

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αριθμός

1074

ΘΕΜΑ: ΩΚΕΑΝΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (ΟΤΕC)

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:
ΣΤΑΘΑΤΟΣ ΗΛΙΑΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:
ΔΟΡΙΖΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΘΕΟΔΩΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

ΠΑΤΡΑ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκεφτείτε ένα τεράστιο ποσό ενέργειας που αποθηκεύεται ως θερμότητα στους ωκεανούς του κόσμου, αν είχαμε την ικανότητα να αντλήσουμε την εν λόγω πηγή θερμότητας θα μπορούσαμε να προσφέρουμε μια ανεξάντλητη προμήθεια καθαρών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κάτι τέτοιο θα άλλαζε το παιχνίδι της ενέργειας για πάντα!!! Μια συνηθισμένη μέρα οι τροπικές θάλασσες απορροφούν ένα ποσό ηλιακής ακτινοβολίας ίσο σε θερμική περιεκτικότητα με περίπου 250 δισεκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου, εάν λιγότερο από το 0,1% αυτής της ενέργειας μπορούσε να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια θα προμήθευε το εικοσαπλάσιο του συνολικού ποσού της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στις Ηνωμένες Πολιτείες σε οποιαδήποτε δεδομένη ημέρα. Η παραγωγή ενέργειας μέσω του νερού θα μπορούσε να αλλάξει τα πάντα, ο κλάδος που ασχοληθήκαμε στην πτυχιακή μας εργασία ονομάζεται μετατροπή της θερμικής ενέργειας του ωκεανού ή αλλιώς **OCEAN THERMAL ENERGY CONVERSION (OTEC)**.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ωκεάνια θερμική ενέργεια.

Στην εισαγωγή αναφερόμαστε περιληπτικά στην ενέργεια των ωκεανών και στους τρόπους που μπορεί να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια από τους ωκεανούς.

Στο κεφάλαιο 1 αναλύουμε την ωκεάνια θερμική ενέργεια (OTEC) , παρουσιάζουμε τα επιτεύγματα της τεχνολογίας στο πέρασμα των χρόνων, τις κατηγορίες των εγκαταστάσεων ανάλογα με τον κύκλο λειτουργίας και την τοποθεσία, τις εφαρμογές καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής.

Στο κεφάλαιο 2 και 3 γίνεται ανάλυση μιας εγκατάστασης OTEC. Με αναφορά στις κατασκευές που θα χρειαστούν, τους στρόβιλους, τους εναλλάκτες θερμότητας καθώς και τα συστήματα θαλάσσιου ύδατος.

Το κεφάλαιο 4 αναφέρεται στην τεχνολογία SOTEC (ηλιακή θερμική ωκεάνια ενέργεια) με περιγραφή του κύκλου λειτουργίας και θεωρητική ανάλυση της εφαρμογής.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την μελέτη της τεχνολογίας OTEC καθώς και τα σχέδια για την μελλοντική ανάπτυξη της τεχνολογίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>α/α</u>		<u>Σελ.</u>
	<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΩΚΕΑΝΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (ΟΤΕC)</u>	
1.1	Γενικά για την ωκεάνια θερμική ενέργεια (ΟΤΕC).....	7
1.2	Μεταβολή της θερμοκρασίας των ωκεανών με το βάθος.....	7
1.3	Ιστορική αναδρομή.....	9
1.4	Κατηγορίες εγκαταστάσεων ΟΤΕC ανάλογα με την τοποθεσία εγκατάστασης.....	11
1.4.1	Επίγειες και εγκαταστάσεις κοντά στις ακτές....	15
1.4.2	Εγκαταστάσεις προσαρτημένες σε υφαλοκρηπίδες.....	17
1.4.3	Πλωτές εγκαταστάσεις.....	18
1.5	Κατηγορίες εγκαταστάσεων ΟΤΕC ανάλογα με τον κύκλο λειτουργίας.....	20
1.5.1	Ανοικτός κύκλος.....	20
1.5.2	Κλειστός κύκλος.....	26
1.5.3	Υβριδικός κύκλος.....	29
1.6	Πλεονεκτήματα τεχνολογίας ΟΤΕC.....	30
1.7	Μειονεκτήματα τεχνολογίας ΟΤΕC.....	31
	<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΟΤΕC</u>	
2.1	Εναλλάκτης θερμότητας.....	32
2.1.1	Βασικά σχέδια εναλλακτών θερμότητας.....	34
2.1.2	Υλικά για την κατασκευή εναλλακτών θερμότητας.....	36
2.2	Υγρό λειτουργίας συστήματος.....	37
2.2.1	Πλεονεκτήματα μειγμάτων στους κύκλους ΟΤΕC.....	38
2.2.2	Σύγκριση των κύκλων μείγματος και καθαρού υγρού.....	39
2.3	Σωλήνωση.....	41
2.3.1	Σωλήνωση κοντά στην ακτή.....	42
2.3.2	Σωλήνωση σε μεγάλο βάθος.....	43
2.3.3	Επέκταση σωληνώσεων.....	45
2.4	Στρόβιλοι.....	46
2.5	Αντλίες για τις διάφορες εφαρμογές ΟΤΕC.....	47
2.6	Πλατφόρμες.....	47
2.7	Υποβρύχιες γραμμές μεταφοράς.....	49
2.8	Συστήματα οργάνων και ελέγχου.....	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΗΛΙΑΚΗ ΩΚΕΑΝΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (SOTEC)

