,15	330,75	308,7	294	271,95	220,5	360,15	271,95	264,6	330,75	279,3
10	352,8	352,8	286,65	271,95	271,95	257,25	352,8	441	286,65	257,25	279,3	301,35
11	345,45	301,35	301,35	286,65	271,95	264,6	316,05	441	279,3	323,4	323,4	286,65
12	308,7	301,35	308,7	286,65	271,95	316,05	220,5	396,9	308,7	323,4	286,65	323,4
13	316,05	294	286,65	279,3	279,3	294	323,4	352,8	249,9	316,05	249,9	360,15
14	338,1	294	294	264,6	271,95	316,05	264,6	308,7	249,9	301,35	279,3	345,45
15	352,8	308,7	102,9	316,05	235,2	301,35	345,45	441	271,95	257,25	301,35	374,85
16	316,05	352,8	352,8	264,6	301,35	316,05	345,45	448,35	205,8	264,6	294	323,4
17	323,4	316,05	352,8	249,9	301,35	323,4	352,8	448,35	249,9	264,6	294	330,75
18	323,4	301,35	102,9	271,95	213,15	323,4	389,55	345,45	294	352,8	264,6	308,7
19	271,95	338,1	286,65	286,65	242,55	308,7	345,45	338,1	294	323,4	308,7	286,65
20	294	338,1	338,1	286,65	294	323,4	301,35	404,25	301,35	257,25	279,3	316,05
21	352,8	301,35	279,3	308,7	301,35	220,5	330,75	485,1	220,5	286,65	301,35	338,1
22	271,95	352,8	323,4	279,3	271,95	301,35	271,95	441	220,5	286,65	264,6	316,05
23	345,45	330,75	330,75	257,25	316,05	301,35	360,15	301,35	205,8	249,9	345,45	323,4
24	279,3	279,3	0	271,95	308,7	301,35	286,65	271,95	264,6	279,3	345,45	352,8
25	294	323,4	0	330,75	316,05	279,3	514,5	316,05	227,85	301,35	345,45	367,5
26	301,35	308,7	0	308,7	316,05	360,15	543,9	316,05	235,2	301,35	294	316,05
27	301,35	352,8	0	294	242,55	301,35	507,15	257,25	301,35	286,65	271,95	301,35
28	271,95	294	0	301,35	301,35	411,6	404,25	220,5	301,35	286,65	301,35	279,3
29	352,8	0	0	301,35	264,6	374,85	352,8	249,9	257,25	323,4	301,35	279,3
30	323,4	0	316,05	323,4	271,95	308,7	441	271,95	242,55	294	308,7	316,05
31	330,75	0	330,75	0	286,65	0	367,5	345,45	0	279,3	0	345,45
MAXIMUM	360,15	360,15	352,8	345,45	323,4	411,6	543,9	485,1	411,6	352,8	345,45	374,85

Ελάχιστα φορτία Σικίνου ανά ημέρα για το έτος 2007

ΜΕΓΙΣΤΑ ΦΟΡΤΙΑ (KW)												
ΗΜΕΡ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
1	441	441	345,45	396,9	404,25	463,05	573,3	992,25	779,1	271,95	360,15	389,55
2	433,65	367,5	382,2	382,2	433,65	455,7	602,7	1029	808,5	279,3	352,8	396,9
3	426,3	441	441	463,05	382,2	470,4	698,25	904,05	749,7	316,05	286,65	345,45
4	396,9	411,6	411,6	411,6	367,5	521,85	698,25	992,25	720,3	316,05	367,5	308,7
5	426,3	441	367,5	433,65	418,95	441	735	1124,55	477,75	617,4	352,8	352,8
6	441	477,75	382,2	492,45	411,6	455,7	639,45	1036,35	676,2	698,25	345,45	433,65
7	448,35	485,1	433,65	632,1	389,55	396,9	646,8	1109,85	433,65	595,35	367,5	455,7
8	448,35	448,35	426,3	448,35	411,6	411,6	573,3	1087,8	595,35	632,1	389,55	418,95
9	448,35	455,7	352,8	455,7	404,25	426,3	705,6	1102,5	595,35	360,15	485,1	389,55
10	426,3	433,65	404,25	411,6	352,8	470,4	779,1	1161,3	565,95	338,1	404,25	352,8
11	448,35	426,3	345,45	411,6	404,25	463,05	735	1006,95	551,25	367,5	360,15	345,45
12	485,1	418,95	352,8	396,9	404,25	551,25	727,65	1161,3	632,1	352,8	323,4	426,3
13	411,6	463,05	411,6	382,2	661,5	543,9	698,25	1146,6	411,6	308,7	382,2	404,25
14	433,65	433,65	499,8	411,6	338,1	514,5	786,45	1109,85	455,7	323,4	374,85	485,1
15	433,65	426,3	499,8	418,95	418,95	536,55	771,75	1029	588	301,35	308,7	448,35
16	441	455,7	455,7	345,45	433,65	565,95	786,45	1036,35	690,9	279,3	308,7	404,25
17	426,3	455,7	455,7	396,9	301,35	551,25	808,5	1102,5	441	323,4	330,75	426,3
18	426,3	441	374,85	426,3	411,6	580,65	845,25	1065,75	492,45	360,15	286,65	389,55
19	352,8	448,35	382,2	411,6	441	602,7	882	1117,2	492,45	316,05	367,5	382,2
20	418,95	389,55	360,15	418,95	345,45	661,5	845,25	1131,9	448,35	323,4	323,4	448,35
21	367,5	426,3	411,6	374,85	382,2	1234,8	867,3	1139,25	338,1	345,45	345,45	411,6
22	367,5	433,65	441	404,25	448,35	411,6	882	1029	374,85	308,7	374,85	441
23	396,9	404,25	448,35	308,7	455,7	418,95	955,5	926,1	396,9	286,65	411,6	426,3
24	389,55	418,95	0	404,25	455,7	360,15	955,5	933,45	499,8	352,8	418,95	477,75
25	367,5	411,6	0	426,3	382,2	727,65	1087,8	933,45	411,6	367,5	404,25	411,6
26	418,95	470,4	0	374,85	455,7	735	955,5	786,45	411,6	323,4	316,05	396,9
27	389,55	411,6	0	382,2	404,25	720,3	1014,3	771,75	448,35	330,75	382,2	367,5
28	441	455,7	0	389,55	404,25	705,6	955,5	742,35	389,55	360,15	360,15	279,3
29	433,65	0	0	396,9	389,55	727,65	999,6	668,85	360,15	360,15	426,3	330,75
30	418,95	0	477,75	448,35	396,9	632,1	918,75	830,55	330,75	352,8	411,6	426,3
31	455,7	0	477,75	0	455,7	0	1058,4	830,55	0	367,5	0	455,7
MAXIMUM	485,1	485,1	499,8	632,1	661,5	1234,8	1087,8	1161,3	808,5	698,25	485,1	485,1

Μέγιστα φορτία Σκίνου ανά ημέρα για το έτος 2007

ΜΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ ΣΤΗ ΣΙΚΙΝΟ (KWh), ΕΤΟΣ 2007

ΗΜΕΡ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
1	6527	6527	7938	8114	8291	9173	9261	16670	13847	6174	6968	8467
2	9526	8026	8026	7850	9085	8732	9614	15788	14641	6350	7938	8820
3	9261	9526	8732	9173	8379	9173	11907	14024	12789	6880	7321	7762
4	8996	9085	8379	9085	8291	9790	11201	15435	11995	6439	7762	6968
5	8820	8908	8114	8732	8555	8026	12789	17287	9085	10231	7762	7938
6	8996	9349	8203	10055	8820	8291	11819	16758	10672	11995	7673	9085
7	9349	9261	8996	11731	8203	8114	10672	18346	8820	11025	8114	9261
8	9349	9173	9349	9085	8291	7497	9261	17640	10408	11466	8203	8379
9	9261	9790	8203	9173	8379	8379	11113	17552	10408	7497	9790	8026
10	9349	9437	8291	8203	7497	8732	13583	19228	10231	7144	8203	7850
11	9526	8732	7762	8379	8114	8732	12613	17375	9967	8291	8203	7585
12	9526	8644	7938	8203	8114	10408	11378	18698	11290	8114	7321	8996
13	8732	9085	8379	7938	11290	10055	12260	17993	7938	7497	7585	9173
14	9261	8732	9526	8114	7321	9967	12613	17023	8467	7497	7850	9967
15	9437	8820	7232	8820	7850	10055	13406	17640	10319	6703	7321	9878
16	9085	9702	9702	7321	8820	10584	13583	17816	10760	6527	7232	8732
17	8996	9261	9702	7762	7232	10496	13936	18610	8291	7056	7497	9085
18	8996	8908	5733	8379	7497	10849	14818	16934	9437	8555	6615	8379
19	7497	9437	8026	8379	8203	10937	14729	17464	9437	7673	8114	8026
20	8555	8732	8379	8467	7673	11819	13759	18434	8996	6968	7232	9173
21	8644	8732	8291	8203	8203	17464	14377	19492	6703	7585	7762	8996
22	7673	9437	9173	8203	8644	8555	13847	17640	7144	7144	7673	9085
23	8908	8820	9349	6791	9261	8644	15788	14729	7232	6439	9085	8996
24	8026	8379	0	8114	9173	7938	14906	14465	9173	7585	9173	9967
25	7938	8820	0	9085	8379	12083	19228	14994	7673	8026	8996	9349
26	8644	9349	0	8203	9261	13142	17993	13230	7762	7497	7321	8555
27	8291	9173	0	8114	7762	12260	18257	12348	8996	7409	7850	8026
28	8555	8996	0	8291	8467	13406	16317	11554	8291	7762	7938	6703
29	9437	0	0	8379	7850	13230	16229	11025	7409	8203	8732	7321
30	8908	0	9526	9261	8026	11290	16317	13230	6880	7762	8644	8908
31	9437	0	9702	0	8908	0	17111	14112	0	7762	0	9614
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΗΜΕΡΑΣ	8823	8092	6860	8245	8382	9930	13699	16243	9196	7847	7673	8615
ΜΕΣΗ ΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΗΝΑ	273508	250841	212650	255604	259837	307818	424683	503534	285062	243256	237875	267070
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: 3.521.738 KWh ≈ 3,52 GWh												

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΟΣΜΩΣΗΣ

Εξισώσεις επίλυσης για τη μέθοδο «στοιχείο προς στοιχείο»	
Παράμετρος	Εξίσωση
Ροή προϊόντος	$Q_i = A_i \bar{\pi}_i S_E (TCF)(FF) \left(P_{fi} - \frac{\Delta P_{fci}}{2} - P_{pi} - \bar{\pi} + \pi_{pi} \right)$
Μέση οσμωτική πίεση στην πλευρά της άλμης	$\bar{\pi}_i = \pi_{fi} \left(\frac{C_{fci}}{C_{fi}} \right) (pf_i)$
Μέση οσμωτική πίεση στην πλευρά του προϊόντος	$\bar{\pi}_{pi} = \pi_{fi} (1 - R_i)$
Λόγος μέσης συγκέντρωσης στην πλευρά της άλμης προς τη συγκέντρωση της τροφοδοσίας για το στοιχείο i	$\frac{C_{fci}}{C_{fi}} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{C_{ci}}{C_{fi}} \right)$
Λόγος συγκεντρώσεων άλμης προς τροφοδοσία για το στοιχείο i	$\frac{C_{ci}}{C_{fi}} = \frac{1 - Y_i (1 - R_i)}{1 - Y_i}$
Οσμωτική πίεση τροφοδοτικού νερού	$\pi_f = 1,12(273 + T) \sum m_j$
Διορθωτικός συντελεστής θερμοκρασίας μεμβράνης	$TCF = EXP \left[2640 \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{273 + T} \right) \right], T \geq 25^\circ C$ $TCF = EXP \left[3020 \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{273 + T} \right) \right], T \leq 25^\circ C$
Συντελεστής πόλωσης της συγκέντρωσης για μεμβράνες της FILMTEC 8 ιντσών	$pf_i = EXP(0,7Y_i)$
Λόγος ανάκτησης συστήματος	$Y = 1 - [(1 - Y_1)(1 - Y_2) \dots (1 - Y_n)] = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Y_i)$
Συγκέντρωση προϊόντος	$C_{pj} = B(C_{fci})(pf_i)(TCF) \frac{S_E}{Q_i}$