3.1	Εφαρμογές.....	52
3.1.1	Υδατοκαλλιέργειες.....	52
3.1.2	Αφαλατωμένο νερό.....	53
3.1.3	Εξαγωγή ορυκτών.....	54
3.1.4	Ψύξη – κλιματισμός.....	55
3.1.5	Παραγωγή Υδρογόνου.....	55
3.2	Εφαρμογή μιας εγκατάστασης SOTEC 100 kW _e	56
3.2.1	Περιγραφή συστήματος και κύκλου λειτουργίας SOTEC.....	56
3.2.2	Θεωρητική ανάλυση της εφαρμογής SOTEC...	59
3.3	Αποτελέσματα της εφαρμογής SOTEC.....	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

	Εισαγωγή.....	66
4.1	Κύριο κόστος κατασκευής της εγκατάστασης OTEC.....	66
4.2	Κόστος ανά kWh ηλεκτρικής ενέργειας.....	67
4.3	Ενέργεια για την παραγωγή αμμωνίας (NH ₃)...	68
4.4	Ενέργεια για την παραγωγή αλουμινίου.....	69
4.5	Εξωτερικά κόστη.....	70
4.6	Οικονομικές κρίσεις και δυνατότητες της αγοράς.....	70
4.7	Οικονομικό και τεχνικό μοντέλο OTEC.....	73
4.7.1	Περιγραφή του μοντέλου.....	74
4.7.2	Βελτιστοποίηση των διαμορφωμένων εγκαταστάσεων OTEC.....	77
4.8	Αποτελέσματα μοντέλου OTEC.....	79
4.8.1	Μελλοντικά οικονομικά OTEC.....	79
4.8.2	Εξεταζόμενα σενάρια.....	80
4.9	OTEC και άλλες μελλοντικές πηγές Υδρογόνου.....	83
4.9.1	Σύγκριση κόστους πηγών υδρογόνου.....	83
4.9.2	Άλλες εκτιμήσεις πηγών υδρογόνου.....	84
4.10	Αμμωνία παραγωγής OTEC που χρησιμοποιεί τις υπάρχουσες επιχορηγήσεις...	87
4.11	Συμπεράσματα.....	88

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΣΤΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ

5.1	Τεχνικοί περιορισμοί.....	90
5.2	Τεχνικές δυσκολίες.....	92
5.2.1	Υποβάθμιση της απόδοσης του εναλλάκτη θερμότητας λόγω διαλυμένων αερίων.....	92
5.2.2	Μείωση της απόδοσης του εναλλάκτη	92

	θερμότητας λόγω της μικροβιακής επίστρωσης.....	
5.2.3	Εσφαλμένη σφράγιση.....	93
5.2.4	Παρασιτική κατανάλωση ισχύος από τον συμπιεστή εξαέρμισης.....	94
5.3	Επιπτώσεις στο περιβάλλον και στο προσωπικό.....	94
	<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</u>	98
	<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	109

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Γενικά για την ωκεάνια ενέργεια.

Οι ωκεανοί καλύπτουν λίγο περισσότερο από το 70% της γήινης επιφάνειας. Αυτό τους κάνει το συλλέκτη της μεγαλύτερης παγκόσμιας ηλιακής ενέργειας και σύστημα ενεργειακής αποθήκευσης. Μια μέση ημέρα 60 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα των τροπικών θαλασσών απορροφούν ένα ποσό ηλιακής ακτινοβολίας ίσο σε περιεχόμενο θερμότητας με περίπου 250 δισεκατομμύριο βαρέλια πετρελαίου. Εάν λιγότερο από το 0,1% αυτής της αποθηκευμένης ηλιακής ενέργειας μπορούσε να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια, θα παρείχε περισσότερες από 20 φορές το συνολικό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στις Η.Π.Α. οποιαδήποτε δεδομένη ημέρα.

Η OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) είναι μία ενεργειακή τεχνολογία που μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα συστήματα OTEC χρησιμοποιούν τη φυσική θερμική κλίση του ωκεανού, δηλαδή το γεγονός ότι τα στρώματα νερού του ωκεανού έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες, για να παράγουν ενέργεια. Εφ' όσον διαφέρει η θερμοκρασία μεταξύ του θερμού επιφάνειας και του κρύου νερού των μεγάλων θαλάσσιων βαθών περίπου 20°C (68°F), ένα σύστημα OTEC μπορεί να παράγει ένα σημαντικό ποσό ισχύος. Έτσι οι ωκεανοί είναι ένας απέραντος ανανεώσιμος πόρος, με τη δυνατότητα να βοηθήσει να παράγουμε δισεκατομμύρια Watt ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η δυνατότητα υπολογίζεται ότι είναι περίπου 10^{13} Watt της ηλεκτρικής παραγωγής. Το κρύο νερό από τα βάθη της θάλασσας, που χρησιμοποιείται στη τεχνολογία OTEC, είναι πλούσιο σε θρεπτικές ουσίες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλλιεργηθούν θαλάσσιοι οργανισμοί και η φυτική ζωή κοντά στην ακτή ή στο έδαφος.

Τα οικονομικά της ενεργειακής παραγωγής σήμερα έχουν καθυστερήσει τη χρηματοδότηση μόνιμων και συνεχών λειτουργικών εγκαταστάσεων OTEC. Εντούτοις, η τεχνολογία OTEC είναι πολύ ελπιδοφόρα ως πόρος εναλλακτικής ενέργειας για τις κοινότητες των τροπικών νησιών που στηρίζονται σε μεγάλο ποσοστό στα εισαγόμενα καύσιμα. Οι εγκαταστάσεις OTEC σε αυτές τις αγορές θα μπορούσαν να παρέχουν την αναγκαία ισχύ, καθώς επίσης και αφαλατωμένο νερό και την καλλιέργεια ποικίλων θαλάσσιων οργανισμών.

1.2 Μεταβολή της θερμοκρασίας των ωκεανών με το βάθος

Η συνολική έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία που παραλαμβάνεται από τους ωκεανούς είναι 5.457×10^{18} MJ/έτος) $\times 0,7 = 1,9 \times 10^{18}$ MJ/έτος (λαμβάνοντας ως μέσο δείκτη καθαρότητας 0.5). Μόνο το 15% αυτής της ενέργειας διατηρείται ως θερμική ενέργεια.

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το νόμο του Lambert για να υπολογιστεί η απορρόφηση ηλιακής ενέργειας από το νερό,

$$-\frac{dI(y)}{dy} = \mu I$$

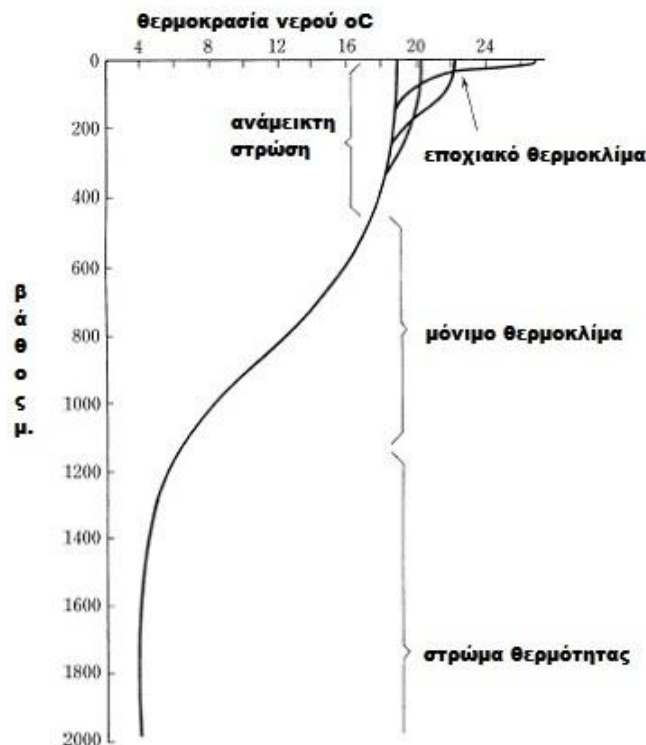
όπου, y είναι το βάθος του νερού, I είναι η ένταση και μ είναι ο συντελεστής απορρόφησης.

Επιλύοντας την παραπάνω διαφορική εξίσωση_έχουμε

$$I(y) = I_0 \exp(-\mu y)$$

Ο συντελεστής απορρόφησης μ μπορεί να κυμανθεί από $0,05 \text{ m}^{-1}$ για το πολύ γλυκό νερό ως $0,5 \text{ m}^{-1}$ για το πολύ αλμυρό νερό.

Δεδομένου ότι η ένταση μειώνεται εκθετικά με το βάθος y (Σχ.1.2), η απορρόφηση συγκεντρώνεται στα κορυφαία στρώματα. Χαρακτηριστικά στις τροπικές χώρες, οι τιμές της θερμοκρασίας επιφάνειας είναι παραπάνω από $25 \text{ }^\circ\text{C}$, ενώ 1 χλμ χαμηλότερα η θερμοκρασία είναι περίπου $5 - 10 \text{ }^\circ\text{C}$. Σε αντίθεση με την συνηθισμένη κατάσταση των δοχείων μαγειρικής, όπου η θερμότητα παρέχεται από την κατώτατη επιφάνεια, τα θερμότερα (και ως εκ τούτου ελαφρύτερα) νερά στη κορυφή αποδεικνύουν ότι δεν υπάρχουν θερμικά ρεύματα μεταφοράς. Λόγω των πολύ χαμηλών θερμοκρασιακών διαβαθμίσεων, η μεταφορά θερμότητας λόγω αγωγιμότητας είναι πάρα πολύ χαμηλή για να προκαλέσει οποιαδήποτε σημαντική αλλαγή. Έτσι με κανέναν από τους σημαντικότερους μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας να μην λειτουργούν, τα κορυφαία στρώματα παραμένουν καυτά και τα χαμηλότερα στρώματα παραμένουν κρύα. Κατά συνέπεια είναι όπως μια σχεδόν ανεξάντλητη πηγή θερμότητας και μία σχεδόν άπειρη διάταξη απομάκρυνσης θερμότητας μεταξύ ενός διαχωρισμού περίπου 1000 μέτρων που εμφανίζεται φυσικά και επιτρέπει τη χρήση των μηχανών θερμότητας. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας ποικίλλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή, με την μέγιστη στις τροπικές, υποτροπικές και ισημερινές περιοχές. Ως εκ τούτου, οι τροπικοί κύκλοι είναι οι καλύτερες τοποθεσίες για τα συστήματα OTEC.