Εξισώσεις επίλυσης για ολόκληρο το σύστημα

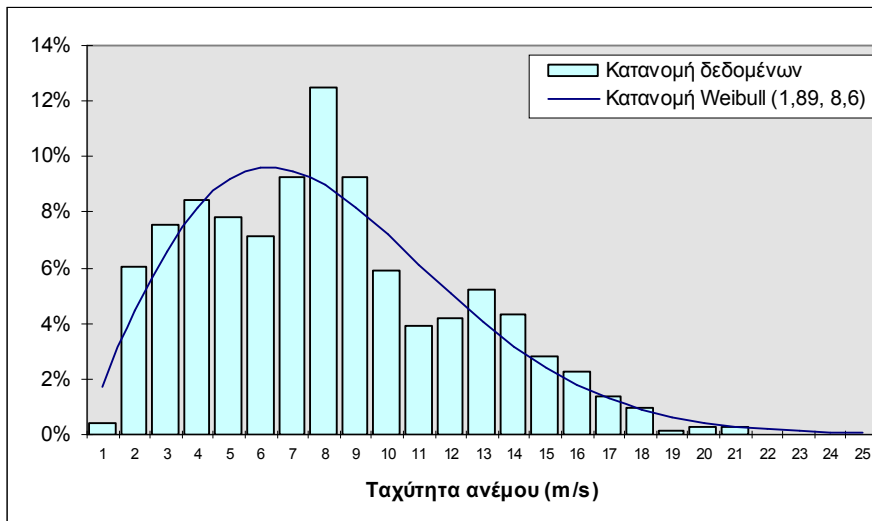
Παράμετρος	Εξίσωση
Ολική ροή προϊόντος	$Q = N_E S_E \bar{A} \bar{\pi} (TCF) (FF) P_f - \frac{\Delta P_{fc}}{2} P_p - \pi_f \left[\frac{\bar{C}_{fc}}{C_f} P_f - (1 - \bar{R}) \right]$
Λόγος μέσης συγκέντρωσης στην πλευρά της άλμης προς τη συγκέντρωση της τροφοδοσίας για το σύστημα	$\frac{C_{fc}}{C_f} = \frac{-\bar{R} \ln(1 - Y/Y_L)}{Y - (1 - Y_L) \ln(1 - Y/Y_L)} + (1 - \bar{R})$
Οριακή ανάκτηση συστήματος	$Y_L = 1 - \frac{\pi_f (\overline{pf})(\bar{R})}{P_f - \Delta P_{fc} - P_p}$
Λόγος μέσης λογαριθμικής συγκέντρωσης στην πλευρά της άλμης προς τη συγκέντρωση της τροφοδοσίας για το σύστημα	$\left. \frac{C_{fc}}{C_f} \right _{Y_L, \bar{R}=1} = -\frac{\ln(1 - Y)}{Y}$
Μέση ανάκτηση στοιχείου	$Y_i = 1 - (1 - Y)^{1/n}$
Μέσος συντελεστής πόλωσης	$\overline{pf} = EXP(0,7\bar{Y}_i)$
Μέση οσμωτική πίεση στην πλευρά της άλμης για το σύστημα	$\bar{\pi} = \pi_i \left(\frac{\bar{C}_{fc}}{C_f} \right) \overline{pf}$
Μέση πτώση πίεσης συστήματος στην πλευρά της άλμης για μεμβράνες της FILMTEC 8 ιντσών, δυο σταδίων	$\Delta P_{fc} = 0,04 \bar{q}_{fc}^2$
Πτώση πίεσης στην πλευρά της άλμης για μια μεμβράνη της FILMTEC 8 ιντσών ή για μονό στάδιο	$\Delta P_{fc} = \left[\frac{0,1(Q/1440)}{YN_{V2}} \right] \left(\frac{1}{N_{VR}} + 1 - Y \right)$ $\Delta P_{fc} = 0,01 n \bar{q}_{fc}^{1,7}$
Διαπερατότητα μεμβράνης της FILMTEC ως συνάρτηση της μέσης οσμωτικής πίεσης στην πλευρά της άλμης	$\bar{A}(\bar{\pi}) = 0,125, \bar{\pi} \leq 25$ $\bar{A}(\bar{\pi}) = 0,125 - 0,011 \left(\frac{\bar{\pi} - 25}{35} \right), 25 \leq \bar{\pi} \leq 200$ $\bar{A}(\bar{\pi}) = 0,070 - 0,0001(\bar{\pi} - 200), 200 \leq \bar{\pi} \leq 400$
Συγκέντρωση προϊόντος	$C_p = B(C_{fc})(\overline{pf})(TCF) \left(\frac{N_E S_E}{Q} \right)$

Πίνακας συμβόλων			
Q_i	ροή προϊόντος στο στοιχείο i (gpd)	\sum_j	άθροισμα όλων των ειδών ιόντων
$A_i \pi_i$	διαπερατότητα μεμβράνης στους 25°C στο στοιχείο i, συνάρτηση της μέσης οσμωτικής πίεσης στην πλευρά της άλμης (gfd/psi)	Y	ανάκτηση συστήματος $= Q_p / Q_f$
S_E	επιφάνεια μεμβράνης ανά στοιχείο (ft ²)	$\prod_{i=1}^n$	γινόμενο n παραμέτρων σε σειρά n στοιχείων
TCF	διορθωτικός συντελεστής θερμοκρασίας για τη διαπερατότητα της μεμβράνης	n	αριθμός στοιχείων στη σειρά
FF	συντελεστής επικαθίσεων στη μεμβράνη (Fouling Factor)	Q	ροή προϊόντος συστήματος (gpd)
P_{fi}	πίεση τροφοδοσίας στο στοιχείο i (psi)	N_E	αριθμός των στοιχείων στο σύστημα
ΔP_{fci}	πτώση πίεσης στην πλευρά της άλμης στο στοιχείο i (psi)	\bar{Q}_i	μέση ροή προϊόντος ανά στοιχείο (gpd) $= Q_p / N_E$
P_{pi}	πίεση προϊόντος στο στοιχείο i (psi)	$\bar{A}(\bar{\pi})$	μέση διαπερατότητα μεμβράνης στους 25°C : συνάρτηση της μέσης οσμωτικής πίεσης στην πλευρά της άλμης (gfd/psi)
$\bar{\pi}_i$	μέση οσμωτική πίεση στην πλευρά της άλμης στο στοιχείο i (psi)	\bar{C}_{fc}	μέση συγκέντρωση συστήματος στην πλευρά της άλμης (ppm)
π_{fi}	οσμωτική πίεση τροφοδοσίας στο στοιχείο i (psi)	\bar{R}	μέση απόρριψη άλατος για το σύστημα
π_{pi}	οσμωτική πίεση προϊόντος στο στοιχείο i (psi)	$\bar{\pi}$	μέση οσμωτική πίεση συστήματος στην πλευρά της άλμης (psi)
pf_i	συντελεστής πόλωσης συγκέντρωσης στο στοιχείο i	$\overline{\Delta P}_{fc}$	μέση πτώση πίεσης συστήματος στην πλευρά της άλμης (psi)
R_i	κλάσμα απόρριψης άλατος για το στοιχείο i	Y_L	οριακή (μέγιστη) ανάκτηση συστήματος (σαν κλάσμα)
C_{fci}	μέση συγκέντρωση στην πλευρά της άλμης στο στοιχείο i (ppm)	\bar{Y}_i	μέση ανάκτηση στοιχείου (σαν κλάσμα)
C_{fi}	συγκέντρωση τροφοδοσίας στο στοιχείο i (ppm)	\overline{pf}	μέσος συντελεστής πόλωσης συγκέντρωσης
C_{ci}	συγκέντρωση άλμης στο στοιχείο i (ppm)	\bar{q}_{fc}	μέση ροή στην πλευρά της άλμης (gpm) $= 1/2 (Q_f + Q_c)$
Y_i	κλάσμα ανάκτησης στο στοιχείο i $= Q_p / Q_f$	N_V	αριθμός δοχείων πίεσης με 6 στοιχεία στο σύστημα $\cong N_E / 6$
π_f	οσμωτική πίεση τροφοδοσίας (psi)	N_{V1}	αριθμός των δοχείων πίεσης στο πρώτο στάδιο διβάθμιου συστήματος $\cong 1/3 N_V$
T	θερμοκρασία τροφοδοτικού νερού (°C)	N_{V2}	αριθμός των δοχείων πίεσης στο δεύτερο στάδιο διβάθμιου συστήματος $\cong 1/3 N_V$
m_j	μοριακή συγκέντρωση του j-στου είδους ιόντων	N_{VR}	λόγος διαβάθμισης $= N_{V1} / N_{V2}$

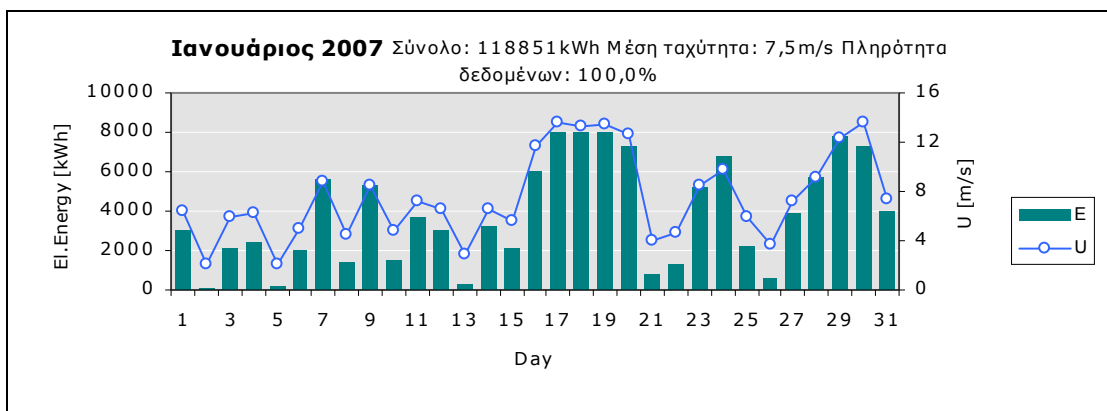
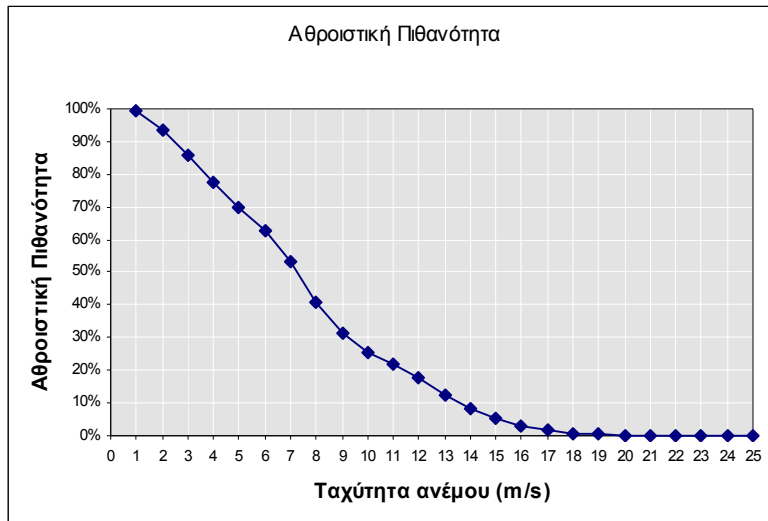
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ WINDROSE

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ

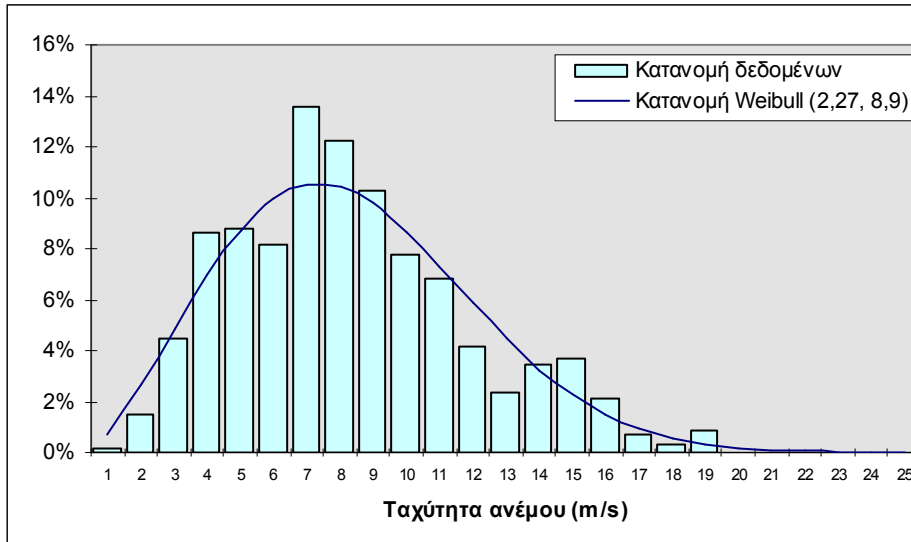


Κατανομή Weibull

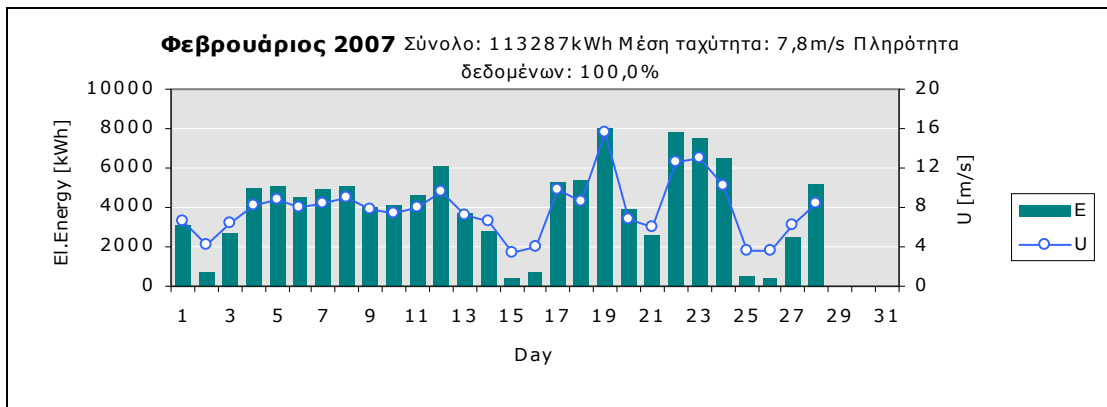
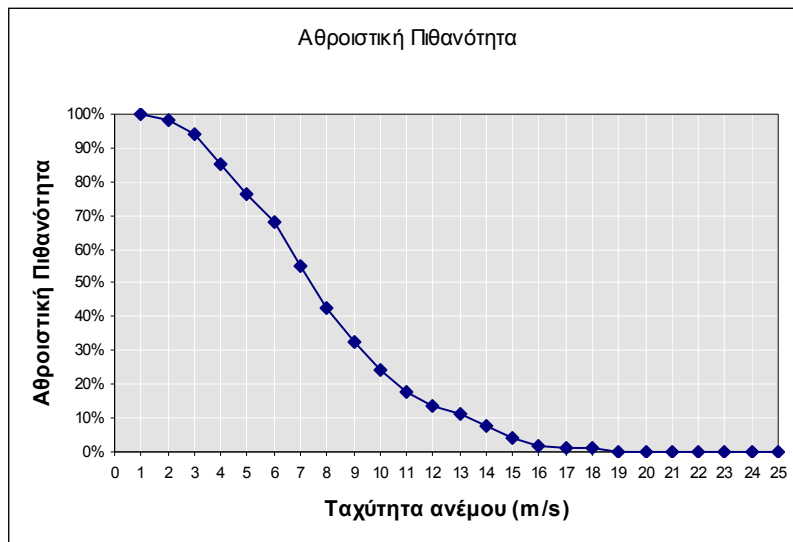


Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Enercon E33-330KW) ανά ημέρα