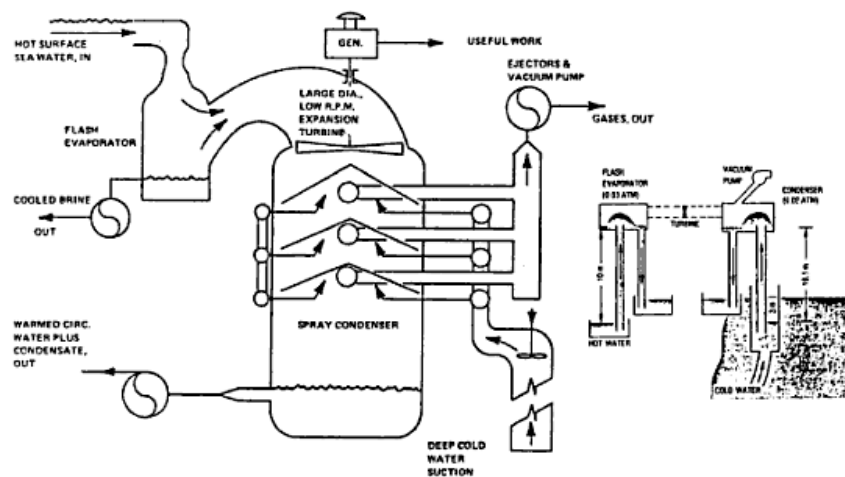
Σχήμα 1.2: Μεταβολή της ωκεάνιας θερμοκρασίας ανάλογα με το βάθος

1.3 Ιστορική αναδρομή

Το 1881 ο Jacques Arsene d'Arsonval, ένας Γάλλος φυσικός, ήταν ο πρώτος που πρότεινε να αντληθεί η θερμική ενέργεια του ωκεανού.

Ο Georges Claude ένας μαθητής του d'Arsonval, έχτισε ένα πειραματικό σύστημα OTEC ανοικτού κύκλου στον κόλπο Matanzas στην Κούβα το 1930. Το σύστημα παρήγαγε 22 kW ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρησιμοποίηση ενός στροβίλου χαμηλής πίεσης.

Το 1935, ο Claude κατασκεύασε μια άλλη εγκατάσταση ανοικτού κύκλου σε ένα σκάφος φορτίου 10.000 τόνων αραγμένο στις ακτές της Βραζιλίας. Αλλά και οι δύο εγκαταστάσεις καταστράφηκαν από τον καιρό και τα κύματα και ο Claude δεν επέτυχε ποτέ το στόχο του να παράγει καθαρό ποσό ισχύος (το υπόλοιπο αφού αφαιρέσει την ισχύ για να λειτουργήσει το σύστημα) από ένα σύστημα OTEC ανοικτού κυκλώματος.



Σχήμα 1.3.1: Ανοικτός κύκλος (Claude 1930)

Κατόπιν το 1956, Γάλλοι ερευνητές σχεδίασαν μία εγκατάσταση ανοικτού κύκλου 3 MWe στο Αμπιτζάν στη δυτική ακτή της Αφρικής. Αλλά η εγκατάσταση δεν ολοκληρώθηκε ποτέ λόγω του ανταγωνισμού με την ανέξοδη υδροηλεκτρική ενέργεια.

Το 1974 ιδρύθηκε το εργαστήριο Φυσικής Ενέργειας της Χαβάης (NELHA, στο παρελθόν NELH), στο σημείο Keahole στην ακτή Κοπα του νησιού της Χαβάης. Εκεί έγινε ο τόπος εργαστηρίων και δοκιμής για τις τεχνολογίες OTEC.

Το 1979, οι πρώτες εγκαταστάσεις επίδειξης τεχνολογίας OTEC κλειστού κύκλου 50 kWe κατασκευάστηκαν από το NELHA. Γνωστές ως "Mini - Otec" οι εγκαταστάσεις αυτές τοποθετήθηκαν σε μια φορηγίδα του Αμερικάνικου Ναυτικού που αγκυροβολήθηκε περίπου 2 χιλιόμετρα από το Keahole. Οι εγκαταστάσεις χρησιμοποιούσαν έναν σωλήνα με παροχή κρύου νερού για να παράγουν 52 kWe της ολικής ισχύος και 15 kWe καθαρής ισχύος.

Το 1980 το Αμερικάνικο Τμήμα Ενέργειας (DOE) κατασκεύασε το OTEC-1, μια περιοχή δοκιμής για τους εναλλάκτες θερμότητας κλειστού κύκλου τεχνολογίας OTEC που εγκαταστάθηκαν σε ένα τάνκερ του Αμερικάνικου Ναυτικού. Τα αποτελέσματα της δοκιμής προσδιόρισαν τις μεθόδους για τους εναλλάκτες θερμότητας εμπορικού επιπέδου και κατέδειξαν ότι τα συστήματα OTEC μπορούν να λειτουργήσουν με το να κινήσουν αργά σκάφη με λίγη επίδραση στο θαλάσσιο

περιβάλλον. Ένα νέο σχέδιο για τους ανασταλμένους σωλήνες παροχής κρύου νερού επικυρώθηκε σε αυτόν τον τόπο δοκιμής.

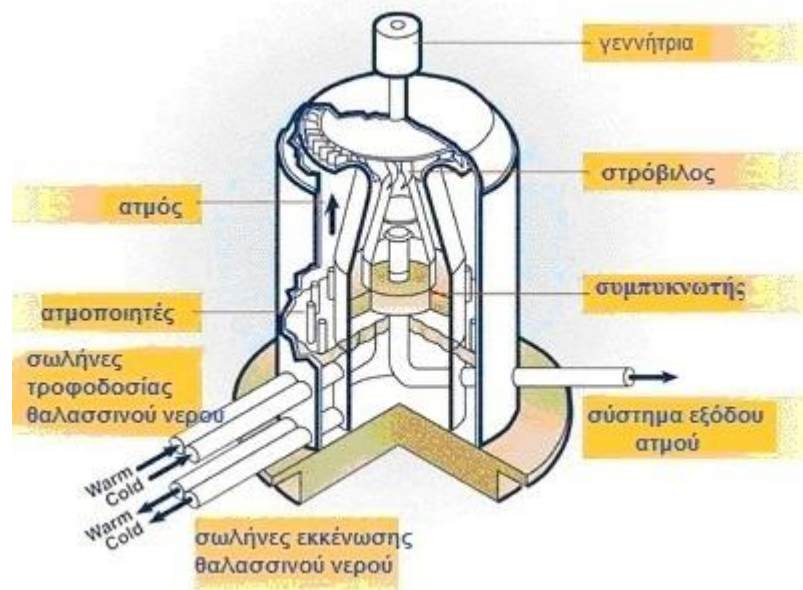


Επίσης το 1980, θεσπίστηκαν δύο νόμοι για να προωθήσουν την εμπορική ανάπτυξη της τεχνολογίας OTEC: ο ωκεάνιος θερμικός νόμος ενεργειακής μετατροπής, δημόσιος νόμος (PL) 96-320, που τροποποιείται αργότερα από τον PL 98-623, και την έρευνα και ανάπτυξη της ωκεάνιας θερμικής ενεργειακής μετατροπής και το νόμο επίδειξης, PL 96-310.

Στο πρόγραμμα Seacoast Test Facility, που καθιερώθηκε ως κοινό πρόγραμμα του κράτους της Χαβάης και του D.O.E., το αφυαλατωμένο νερό παρήχθη με τη χρησιμοποίηση της διαδικασίας ανοικτού κύκλου. Ένα σύστημα παροχής διαμέτρου 1m θαλάσσιου κρύου νερού προς 0.7 m διάμετρο θαλάσσιου θερμού νερού αναπτύχθηκε από την Seacoast Test Facility για να καταδείξει πώς οι μεγάλοι σωλήνες πολυαιθυλενίου κρύου νερού μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα τεχνολογίας OTEC.

Το 1981, η Ιαπωνία κατέδειξε μία εγκατάσταση κλειστού κύκλου 100 kWe με βάση την παράκτια περιοχή στη Δημοκρατία του Ναούρου στον Ειρηνικό Ωκεανό. Αυτές οι εγκαταστάσεις χρησιμοποίησαν το σωλήνα παροχής κρύου νερού και τοποθετήθηκαν στον πυθμένα της θάλασσας σε ένα βάθος 580 μέτρων. Το υγρό λειτουργίας ήταν φρέον και χρησιμοποιήθηκε ένας εναλλάκτης θερμότητας από τιτάνιο. Οι εγκαταστάσεις ξεπέρασαν τις προσδοκίες της εφαρμοσμένης μηχανικής με την παραγωγή 31,5 kWe καθαρής ενέργειας κατά τη διάρκεια των συνεχών δοκιμών.

Αργότερα, οι δοκιμές από το U.S. DOE καθόρισαν ότι το κράμα αργιλίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί του ακριβότερου τιτανίου για να κατασκευαστούν οι μεγάλοι εναλλάκτες θερμότητας για τα συστήματα OTEC. Και οι θαλάσσιες δοκιμές από το DOE κατέδειξαν ότι η βιολογική αγκίστρωση και η διάβρωση των εναλλακτών θερμότητας μπορούν να ελεγχθούν. Η βιολογική αγκίστρωση δεν εμφανίζεται να είναι πρόβλημα στα συστήματα κρύου νερού της θάλασσας. Στα συστήματα θερμού νερού της θάλασσας, μπορεί να ελεγχθεί με ένα μικρό ποσό διακοπτόμενης χλωρίωσης (70 μέρη ανά δισεκατομμύριο ανά ώρα ανά ημέρα).