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ

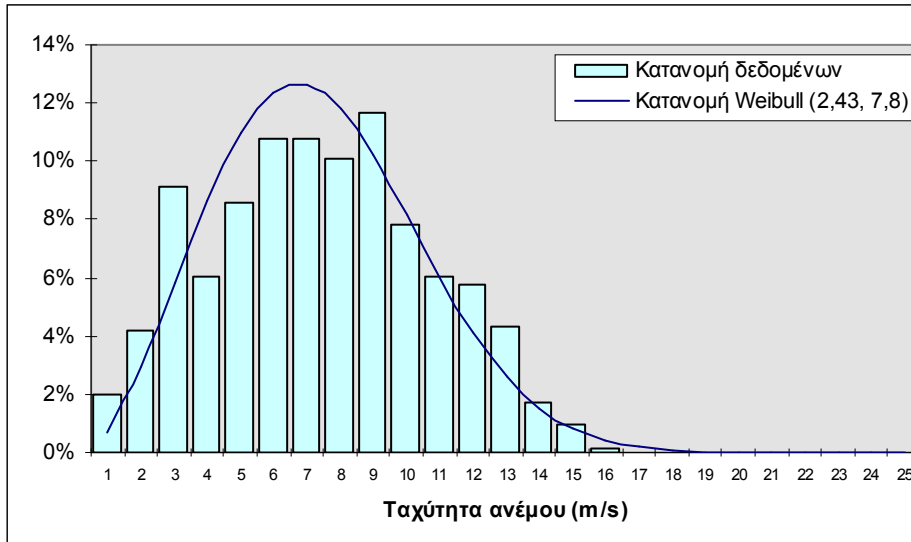


Κατανομή Weibull

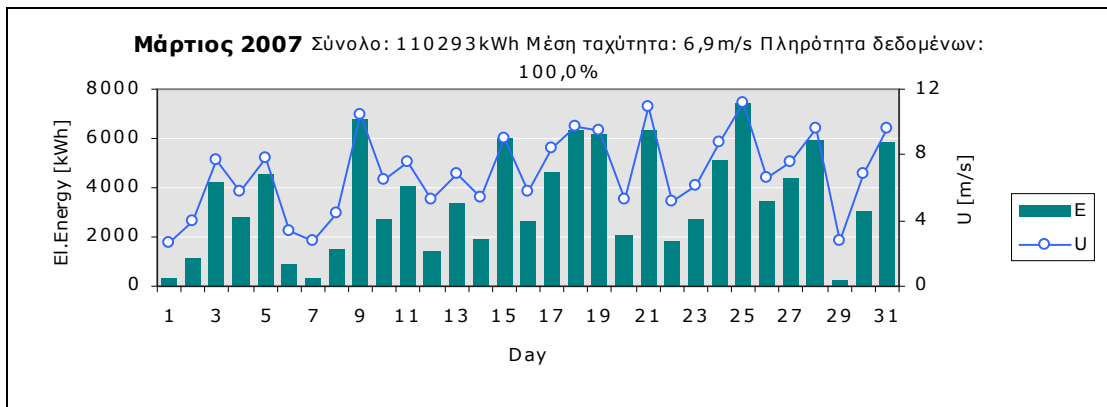
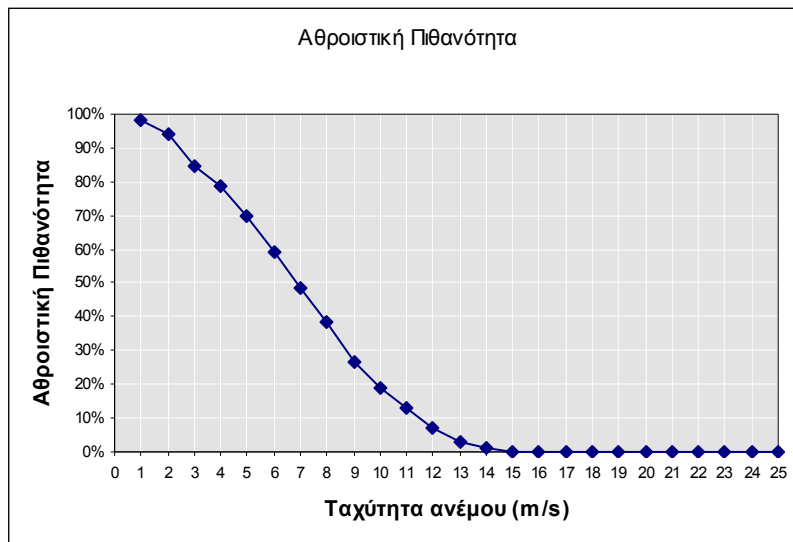


Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Enercon E33-330KW) ανά ημέρα

ΜΑΡΤΙΟΣ

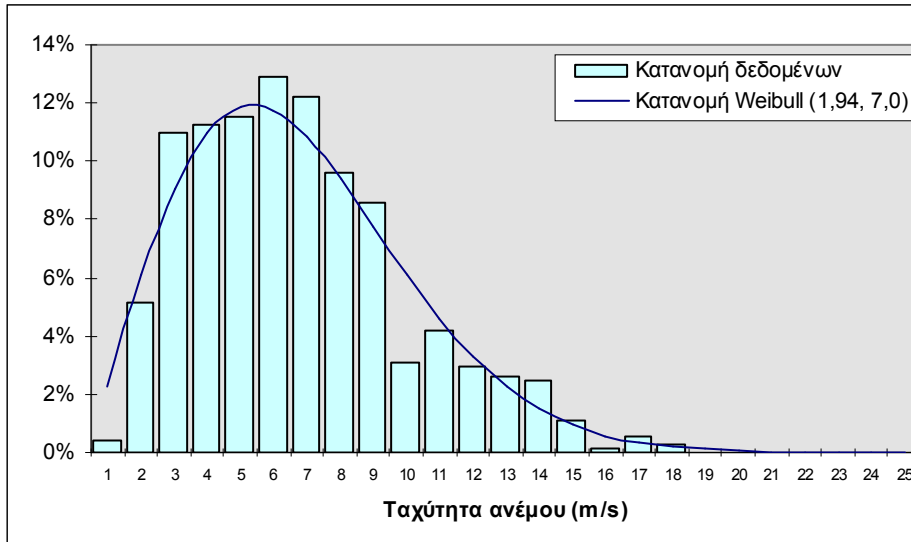


Κατανομή Weibull

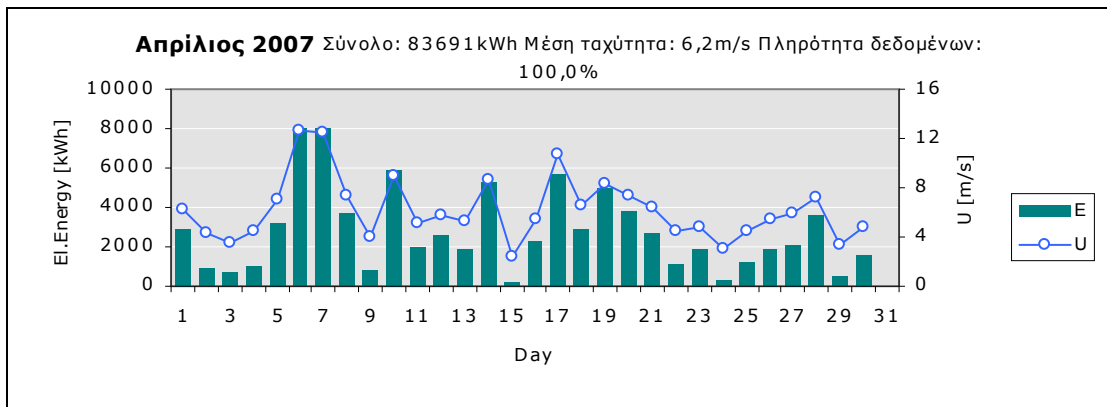
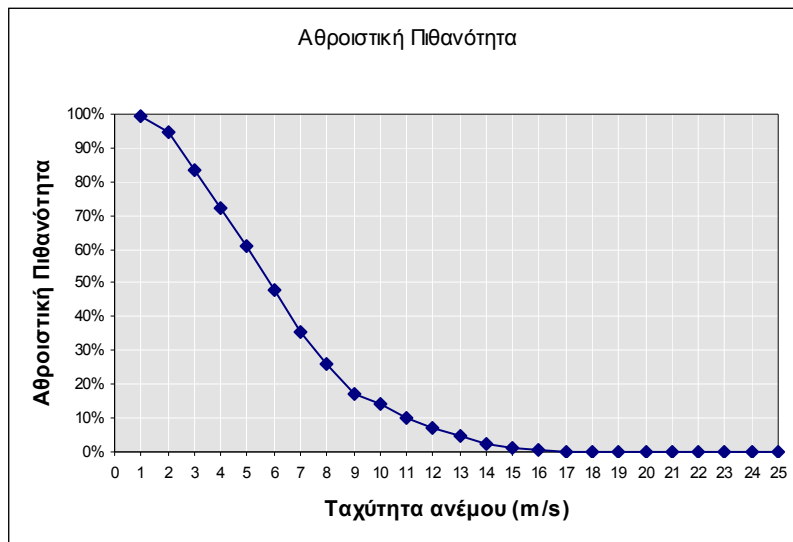


Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Enercon E33-330KW) ανά ημέρα

ΑΠΡΙΛΙΟΣ

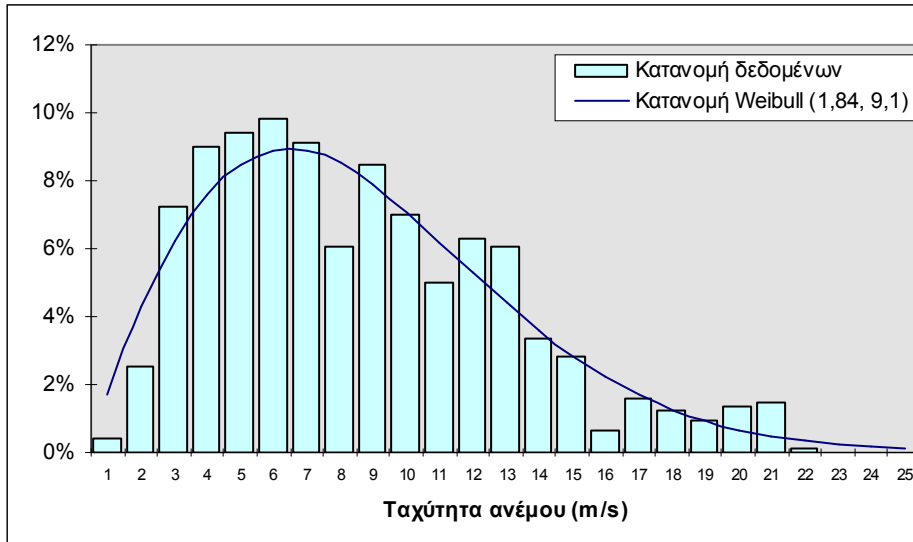


Κατανομή Weibull

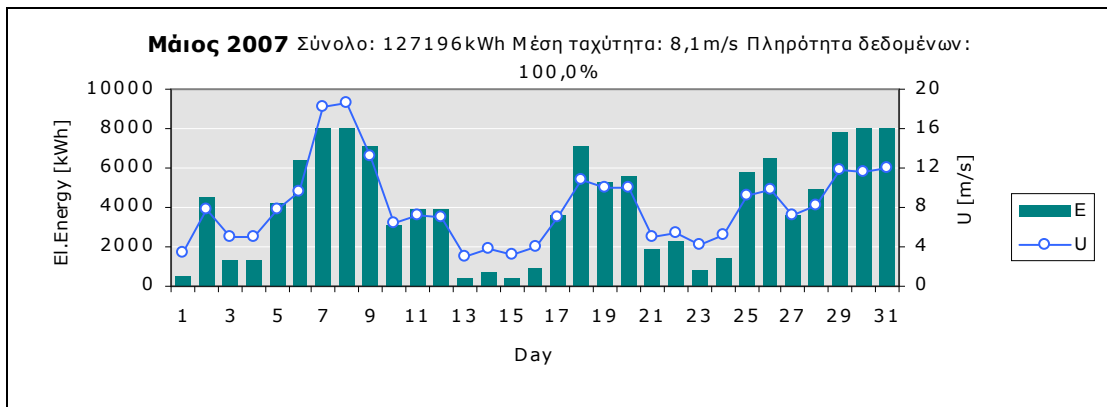
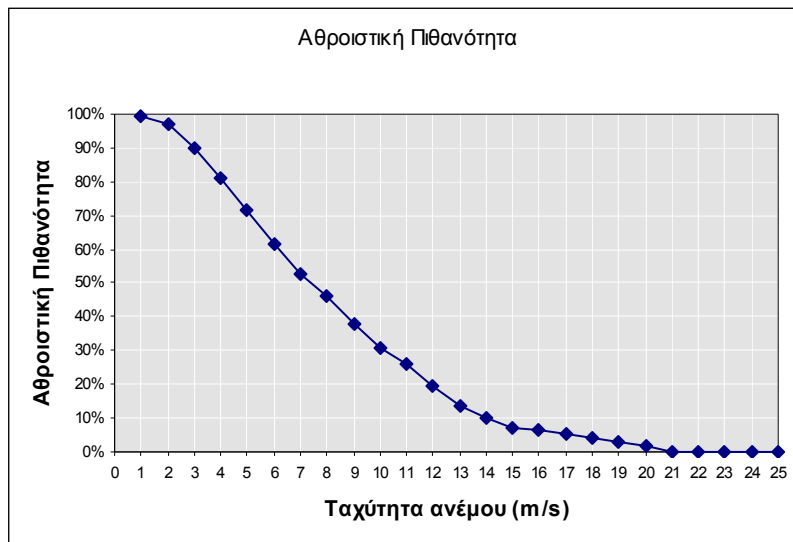


Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Enercon E33-330KW) ανά ημέρα