Σχήμα 1.3.2: Σύστημα OTEC για την παραγωγή καθαρής ενέργειας

Το 1984, οι επιστήμονες στο Solar Energy Research Institute (SERI, γνωστό σήμερα σαν National Renewable Energy Laboratory), κατασκεύασαν έναν ατμοποιητή κάθετου σωλήνα για να μετατρέψουν το θερμό νερό της θάλασσας σε ατμό χαμηλής πίεσης για τις εγκαταστάσεις ανοικτού κύκλου. Η αποδοτικότητα της ενεργειακής μετατροπής που επιτεύχθηκε ήταν αρκετά υψηλή περίπου 97%. Οι συμπυκνωτές άμεσων επαφών που χρησιμοποιούν την προηγμένη συσκευασία αποδείχθηκαν ότι είναι ένας αποδοτικός τρόπος να ξεφορτωθεί ο ατμός. Χρησιμοποιώντας γλυκό νερό το προσωπικό του SERI ανέπτυξε και εξέτασε τους συμπυκνωτές άμεσων επαφών για τις εγκαταστάσεις OTEC ανοικτού κύκλου.

Εν τω μεταξύ Βρετανοί ερευνητές έχουν σχεδιάσει και εξετάσει τους εναλλάκτες θερμότητας αργιλίου που θα μπορούσαν να μειώσουν το κόστος εναλλακτών θερμότητας σε \$1500 ανά εγκατεστημένη ισχύ σε kW. Έτσι αναπτύχθηκε και κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας η ιδέα κατασκευής εύκαμπτου σωλήνα θαλασσινού νερού με χαμηλό κόστος. Ένας τέτοιος σωλήνας θα μπορούσε να κάνει περιττούς αρκετούς περιορισμούς, καθώς επίσης και να βελτιώσει τα οικονομικά των συστημάτων OTEC.

Τον Μάιο του 1993 μία εγκατάσταση OTEC ανοικτού κύκλου, στο Keahole της Χαβάης, παρήγαγε 50.000 Watt ηλεκτρικής ισχύος κατά τη διάρκεια ενός πειράματος παραγωγής καθαρής ισχύος. Σήμερα, οι επιστήμονες αναπτύσσουν νέους, οικονομικά αποδοτικούς στροβίλους για τα συστήματα OTEC ανοικτού κύκλου.

1.4 Κατηγορίες εγκαταστάσεων OTEC ανάλογα με την τοποθεσία εγκατάστασης

Οι εμπορικές ωκεάνιες θερμικές εγκαταστάσεις ενεργειακής μετατροπής (OTEC) πρέπει να τοποθετηθούν σε ένα περιβάλλον που να είναι αρκετά σταθερό για την αποδοτική λειτουργία των συστημάτων. Η θερμοκρασία του θερμού νερού της θαλάσσιας επιφάνειας πρέπει να διαφέρει κατά 20°C (68°F) από το νερό των κρύων

μεγάλων θαλασσίων βαθών που είναι περίπου 1000 μέτρα (3280 πόδια) κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

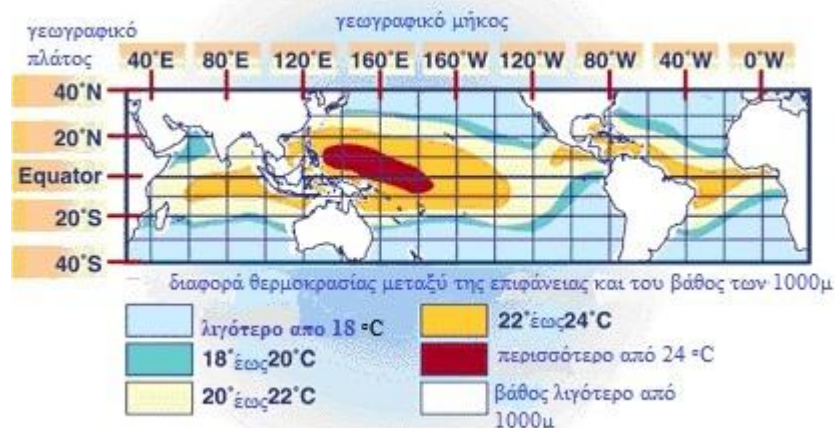
Τα ακόλουθα συνοψίζουν τη διαθεσιμότητα θερμικών πόρων για τις εγκαταστάσεις OTEC παγκοσμίως:

(1) Στις θαλάσσιες περιοχές γύρω από τον Ισημερινό, που βρίσκονται μεταξύ 10 °B και 10 °N που είναι κατάλληλες εκτός από τη δυτική ακτή της Νότιας Αμερικής· θα απαιτηθεί σημαντική εποχιακή αύξηση θερμοκρασίας (π.χ., με ηλιακούς κλωβούς) στη δυτική ακτή της νότιας Αφρικής· επιπλέον, η θερμοκρασία στα βαθιά νερά είναι μεγαλύτερη περίπου 2 °C κατά μήκος της ανατολικής ακτής της Αφρικής.

(2) Στις θαλάσσιες τροπικές περιοχές, που βρίσκονται μεταξύ 20 °B και 20 °N, που είναι κατάλληλες, εκτός από τις δυτικές ακτές της Νότιας Αμερικής και της νότιας Αφρικής. Επιπλέον, τα εποχιακά φαινόμενα ανεβάσματος των νερών θα απαιτούσαν σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας για τη δυτική ακτή της βόρειας Αφρικής και ανοιχτά της Αραβικής χερσονήσου.

Μερικά σημαντικά κριτήρια περιοχών είναι:

1. Υψηλές θερμικές διαφορές μεταξύ της θερμής επιφάνειας και του ψυχρού νερού των μεγάλων βαθών,
2. Ρεύματα χαμηλής ταχύτητας,
3. Απουσία θυελλών (ελάχιστος άνεμος και κύματα) και
4. Κοντινές σε απόσταση από την αγορά για τα προϊόντα OTEC.