ΜΑΪΟΣ

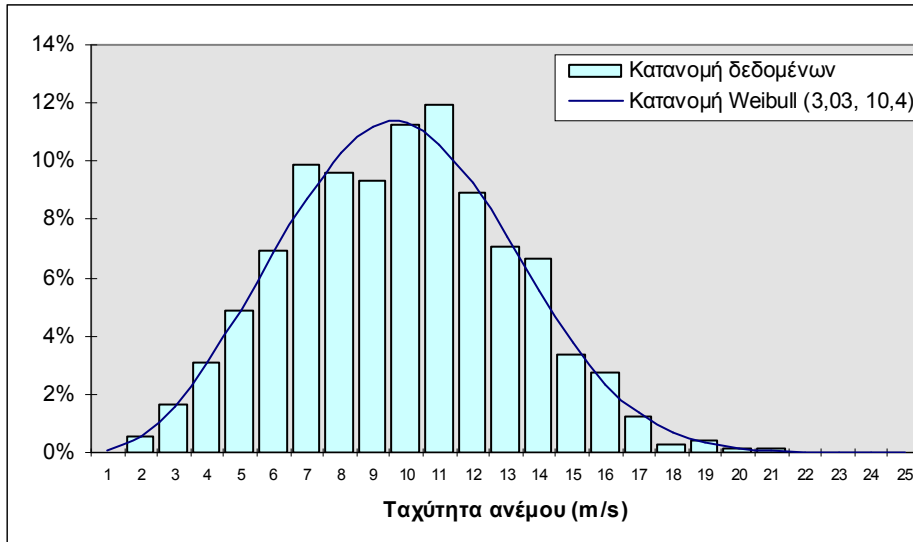


Κατανομή Weibull

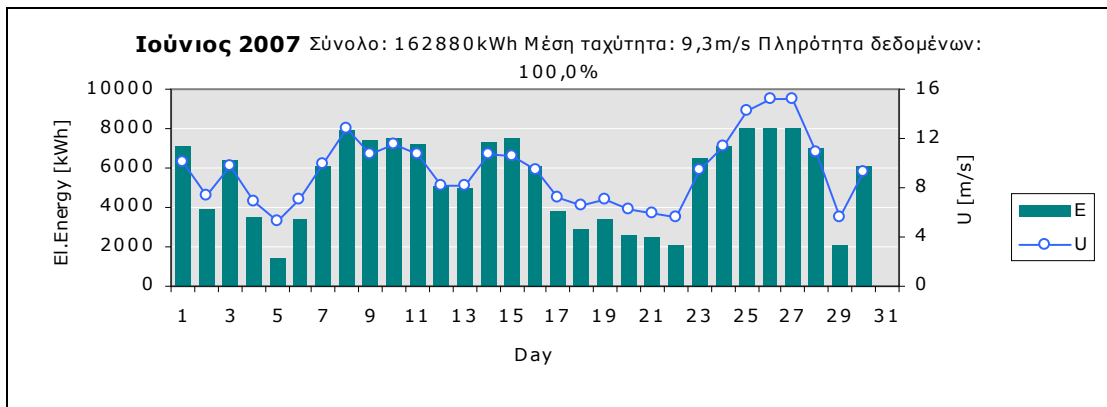
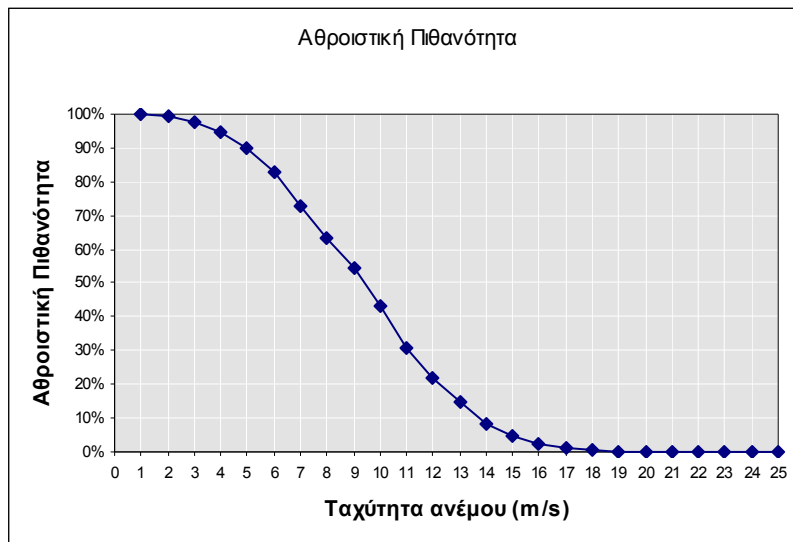


Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Enercon E33-330KW) ανά ημέρα

ΙΟΥΝΙΟΣ

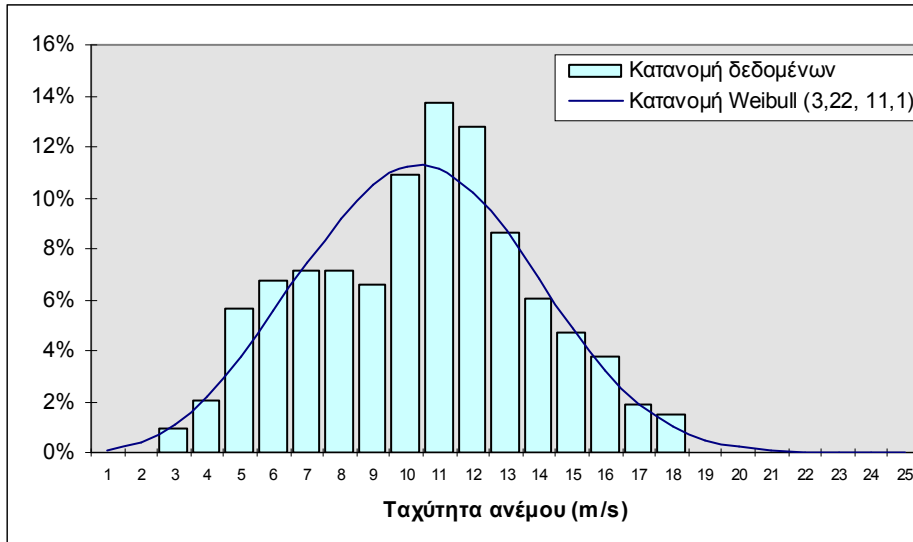


Κατανομή Weibull

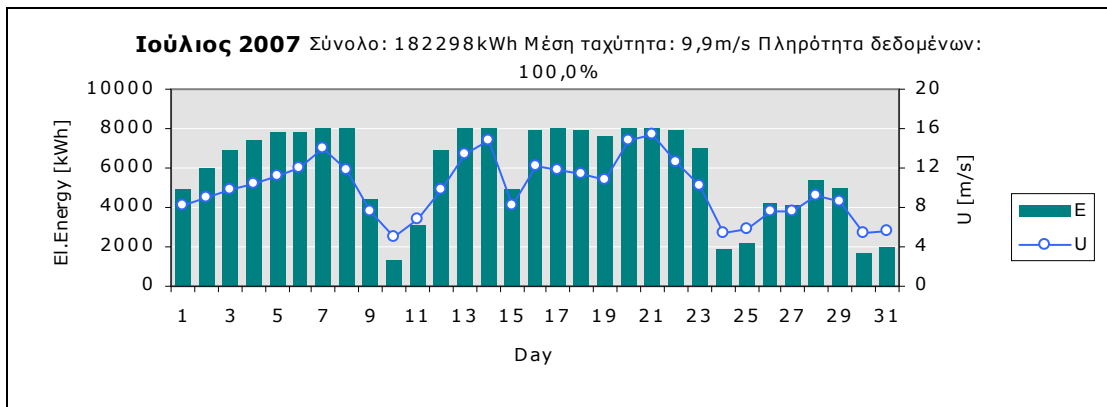
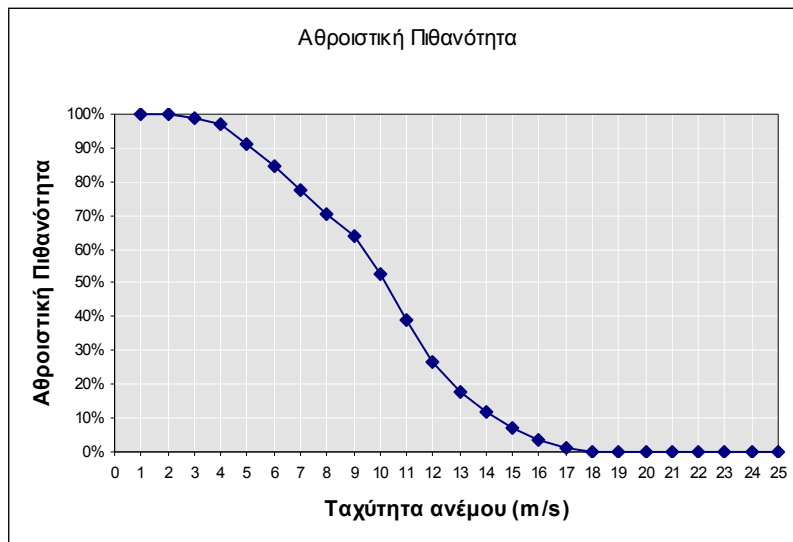


Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Enercon E33-330KW) ανά ημέρα

ΙΟΥΛΙΟΣ

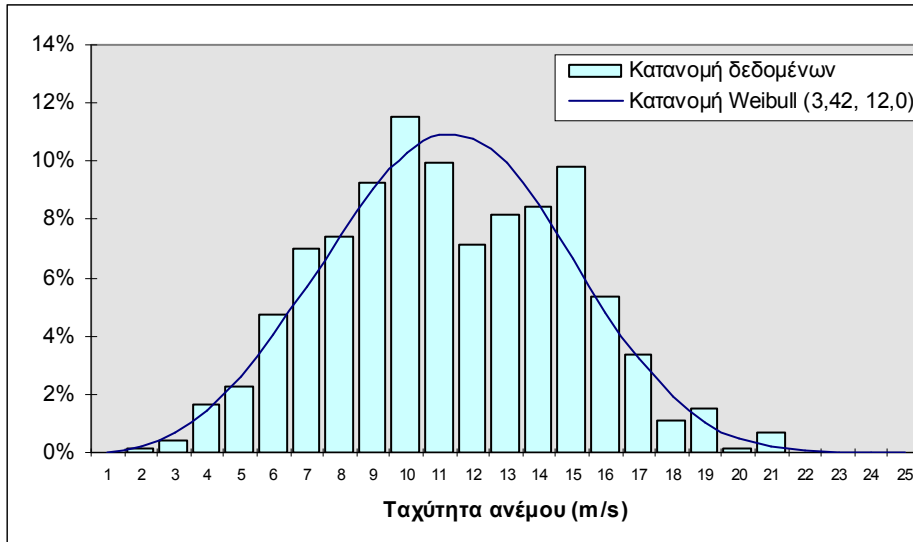


Κατανομή Weibull

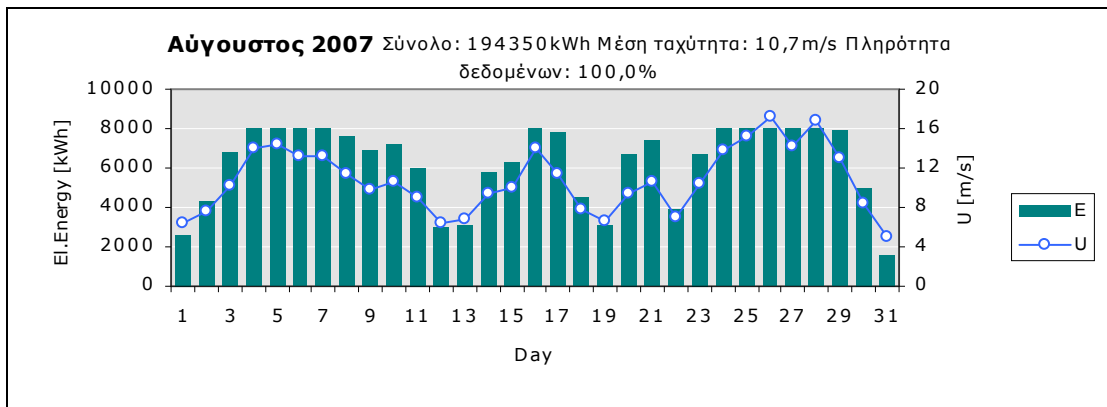
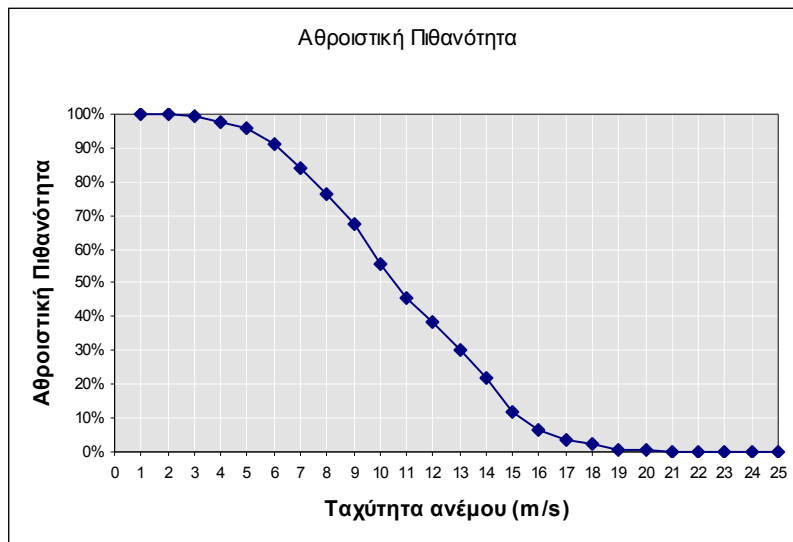


Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Enercon E33-330KW) ανά ημέρα

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ

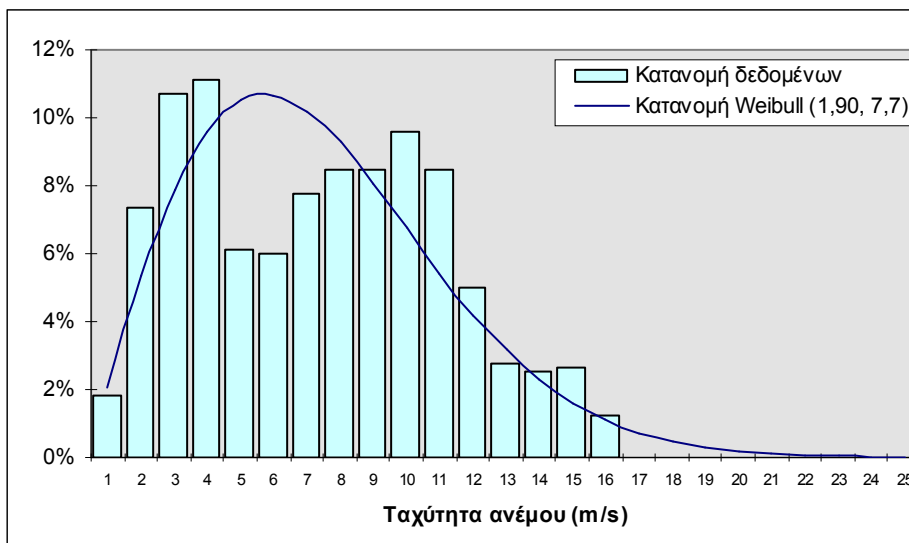


Κατανομή Weibull

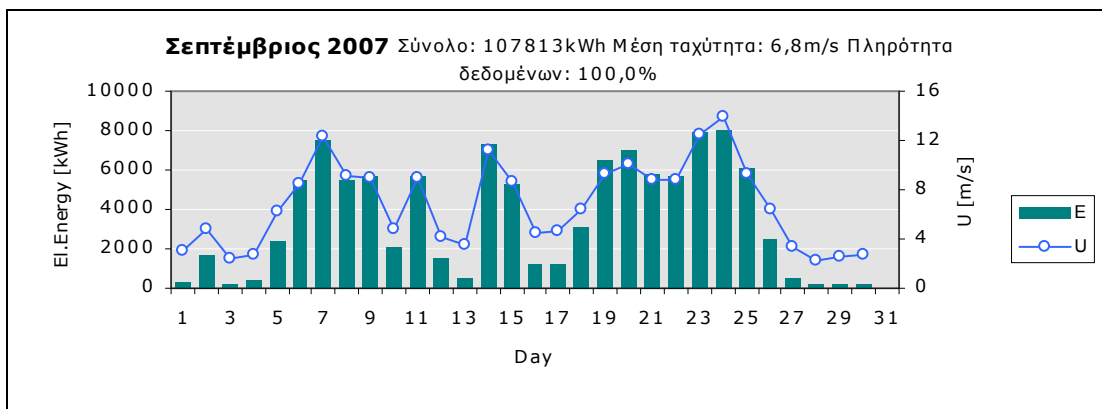
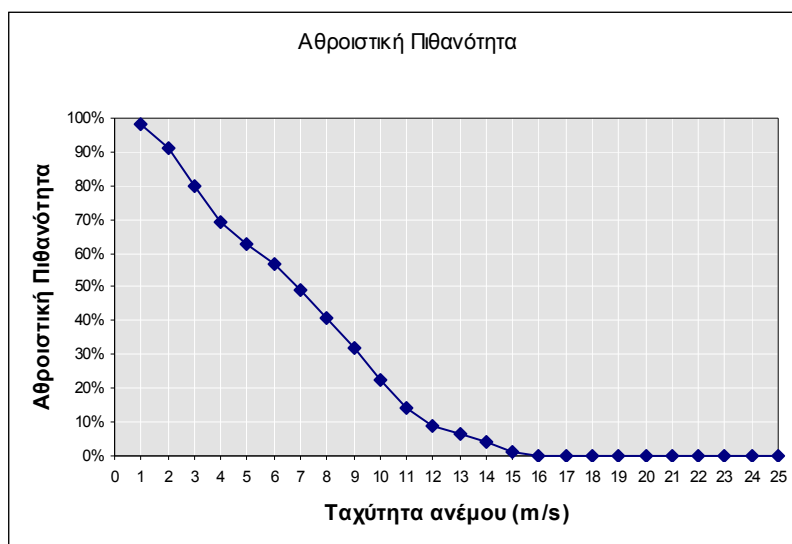


Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Enercon E33-330KW) ανά ημέρα

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ

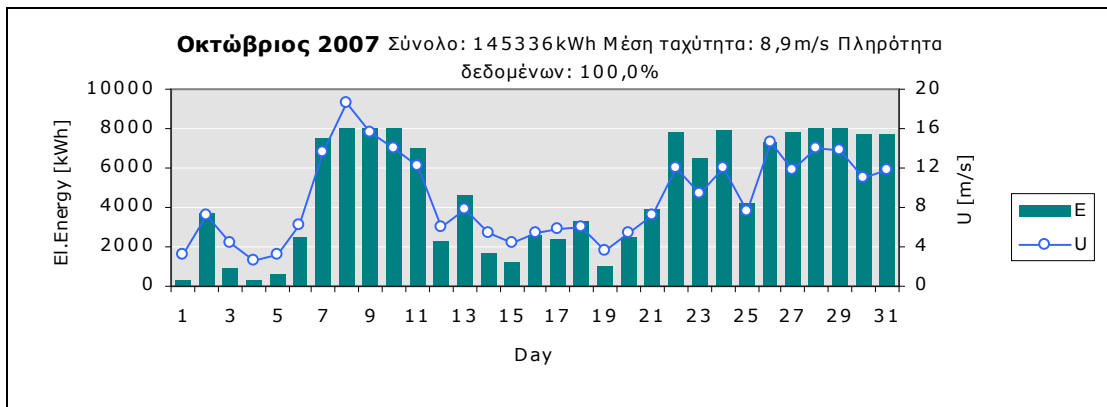
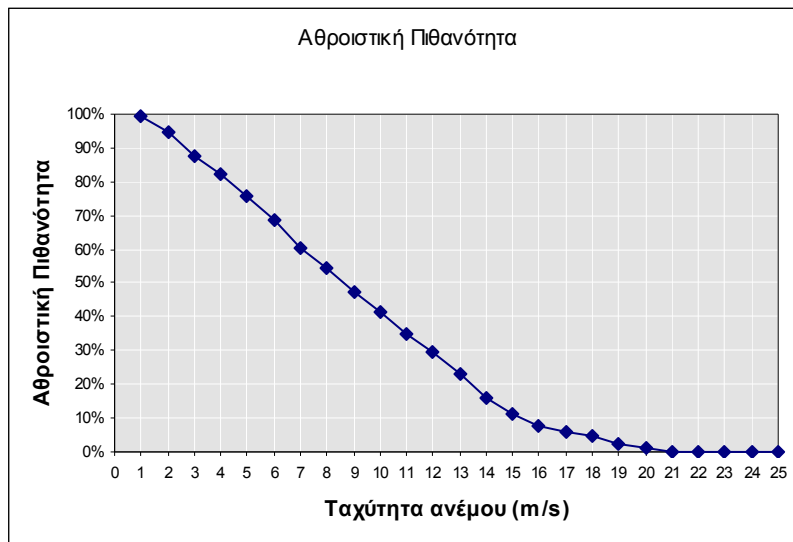
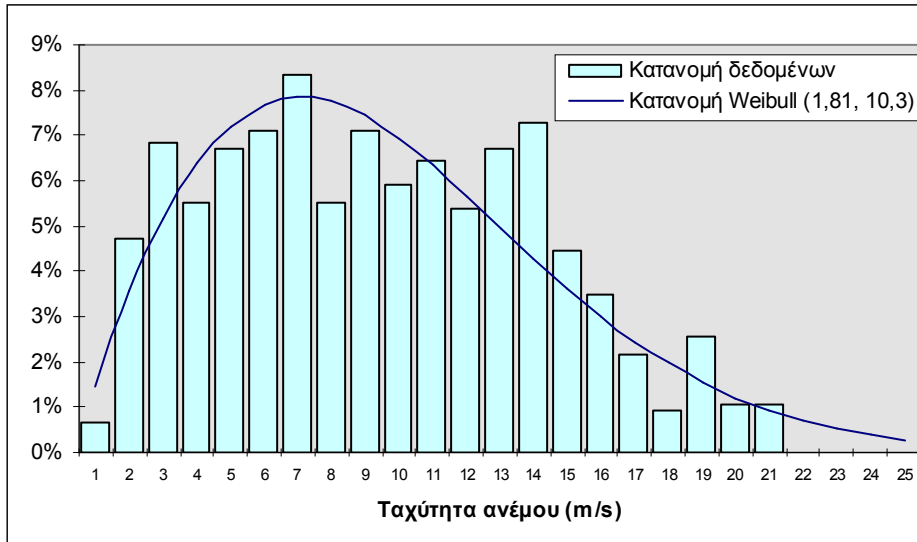


Κατανομή Weibull

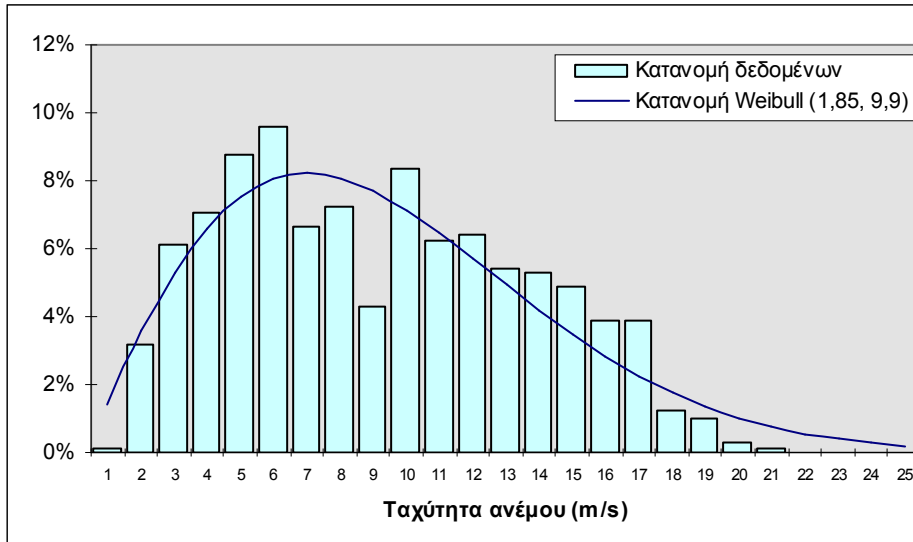


Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Enercon E33-330KW) ανά ημέρα

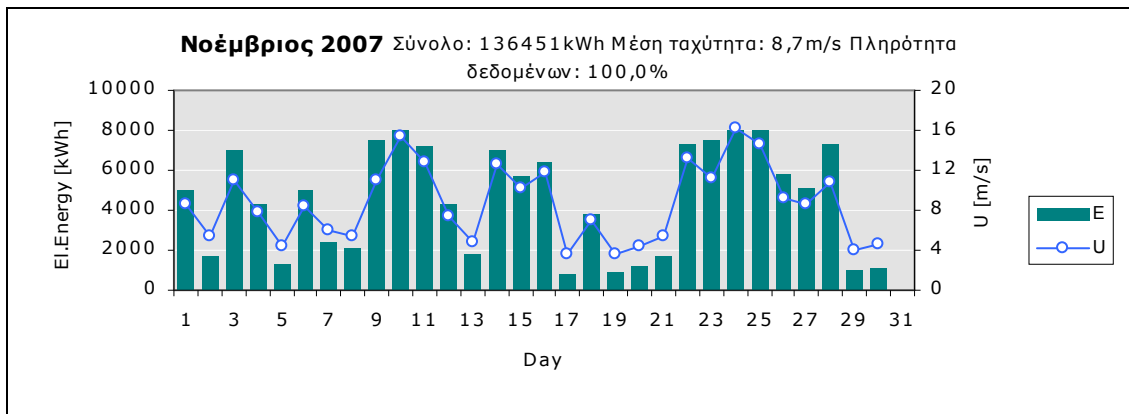
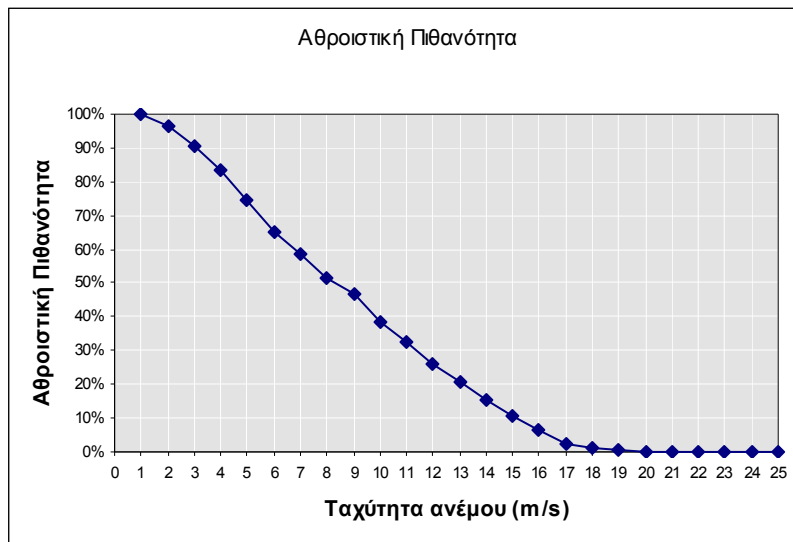
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ



ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ

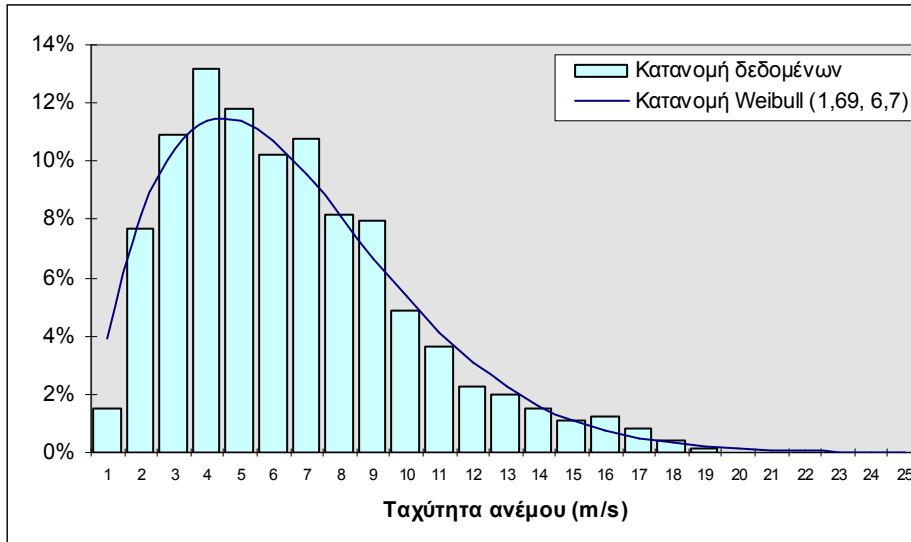


Κατανομή Weibull

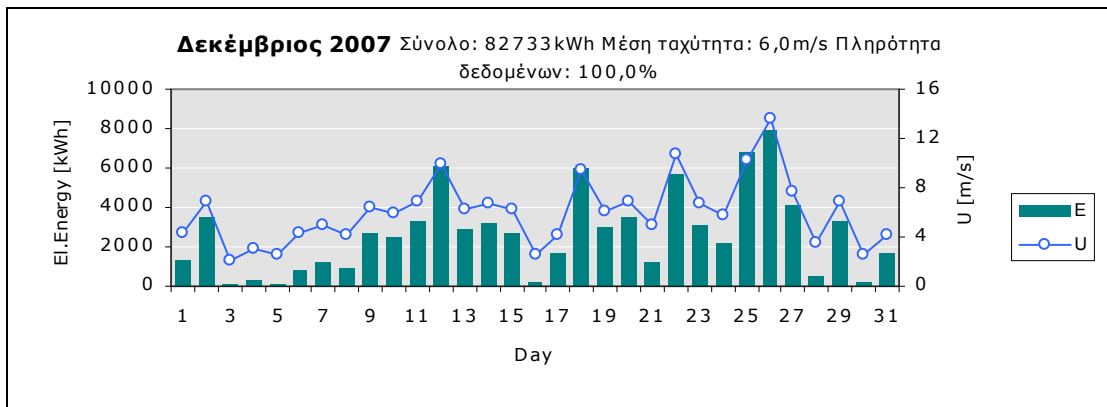
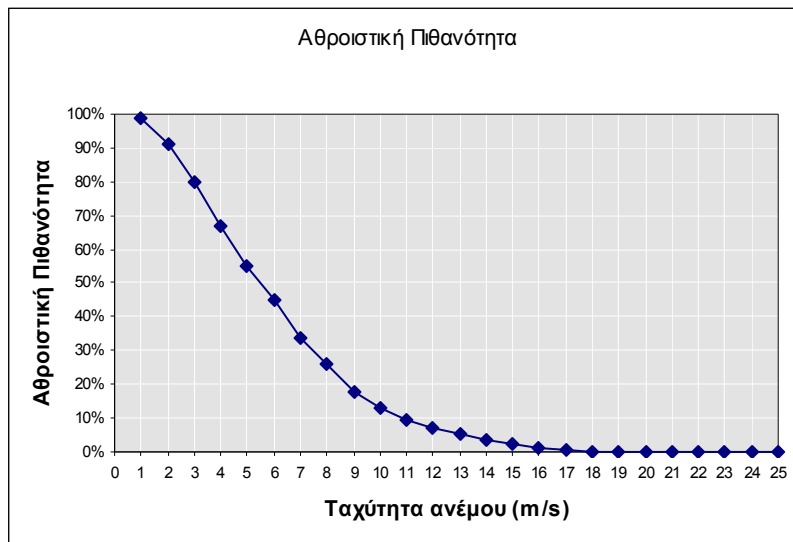


Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Enercon E33-330KW) ανά ημέρα

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ



Κατανομή Weibull



Αναμενόμενη παραγωγή Α/Γ (Enercon E33-330KW) ανά ημέρα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ Α/Γ ENERCON E33 330 KW

WIND ENERGY CONVERTER CHARACTERISTICS

E-33

Rotor	
Type	E-33
Rotor diameter	33,4 m
Swept area	876 m ²
Power regulation	Pitch
RPM	Variable, 18 – 56 rpm
Cut-in wind	3 m/s
Cut-out wind	25-34 m/s
Nominal output at	11,7 m/s

Gear Box	
Not applicable	No gearbox

Blades	
Manufacturer	ENERCON
Blade length	15,6 m
Material	Glass fibre reinforced epoxy
Lightning protection	included

Generator	
Manufacturer	ENERCON
Nominal Power	330 kW
Type (model)	Directly driven synchronous ring generator
Protection classification	IP 23

Yaw System	
Yaw control	Active with two yaw drives
Yaw rate	0.5° / sec

Controller	
Manufacturer	ENERCON
Type	microprocessor
Grid connection	Via ENERCON inverter
Remote communication	ENERCON Remote Monitoring System
UPS	included

Braking System	
Aerodynamic brake	<ul style="list-style-type: none"> - three independent blade pitch systems with emergency supply - rotor brake - rotor lock, locking at 30°

Document Information

Created/ date: 1. Müller/21.04.05
 Dpt.: SL_HB
 Revision: 2/07.08.07

ENERCON reserves the right to technical modifications.

Checked: M. K.
 Approved: M.K./21.04.05
 Reference: SL_HB_WEC Characteristics_E-33_Rev002_eng-eng.doc

Tower			
Hub heights	44 m	49 m	50 m
Tower	steel tower 4 sections	steel tower 4 sections	steel tower 2 sections
Design wind class	I	II	II

Weights	
Nacelle, excl. Rotor and hub	3 t
Rotor incl. Hub/Main pin	5,7 t
Generator	10 t
Total Weight	18,7 t

Sources: Manufacturer's Certificate

Document Information		<i>ENERCON reserves the right to technical modifications.</i>	
Created/ date:	I. Müller/21.04.05	Checked:	M. K.
Dpt.:	SL_HB	Approved:	M.K./21.04.05
Revision:	2/07.08.07	Reference:	SL_HB_WEC Characteristics_E-33_Rev002_eng-eng.doc

Technical Description

E-33

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05		
Department:	VI	Translator/date:	
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05	Reviser/date:	C. Carsted / 02.08.2005
Revision	1/20.76.05	Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng

Table of contents

1	Technical Short Description.....	3
1.1	The ENERCON Concept.....	4
1.2	Rotor.....	6
1.3	Generator.....	7
1.4	Grid Connection.....	7
1.5	Yaw control.....	9
1.6	E-33 Safety System.....	9
1.7	The ENERCON control system.....	10
2	Technical Specification.....	12
2.1	Main features.....	12
2.2	Actuation of Safety Relevant Sensors.....	13
2.3	Starting procedure.....	13
2.4	Normal Operation.....	14
2.5	Idle Operation.....	14
2.6	Stop.....	14
2.7	Lack of Wind.....	16
2.8	Storm.....	16
2.9	Yaw System.....	16

ENERCON reserves the right to make any technical modifications.

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05	Translator/date:	
Department:	VI	Reviser/date:	C. Carsted / 02.08.2005
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05	Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng
Revision	1/20.76.05		

1 TECHNICAL SHORT DESCRIPTION

The E-33 is a wind energy converter with a three-bladed rotor, active pitch control and variable speed operation with a rated power of 330 kW. With its rotor diameter of 33.4 m and tower height of 50 m it efficiently makes use of the prevailing wind conditions at its respective operating sites to generate electrical energy.

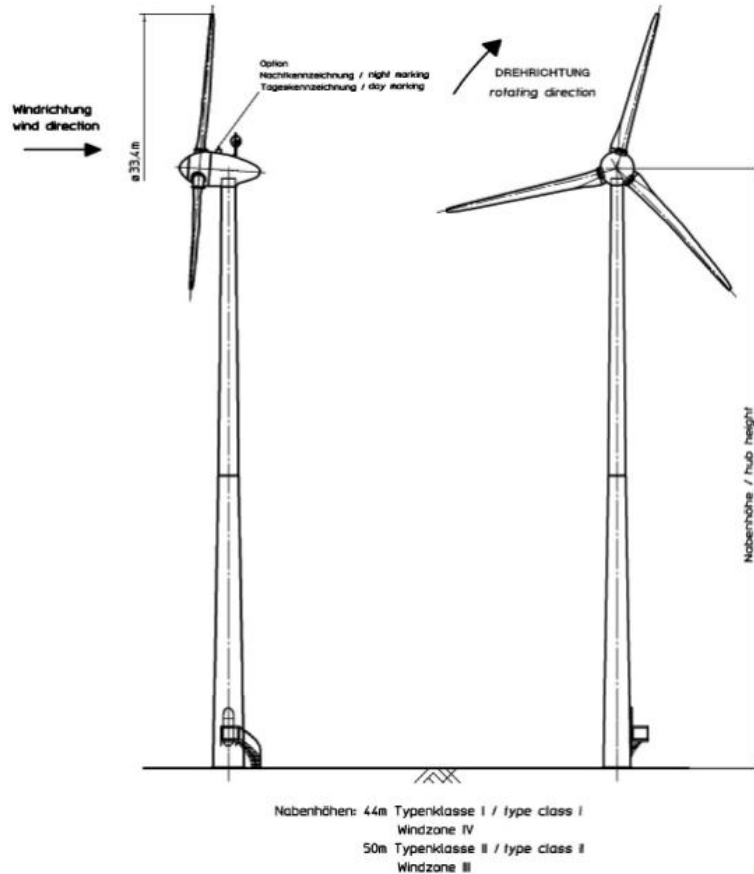


Figure 1: General view of the E-33 (drawing)

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05	Translator/date:	
Department:	VI	Reviser/date:	C. Carsted / 02.08.2005
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05	Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng
Revision	1/20.76.05		

The main focus for development and design of all ENERCON wind energy converters is the idea of minimizing loads. Based on that, all components have been developed and designed accordingly. The result is a sophisticated turbine that is convincing among other things, due to its efficiency and its long lifespan.

Power control with variable speed allows the E-33 to operate with optimum efficiency but without higher operating loads even in the partial load range and moreover prevents the occurrence of undesirable power spikes. Therefore guaranteeing good energy yield and high quality power fed to the grid.

1.1 The ENERCON Concept

The ENERCON concept of gearless drive train reduces the number of parts in the E-33. Its key components are the annular generator, rotor and grid management system.

The ENERCON annular generator and E-33 rotor form a single unit. The rotor hub is flanged directly to the rotating part of the generator and therefore rotates at the same speed during operation. Since there is no gearbox or other fast rotating components the following are reduced:

- energy loss between rotor and generator
- sound emissions
- mechanical wear and tear
- oil loss
- mechanical friction loss

Regular oil changes are no longer necessary.

The power generated by the E-33 generator is fed into the connected utility grid via the ENERCON grid management system. At the same time the E-33 can adapt itself to the prevailing grid parameters like grid voltage and frequency in order to guarantee the desired power quality to support the grid if required.

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05		
Department:	VI	Translator/date:	
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05		C. Carsted / 02.08.2005
Revision	1/20.76.05	Reviser/date:	
		Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng

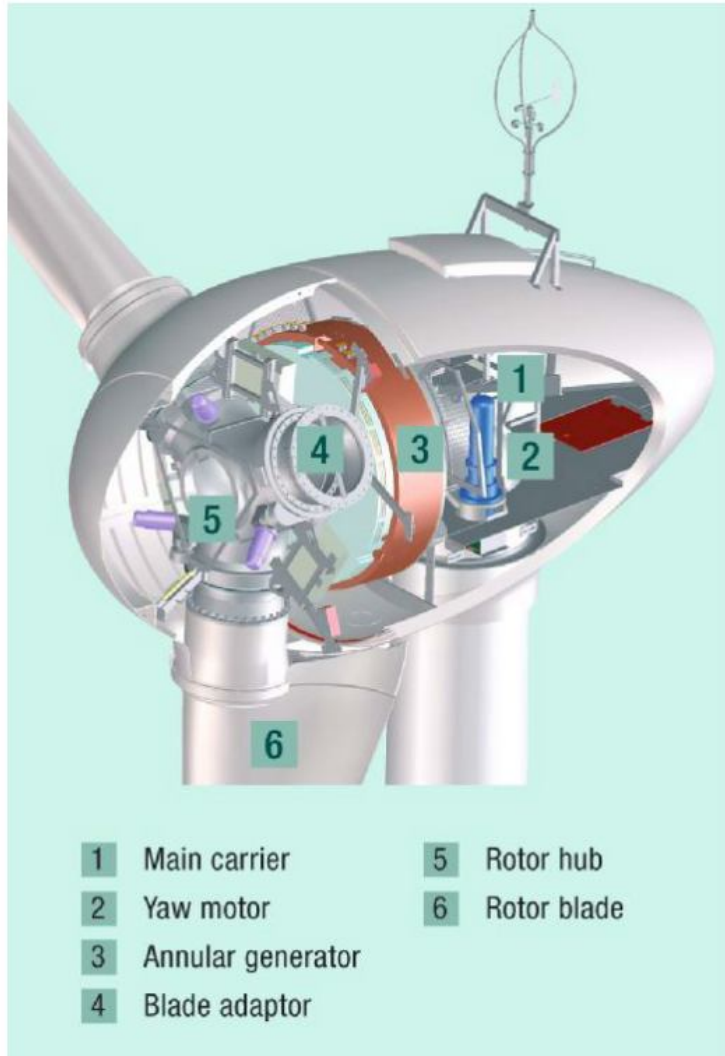


Figure 2: Drawing of E-33 nacelle

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05		
Department:	VI	Translator/date:	
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05		C. Carsted / 02.08.2005
Revision	1/20.76.05	Reviser/date:	
		Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng

1.2 The Rotor

The rotor, made of glass reinforced epoxy resin, is a determining factor for the yield of the wind energy turbine as well as its noise emission.

Shape and profile of the E-33 rotor blades are designed according to the following requirements:

- high efficiency
- long lifespan
- low sound emission
- low loads
- low material consumption

The E-33 rotor blades are especially designed for operation with variable pitch and variable speed. New profiles and a special geometry at the blade root allow optimum use of the wind flow around the blade and nacelle. The streamlined blade geometry accounts for low loads and better transport options.

The rotor blades are made of glass fibre / epoxy resin material. This material is advantageous because of its resistance to shrinkage even under extreme environmental conditions like high solar radiation. The E-33 rotor blades retain their shape and therefore their properties with regard to their angle of attack and their efficiency for a long time periods and, in return, guarantee stable long-term turbine power behaviour.

Epoxy resin has very low hygroscopic properties and therefore does not absorb water. This is vital. Although the outer surface of the rotor blades is protected by a so-called gel coat (surface sealing), the rotor blades are not protected on the inside against condensation. The choice of the material alone makes it possible to prevent damage due to freezing water.