Σχήμα 1.4.1: Χάρτης θερμοκρασιών θαλασσινού νερού επιφανείας

Οι φυσικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή των περιοχών για τις εγκαταστάσεις OTEC, δηλαδή οι θερμικοί πόροι και η μέτρηση του θαλάσσιου πυθμένα, περιορίζουν πολύ τον αριθμό επιθυμητών περιοχών κατά μήκος της ακτής σημαντικών ηπείρων, εκτός και αν είναι δυνατή κάποια αύξηση της θερμοκρασίας του νερού της θάλασσας. Οι καλύτερες, επίγειες, περιοχές για τις εγκαταστάσεις OTEC εξαρτώνται από τις θέσεις των νησιών. Ο σοβαρός περιορισμός του ευνοϊκού βαθυμετρικού σχεδιαγράμματος, για την πρακτική εφαρμογή των επίγειων τεχνολογιών OTEC, θα ξεπερνούσαν σε σημαντικό βαθμό με τις πλωτές εγκαταστάσεις. Τα πιθανά οφέλη της τεχνολογίας OTEC θα μπορούσαν μόνο να ανακτηθούν σε μια μεγάλη κλίμακα μέσω της ανάπτυξης ενός φιλόδοξου

προγράμματος πλωτών εγκαταστάσεων, μετά από την αρχική πειραματική φάση των επίγειων εγκαταστάσεων OTEC.

Πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν και άλλα κριτήρια για την επιλογή των πιθανών περιοχών OTEC, από τις διοικητικές μέριμνες στους κοινωνικοοικονομικούς και πολιτικούς παράγοντες. Ένα επιχείρημα υπέρ της τεχνολογίας OTEC βρίσκεται στον ανανεώσιμο χαρακτήρα του, δηλαδή μπορεί να θεωρηθεί ως ένα μέσο για να παρασχεθεί σε μακρινές και απομονωμένες κοινότητες κάποιος βαθμός ενεργειακής ανεξαρτησίας, και να τους προσφερθεί μια δυνατότητα για την ασφαλή οικονομική ανάπτυξη. Παραδόξως, τα εν λόγω πλεονεκτήματα συνοδεύονται συχνά από σοβαρά διοικητικά προβλήματα κατά τη διάρκεια της κατασκευής και λειτουργίας των εγκαταστάσεων. Εάν ένα νησί βρίσκεται υπό ανάπτυξη, είναι πιθανό να στερούνται των απαιτούμενων υποδομών για τέτοιου είδους έργο, συμπεριλαμβανομένων των λιμανιών, των αερολιμένων, της οδοποιίας και των συστημάτων επικοινωνίας. Επιπλέον, ο πληθυσμός πρέπει να είναι συμβατός με το μέγεθος των εγκαταστάσεων OTEC, ώστε να παρέχεται το επαρκές προσωπικό για την λειτουργία των εγκαταστάσεων και η ηλεκτρική ενέργεια και η αφαλατωμένη ύδρευση που παράγονται από τις εγκαταστάσεις να ανταποκρίνονται σε μέγεθος με την τοπική κατανάλωση. Εγκαταστάσεις από 1 έως 10 MW θα αρκούσαν κατά κανόνα στα περισσότερα μικρά νησιά του Ειρηνικού, ενώ στην περίπτωση των πυκνοκατοικημένων και βιομηχανικών χωρών θα ήταν απαραίτητες μεγαλύτερες εγκαταστάσεις OTEC, μέχρι 100 MW.

Υπάρχουν τουλάχιστον δύο ευδιάκριτες αγορές για την παραγωγή OTEC: (i) τα βιομηχανοποιημένα κράτη και νησιά και (ii) τα μικρότερα ή λιγότερο βιομηχανοποιημένα νησιά με μέτριες ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια και αφαλατωμένη ύδρευση.

Οι μικρές εγκαταστάσεις OTEC ανοικτού κύκλου μπορούν να ταξινομηθούν για να παράγουν από 1 έως 10 MW ηλεκτρικής ενέργειας, και τουλάχιστον 1700 m³ έως 3500 m³ αφαλατωμένου νερού ανά ημέρα. Δηλαδή θα μπορούσαν να ικανοποιηθούν οι ανάγκες αναπτυσσόμενων κοινοτήτων με πληθυσμούς που κυμαίνονται από 4.500 μέχρι 100.000 κατοίκους. Αυτό το μέγεθος καλύπτει την πλειοψηφία των λιγότερο αναπτυγμένων νησιωτικών κρατών σε όλο τον κόσμο. Οι μεγαλύτερες εγκαταστάσεις OTEC κλειστού ή υβριδικού κύκλου μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είτε για την αφαλατωμένη ύδρευση κοινοτήτων με μεγαλύτερο πληθυσμό. Παραδείγματος χάριν, μία εγκατάσταση υβριδικού κύκλου 50 MW που παράγει τουλάχιστον 62.000 m³ νερού ανά ημέρα, θα μπορούσε να προσαρμοστεί για να υποστηρίξει μια αναπτυσσόμενη κοινότητα περίπου 300.000 ατόμων ή ως και 100.000 άτομα σε ένα βιομηχανοποιημένο κράτος.