The rotor blades are exposed to alternating loads during rotation because of their own weight. A rotor blade could theoretically be exposed to more than 65,000 load cycles per day. For the calculation of a 20 year lifetime, 3.5×10^8 load alternations have to be taken into account. This is more than for any other application of glass fibre materials.

Due to their low flow- and creep properties, epoxy resin laminates are well-suited for simple flange solutions. The E-33 rotor blades are connected to the hub with a simple transverse bolt / tension rod-combination via blade adapter and slewing ring bearing.

The microprocessor-controlled blade pitch is carried out with three independent blade pitch systems and redundant blade angle monitoring. This allows the blade angle to be quickly and precisely adjusted according to the prevailing wind conditions.

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05	Translator/date:	
Department:	VI	Reviser/date:	C. Carsted / 02.08.2005
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05	Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng
Revision	1/20.76.05		

1.3 Generator

The ENERCON annular generator is directly driven by the turbine rotor (rotor blades). The generator rotor is directly connected to the rotor hub and therefore does not need its own bearing. The E-33 generator provides its rated power already at a rotor speed of 46 rpm. The multi-pole ENERCON generator, whose operation is based on a synchronous generator, was especially designed for this purpose. Further development of a classical synchronous generator model has achieved extremely high efficiency and at the same time the weight of the generator has been reduced. The E-33 generator reaches an approximate 94% efficiency over its entire operational range.

Low temperature fluctuations during operation, low temperatures even at rated power, and the avoidance of alternating loads reduces mechanical stresses and the associated aging of the generator material.

Special care is taken during the manufacturing process in order to guarantee long generator service life:

Before the copper windings are inserted into the slots, the stator is provided with an initial corrosion protection coating after the stator laminations have been completed. The copper windings (isolation class F for 155°) are only then inserted. A multi-layer material is used to insulate between the windings and the slots. This provides a guarantee for low humidity absorption as well as for good heat and chemical resistance. The copper wire itself is provided with a heat resistant prime coating and an additional overcoat. The overall insulation is a combination of two different varnish components. This double-layer technique (overcoat technique) achieves optimum protection for the copper wire.

After winding, the stator is impregnated with resin in a large vacuum impregnation vat. The method of impregnation under vacuum ensures that the resin penetrates every little gap of the windings by sucking out all the air enclosed in between. The impregnated stator is then cured in a large curing oven. After that, the winding is provided with an additional varnish (powder coating) that protects the copper windings against moisture and mechanical wear.

An extensive test of the windings according to the latest norms completes the manufacture of the generator.

1.4 The grid management system

The E-33 grid management system converts the current generated by the E-33 generator into AC current according to the requirements and standards given by the utilities and feeds it into the grid via a transformer.

The shape of this current is sinusoidal and without disturbing harmonics. A high frequency filter ensures that all requirements with regard to electromagnetic compatibility (EMC) are met. The current is generated by the ENERCON micro- and

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05		
Department:	VI	Translator/date:	
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05		C. Carsted / 02.08.2005
Revision	1/20.76.05	Reviser/date:	
		Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng

power electronics according to a reference current. This value is constantly compared with the actual current and corrected accordingly.

The grid management unit is decoupled from the generator via a DC intermediate circuit. Figuratively speaking, the rotor of the wind energy converter is connected to the electric grid via a soft rubber band. This "elastic" coupling allows the electronics to balance low frequency power fluctuations with which the power output of the E-33 can be precisely controlled between 5 kW and 330 kW and no relevant flicker coefficients occur. This combination of technologies allows operation parallel to the grid even under complicated grid connection conditions. Various certificates issued by independent institutes confirm this.

The permissible operating range for operation parallel to the grid is limited by the minimum and maximum grid voltage given by the respective utility. These two values (under- and overvoltage) as well as the time constant for the measurement intervals can be pre-set separately as limit values according to the utilities' requirements. In addition, minimum and maximum frequency values can be pre-set.

The E-33 immediately disconnects itself from the grid if these pre-set limit values are not kept. As there are no compensating capacitors, the E-33 decouples itself from the grid within 10 ms. Therefore even short-term current spikes do not occur.

Furthermore, the E-33 can operate in the so called "grid voltage dependent power feed" mode:

The grid voltage is constantly measured and monitored. In the event of a voltage increase, e.g. due to a lack of load during the night, the power output of the E-33 is decreased immediately. A control circuit quickly controls the current and no further voltage increase can occur. These active voltage sensors guarantee that the maximum possible power taken by the grid can always be supplied. In other words the power fed to the grid is controlled by the grid's receptive capability. A complete turbine shutdown is no longer necessary.

When a wind energy turbine or entire wind farms are switched onto a grid a voltage increase quite often occurs. Usually this has to be balanced with adjustable transformers or diesel generators. The E-33 features a data input by which the power gradient can be re-selected (dP/dt). This allows for the (slower) adjustable transformers or diesel generators to adjust to the new situation. This power gradient control is actuated automatically e.g. with strongly varying wind speeds or storm gusts in order to relieve the load on the grid.

The phase angle between grid voltage and current remains constant at $\cos \varphi = 1$ over the whole power range from 0 to 330 kW. Only actual power is fed to the grid. Eventual countervailing payments for reactive power charged by some utilities are not applicable.

Nevertheless there is the possibility to select a $\cos \varphi \neq 1$ if desired.

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05	Translator/date:	
Department:	VI	Reviser/date:	C. Carsted / 02.08.2005
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05	Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng
Revision	1/20.76.05		

1.5 Yaw control

The yaw bearing is mounted directly to the top of the tower using a geared ring and a slewing ring bearing. Two adjustment drives ("yaw drives") turn the nacelle out of the wind with the geared ring. The weight of the nacelle is also transferred via this yaw bearing into the tower. The main carrier is attached directly to the yaw bearing.

Rapid changes in the wind direction lead to dynamic yaw moment which affects yaw control. On the E-33, the yaw moment is actively controlled with the yaw drives. This considerably relieves the yaw control and its gearing of load spikes.

1.6 Safety system

The safety system guarantees safe turbine operation in accordance with the conditions of international standards and independent test institutes.

1.6.1 The Brake System

ENERCON wind energy converters brake aerodynamically. This braking method reduces the driving forces and moment on the turbine when braking the rotor and thus "softly" reduces the speed of the turbine. Even when the turbine is not in operation, the rotor continues to rotate. The turbine is allowed to idle in order to keep the rotor and drive train practically free of load. An additional service brake (hydraulic) can be either manually activated to lock the rotor for maintenance work, or automatically supports braking when the emergency stop switch is used (personnel safety during maintenance).

According to the requirements for wind turbine certification, the E-33 has at least two mutually independent braking systems by means of which the rotor can be decelerated or brought to a standstill.

The three mutually independent blade pitch drives are used to brake the turbine by bringing the blades into a feathered position (pitch the blades out of the wind) within only a few seconds. The aerodynamic force on the blades is diminished and the rotor speed is rapidly decreased. It is important to note that in order to stop the turbine it would be sufficient to pitch two of the three blades out of the wind. This means that even if one pitch drive fails completely, the aerodynamic braking effect of the system is ensured.

An emergency storage battery system installed in each of the three pitch systems moves the blades safely into the feathered position should a grid supply failure occur. These independent emergency energy back-up units supply each blade pitch drive with power and are automatically recharged to guarantee availability. Cyclic testing monitors the charge. The blade pitch units are electromechanically linked so that they are activated simultaneously.

The combination of redundant power supply (grid or energy storage) with three totally autonomous pitch drives offers a safety concept which perfectly meets the requirements for two completely independent braking systems.

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05	Translator/date:	
Department:	VI	Reviser/date:	C. Carsted / 02.08.2005
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05	Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng
Revision	1/20.76.05		

1.6.2 The Lightning Protection System

The E-33 is equipped with the ENERCON lightning protection system that conducts eventual lightning strikes without causing damage to the blades or other turbine components. Lightning strokes are deflected from the rotor blade tip (or from the nacelle) to the turbine foundation via a continuous conductor system.

The lightning protection system in detail:

- The rotor blade tips are made out of cast aluminium. Along the leading and trailing edge of the rotor blade an aluminium profile is embedded under the surface. These profiles connect the aluminium tip with an aluminium ring located at the blade root. There is sufficient distance between the ring and the conducting components at the blade flange (blade adapter, bearings...) so that the blade insulates them. As the lightning strike is already deflected place at the blade root and does not continue over rotor hub and rotor bearings, thus protecting them from any consequential damage.
- A rod (spark gap) conducts the lightning stroke from the rotational components directly into the non-rotating part of the turbine. The deflection of the lightning stroke continues its path over the main carrier and tower into the turbine foundation.

Due to this system, lightning strokes are deflected to the non-rotating components of the E-33 regardless of its current rotor position or rotor blade angle.

The turbine electronics are galvanically separated and are situated in metal cabinets. All data inputs or outputs are decoupled by means of opto-coupling devices or relays. If lightning strikes or even in the event of unusual voltage peaks, the complete electrical and electronic system is protected by energy absorbing devices.

1.6.3 The Sensor system

An extensive monitoring system ensures safe turbine operation. All safety-relevant functions are monitored electronically as well as with mechanical sensors with higher order access. If one of the sensors detects a severe fault, the turbine is shut down immediately.

1.7 Control System

The E-33 control system is a microprocessor system developed by ENERCON. It constantly monitors the sensors of the various components as well as e.g. the data of wind direction and wind speed and in return adapts the operation of the E-33 accordingly. This is done by e.g. optimising the rotor speed, the blade angle, the yaw position of the nacelle and the power output of the generator accordingly.

Yaw control for the E-33 nacelle operates at all wind speeds above the start-up wind speed. The wind vane at hub height continuously detects the wind direction. If the 1-

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05	Translator/date:	
Department:	VI	Reviser/date:	C. Carsted / 02.08.2005
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05	Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng
Revision	1/20.76.05		

min-average deviation of the nacelle direction compared to the measured wind direction is greater than a certain angle, the nacelle is repositioned by means of the yaw motors. Yaw motion is monitored by counting the rotations of the yaw motor and by checking the yaw time for plausibility.

If the measured wind speed during a 3-minute interval is sufficient for operation, automatic start-up procedure is initiated:

The nacelle is brought into a specified position in order check all sensors. Then the nacelle is aligned with the wind direction and the rotor blades are pitched into the wind. This requires about 3 kW from the grid for a short period. Classical start-up currents do not occur. When the minimum rotor operation speed limit is reached, the power output to the grid starts. During operation, all sensors are constantly monitored in order to initiate the appropriate measures (e.g. parking or emergency stop) should an irregularity occur. When the maximum rotor speed limit is reached, the blade angles are changed accordingly to keep it constant. To achieve this, the appropriate blade angle changes are selected by evaluating the speed and acceleration measurements.

If the machine is parked (manually or with the control system), the blade angles are decreased which reduces the effective blade surface for the wind and the E-33 slowly comes to a stand-still.

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05	Translator/date:	
Department:	VI	Reviser/date:	C. Carsted / 02.08.2005
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05	Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng
Revision	1/20.76.05		

2 TECHNICAL SPECIFICATIONS

2.1 Main features

Turbine Type:	ENERCON E-33
Power:	330 kW
Rotor diameter:	33.4 m
Hub height:	49 and 50 m
Turbine Concept:	Gearless, variable speed, pitch control
Rotor with pitch regulation	
Type:	Upwind rotor with active pitch control
Direction of rotation:	Clockwise
Number of blades:	3
Swept area:	876 m ²
Blade material:	Fibreglass (epoxy resin), integrated lightning protection
Speed:	variable, 18 – 45 rpm
Tip speed:	31 – 79 m/s
Pitch control:	ENERCON blade pitch system, one independent pitching system per rotor blade with allocated emergency supply
Drive train with generator	
Hub:	rigid
Main bearing:	Single-row tapered roller bearing
Generator:	Direct-drive ENERCON annular generator
Grid feed:	ENERCON inverter

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05		
Department:	VI	Translator/date:	
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05		C. Carsted / 02.08.2005
Revision	1/20.76.05	Reviser/date:	
		Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng

Braking system:	- three independent blade pitch systems with emergency power supply - Rotor brake - Rotor lock
Yaw control:	Active via adjustment gears, load-dependent
Cut-in wind speed:	2.5 m/s
Rated wind speed:	12.5 m/s
Cut-out wind speed:	18 – 34 m/s
Remote monitoring:	ENERCON SCADA

2.2 Actuation of safety-relevant sensors

The manner in which the turbine reacts to the actuation of individual sensors is explained in the following sections. If a safety-relevant sensor is actuated, the turbine initiates an automatic shutdown. The nature of the shutdown and whether a re-start follows depends on the fault.

The reliability of the sensors is also constantly monitored by the control system. If a sensor fails, a fault message is sent through remote monitoring. Depending on the sensor, the turbine may continue to operate for a certain amount of time. For some sensors, the turbine is stopped immediately and the fault has to be rectified before re-starting.

2.3 Starting the turbine

Unless explicitly stated otherwise, these descriptions apply to start-up after an automatic shutdown and to start by activating the start/stop switch.

When the converter is switched on, "Converter ready" appears on the control cabinet display after a short time, provided the E-33 control system has not determined a fault.

90 seconds after the start command, the rotor blades are driven out of the feathered position (approx. 90°) and set to "idle mode" (see below). The converter now turns at a very slow speed.

The turbine begins with the actual operation start-up procedure (blade pitching an speed pick-up) when, after three consecutive minutes, the average wind speed is greater than the required starting wind speed.

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05	Translator/date:	
Department:	VI	Reviser/date:	C. Carsted / 02.08.2005
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05	Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng
Revision	1/20.76.05		

2.4 Normal operation

Once the E-33 start-up procedure is completed, the wind energy converter works in normal operation. During operation, the wind conditions are continuously determined, rotor speed, generator excitation and output optimised, the nacelle position is adjusted to the wind direction and all sensor statuses recorded.

2.4.1 Operating below rated power

During operation in the partial load range, speed and power output are continuously adjusted to the changing wind conditions. In the top partial load range, the rotor blades are pitched a few degrees to avoid flow interruption (stall effect).

As wind speed increases, so does the rotor speed and power output.

2.4.2 Automatic control mode

Above the rated wind speed, rotor speed is kept at approximately its nominal value (approx. 46 rpm) by adjusting the blade angle and the power taken from the wind which is limited to 330 kW ("automatic control mode"). By evaluating the speed and acceleration monitoring results, the required modification of the blade angle is determined and passed on to the blade pitch drive. The power output is held at its nominal value.

The E-33 also offers a grid dependent power feed operating mode. Grid voltage is constantly monitored. If the voltage rises, due to low night time consumption for example, the E-33 power fed is immediately decreased accordingly.

2.5 Idle mode

If the turbine is shut down (e.g. due to lack of wind or faults), the rotor blades ordinarily move to a position of 60° in relation to the operating position. The turbine now operates at a very low speed. If this speed is exceeded (approx. 3 rpm), the rotor blades are pitched to the feathered position (90°). This operating mode is called "idling". Idling reduces load and enables the turbine to be re-started in the shortest possible time. The reason for turbine shutdown and hence idle mode is indicated by the status message.

2.6 Stopping the turbine

The E-33 can be stopped manually or automatically. The control system stops the turbine in the event of faults or unsuitable wind conditions (see Figure 3).

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05	Translator/date:	
Department:	VI	Reviser/date:	C. Carsted / 02.08.2005
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05	Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng
Revision	1/20.76.05		

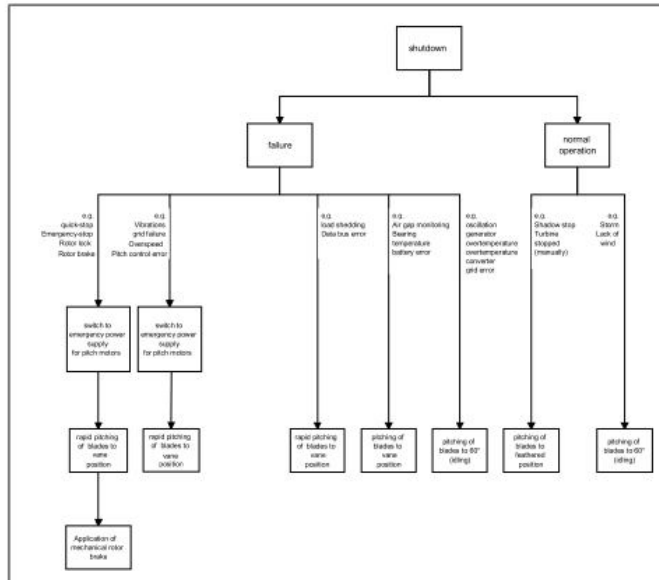


Figure 3: E-33 shutdown procedures

2.6.1 Automatic stop

ENERCON wind energy converters are brought to a halt in automatic mode by pitching the rotor blades out of the wind (aerodynamic brake). The feathered rotor blades reduce aerodynamic lift and thus brake the rotor. The blade pitch devices can drive the rotor blades out of the wind i.e. into the feathered position in a few seconds.

The turbine also automatically stops as a result of certain faults or operating events. Some faults cause a quick stop via the rotor blade emergency power units. Other faults result in a normal turbine stop.

Depending on the type of fault, automatic turbine re-start is possible. In each case the transformer is disconnected from the grid when shutting down.

2.6.2 Manual stop

The E-33 can be stopped with the start/stop switch on the control cabinet. The control system then drives the rotor blades out of the wind and the turbine comes to a stop. The stop brake (hydraulic) is not activated and yaw control remains in operation so the E-33 can continue to adjust optimally to the wind.

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05	Translator/date:	
Department:	VI	Reviser/date:	C. Carsted / 02.08.2005
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05	Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng
Revision	1/20.76.05		

2.6.3 Manual shutdown in emergency situations

If persons or turbine parts are at risk, the turbine can be stopped by activating the EMERGENCY STOP button or the Main Switch. An EMERGENCY STOP button can be found on the control cabinet and in the nacelle. It activates an emergency brake on the rotor with rapid blade pitch via the rotor blade emergency pitch units together with the rotor brake. All components continue to be supplied with power.

The buttons latch and must be pulled back to their original position once the emergency is over and the turbine is to be restarted.

If the Main Switch on the control cabinet or in the nacelle is set to the "off" position, all turbine components including tower and control box lighting and individual light switches and sockets are switched off. The turbine activates rapid blade pitch via the rotor blade emergency pitch devices.

2.7 Lack of wind

If the turbine is in operation and the rotor speed drops too low due to lack of wind, the turbine is brought into idle mode by slowly pitching the rotor blades to a 60° angle. The "lack of wind" status is shown.

The turbine resumes its operation automatically when the starting wind speed is reached.

At low temperatures the turbine attempts to start at hourly intervals to test whether the wind speed is sufficient for operation. A frozen anemometer would not prevent a start-up, provided the wind vane is in operation. If the turbine starts and produces power, it goes into normal operation. The correct wind speed is not displayed since the frozen sensor cannot transfer the correct data.

2.8 Storms

ENERCON wind turbines are equipped with the so-called storm control feature. This reduces the rotational speed and power output at very high wind speeds (>24 m/s), but will not stop the turbine. It continues to remain on the grid and produce (reduced) power and therefore does not lose energy output due to time consuming stop and re-start procedures (so-called high-wind hysteresis). A separate description of this feature is available.

2.9 Yaw System

The E-33 has a wind sensor (anemometer and wind vane), which is installed on the top of the nacelle to measure wind speed and wind direction.

The E-33 yaw control already starts functioning below the cut-in wind speed. Even when the turbine is shut down, it is turned into the wind. Yaw control takes place when the mean deviation of the rotor orientation to the measured wind direction is larger than a preset angle. This angle and the period of measurement depend on the wind speed and turbine power.

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05	Translator/date:	
Department:	VI	Reviser/date:	C. Carsted / 02.08.2005
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05	Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng
Revision	1/20.76.05		

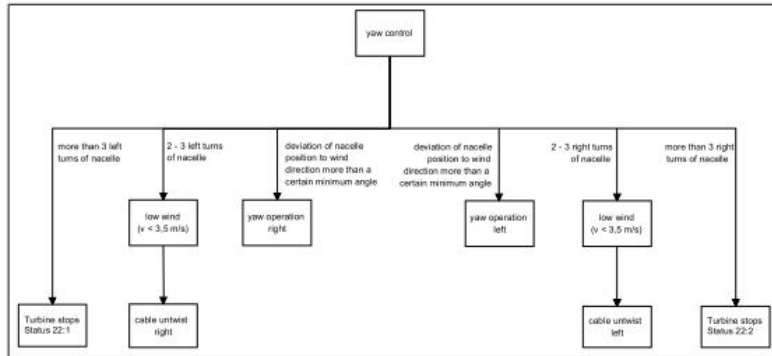


Figure 4: Diagram of the yaw control

The yaw procedure is determined by counting the rotations of the yaw motor and the required yaw time is checked for plausibility. If the control system detects irregularities in the yaw control or cable twist (see following section), a stop procedure is activated.

2.9.1 Cable untwisting

The E-33's power and control cables are conducted from the nacelle to the tower with a deflection device finally attached to the tower wall. The cables have enough freedom of movement to permit the nacelle to rotate several times in the same direction about its axis. This causes the cables to twist gradually. The E-33 control system ensures that the twisted cables are automatically untwisted.

Once the cables have twisted between two to three times the control system uses the next low-wind period to untwist the cables again. If this is not possible because of the wind conditions and the cables twist more than 3 turns, the turbine stops and the cable untwists irrespective of wind speed. The cables take about half an hour to untwist. Once the cables are untwisted, the turbine automatically starts up again.

The sensors for the cable twist are in cable twist switches connected to the yaw ring. Changes in the nacelle position are conveyed to the control system.

In addition, left and right limit switches detect if the permitted operating range is exceeded in either direction (cable twist limit switch right or left). This prevents further twisting of the tower cables. The turbine stops and cannot automatically restart.

Document information:			
Author/date:	I. Müller/20.07.05	Translator/date:	
Department:	VI	Reviser/date:	C. Carsted / 02.08.2005
Approved/date:	M. Kuhlmann/20.07.05	Reference:	VI-Technical description E-33-Rev000eng-eng
Revision	1/20.76.05		

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V

ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ (€)									
ΕΤΗ	1	2	3	4	5	6	7	...	20
ΕΣΟΔΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ	431008	431008	431008	431008	431008	431008	431008	...	431008
ΕΣΟΔΑ ΝΕΡΟΥ	102457	102457	102457	102457	102457	102457	102457	...	102457
ΚΟΣΤΟΣ Σ&Λ	237443	237443	237443	237443	237443	237443	237443	...	237443
ΑΠΟΣΒΕΣΗ	79200	79200	79200	79200	79200	79200	79200	...	79200
ΤΟΚΟΙ	50400	41636	32258	22224	11488				
ΚΕΡΔΟΣ ΠΡΟ ΦΟΡΩΝ	166422	175186	184564	194598	205334	216822	216822	...	216822
ΦΟΡΟΣ 35%	58247,7	61315,1	64597,4	68109,3	71866,9	75887,7	75887,7	...	75887,7
ΚΑΘΑΡΑ ΚΕΡΔΗ	108174,3	113870,9	119966,6	126488,7	133467,1	140934,3	140934,3	...	140934,3
ΤΙΜΗ ΝΕΡΟΥ=	1,45 €/m ³								
ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΣ ΕΙΣΡΟΩΝ – ΕΚΡΟΩΝ (€)									
ΕΤΗ	0	1	2	3	4	5	6	...	20
ΕΙΣΡΟΕΣ									
ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ	864000								
ΕΠΙΧΟΡΗΓΗΣΗ	1296000								
ΔΑΝΕΙΟ	720000								
ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ		79200	79200	79200	79200	79200	79200	...	79200
ΚΑΘΑΡΑ ΚΕΡΔΗ		108174,3	113870,9	119966,6	126488,7	133467,1	140934,3	...	140934,3
ΕΚΡΟΕΣ									
ΧΡΕΩΛΥΣΙΑ		171065	183039	195852	209561	224231		...	
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	2880000								
ΚΑΘΑΡΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ	0	16309,3	10031,9	3314,6	-3872,3	-11563,9	220134,3	...	220134,3
NPV=	581.023,05								
IRR=	12,032%								

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ

1. Εφημερίδα «Καθημερινή», www.kathimerini.gr
2. Online Encyclopedia: Wikipedia – Βικιπαίδεια
3. «Μέθοδοι Αφαλάτωσης – Συγκριτική Αξιολόγηση και Εφαρμογές στα Νησιά του Αιγαίου», Ε. Τζεν, ΚΑΠΕ, 2001
4. «Review of water resources and desalination technologies», James E. Miller, Materials Chemistry Department, Sandia National Laboratories
5. «Αφαλάτωση», Αλέξανδρος Σ. Αλεξιάκης, εκδόσεις Μιχάλη Σιδέρη
6. «Desalination: Current Situation And Future Prospects», Dr. Pinhas Glueckstern
7. «Διυλιστήρια νερού και μονάδες αφαλάτωσης», Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων (Κύπρος)
8. «Τα ΝΕΑ online», www.tanea.gr, 18/06/2007
9. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), www.cres.gr
10. Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ), www.eletaen.gr
11. «Ανεμοκινητήρες», Γ. Μπεργελές, εκδόσεις Συμεών 2005
12. Danish Wind Industry Association, www.windpower.org
13. «Διαχείριση της αιολικής ενέργειας», Ιωάννης Καλδέλλης, εκδόσεις Σταμούλης 2005
14. Προσωπική τηλεφωνική συνέντευξη με τον Κοινοτάρχη της Σικίνου κ. Γιάννη Συρίγο
15. «Φολέγανδρος – Σίκινος», εκδόσεις Μ. Τουμπής Α.Ε., Αθήνα 2001
16. «Έκθεση υδρογεωλογικής αναγνώρισης για την ύδρευση του οικισμού Αλοπρόνοιας νήσου Σικίνου», Κων. Νίκας, Γεωλόγος ΙΓΜΕ, Αθήνα 1987
17. «Δίκτυο Μεσόγειος SOS – Εξοικονόμηση νερού – Ολοκληρωμένο εκπαιδευτικό πρόγραμμα για τα σχολεία της νότιας Ευρώπης», φύλλο εκπαιδευτικών 14-15
18. ΔΕΗ ΑΣΠ Πάρου
19. Ημερίδα «Νερό και κλιματικές αλλαγές», δίκτυο «Μεσόγειος SOS», 28 Μαρτίου 2008, Ηράκλειο Κρήτης, εισήγηση Ν. Αγγελάκη «Κλιματικές αλλαγές και υδατικοί πόροι: Ανάγκη ανάπτυξης και χρήσης μη συμβατικών υδατικών πόρων»
20. «Fundamentals Of Salt Water Desalination», H.T. El-Dessouky and H.M. Ettouney, ELSEVIER
21. «Perry's Chemical Engineer's Handbook», McGraw-Hill, 7th ed, 1999
22. Dow Water Solutions, <http://www.dow.com/liquidseps/index.htm>
23. «Μονάδα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη νήσο Μήλο», Μελέτη Σκοπιμότητας, Ι. Χατζηβασιλειάδης, Σύμβουλος Μηχανικός εταιρείας ΙΤΑ, Αθήνα 2005
24. «Μονάδα αφαλάτωσης με χρήση αιολικής ενέργειας στη νήσο Πάτμο», Μελέτη Σκοπιμότητας, Ι. Χατζηβασιλειάδης, Σύμβουλος Μηχανικός εταιρείας ΙΤΑ, Αθήνα 2005
25. Εταιρεία ENERCON, <http://www.enercon.de>

26. «Χρήση αφαλάτωσης ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας στο νησί της Σαντορίνης», Διπλωματική Εργασία, Χαμπηλομάτης Παναγιώτης, Αθήνα 2006
27. Εθνικό Πρόγραμμα Προστασίας και Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων – ΙΤΙΑ, <http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/782/>
28. Ζήσιμος Μαντάς, Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ, εργαζόμενος στην Enercon Hellas
29. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, <http://www.rae.gr>
30. Δ.Ε.Η. , <http://www.dei.gr>
31. «Σημειώσεις Αιολικής Ενέργειας», Ζερβός Αρθούρος, διδακτικές σημειώσεις, 2005