Μια μελέτη που διεξήχθη από τις Η.Π.Α. το 1981 προσδιόρισε ότι ενενήντα οκτώ κράτη και περιοχές με πρόσβαση στους θερμικούς πόρους για την τεχνολογία OTEC (διαφορά θερμοκρασίας 20 °C μεταξύ του νερού επιφάνειας και του νερού των μεγάλων βαθών του ωκεανού) σε ακτίνα διακοσίων ναυτικών μιλίων αποτελούν την αποκλειστική οικονομική ζώνη. Για την πλειοψηφία αυτών των τοποθεσιών υπάρχουν οφέλη από την τεχνολογία OTEC με τη χρήση μόνο πλωτών εγκαταστάσεων. Έχει αξιωθεί ένα σημαντικό δυναμικό αγοράς μέχρι 577.000 MW από τις νέες εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας βασικού φορτίου (ισοδύναμο με το 6% της παρούσας ημερήσιας κατανάλωσης ισχύος από την ανθρωπότητα). Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, αυτός το μέγεθος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα αντιπροσωπεύσει ένα σημαντικό ποσοστό περιβαλλοντικών

επιπτώσεων, που θα οφείλεται κυρίως στη μετακίνηση τεραστίων ποσοτήτων θαλασσινού νερού.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες με τους επαρκείς ωκεάνιους θερμικούς τους πόρους σε απόσταση 25 χιλιάμετρα ή λιγότερα από την ακτή.

Λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες με επαρκή ωκεανοθερμικούς πόρους σε απόσταση 25 χιλιάμετρα ή λιγότερα από την ακτή		
Χώρα / Περιοχή	Διαφορά Θερμοκρασίας (° C) του νερού μεταξύ 0 και 1.000 μ	Απόσταση από την πηγή έως την ακτή (χλμ)
Αφρική		
Benin	22-24	25
Gabon	20-22	15
Ghana	22-24	25
Kenya	20-21	25
Mozambique	18-21	25
São Tomé and Príncipe	22	1-10
Somalia	18-20	25
Tanzania	20-22	25
Λατινική Αμερική και Καραϊβική		
Bahamas, The	20-22	15
Barbados	22	1-10
Cuba	22-24	1
Dominica	22	1-10
Dominican Republic	21-24	1
Grenada	27	1-10
Haiti	21-24	1
Jamaica	22	1-10
Saint Lucia	22	1-10
Saint Vincent and the Grenadines	22	1-10
Trinidad and Tobago	22-24	10
U.S. Virgin Islands	21-24	1
Ινδικός και Ειρηνικός Ωκεανός		
Comoros	20-25	1-10
Cook Islands	21-22	1-10
Fiji	22-23	1-10
Guam	24	1

Kiribati	23-24	1-10
Maldives	22	1-10
Mauritius	20-21	1-10
New Caledonia	20-21	1-10
Pacific Islands Trust Territory	22-24	1
Philippines	22-24	1
Samoa	22-23	1-10
Seychelles	21-22	1
Solomon Islands	23-24	1-10
Vanuatu	22-23	1-10

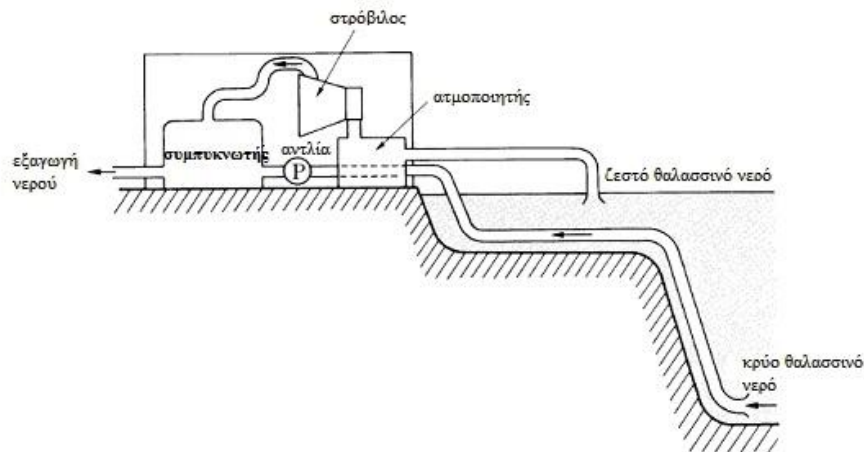
Οι εμπορικές εγκαταστάσεις ΟΤΕC μπορούν να κατασκευαστούν:

- στην ξηρά ή κοντά στην ακτή
- σε εξέδρες προσαρτημένες σε υφαλοκρηπίδα
- σε πλωτές εγκαταστάσεις σε μεγάλα ωκεάνια βάθη.

1.4.1 Επίγειες και εγκαταστάσεις κοντά στις ακτές

Οι επίγειες και κοντά στις ακτές εγκαταστάσεις προσφέρουν τρία κύρια πλεονεκτήματα σε σχέση με εκείνες που βρίσκονται στα μεγάλα θαλάσσια βάθη. Οι εγκαταστάσεις που κατασκευάζονται στην ακτή ή κοντά σε αυτή δεν απαιτούν την περίπλοκη πρόσδεση, τα μεγάλα καλώδια ισχύος και την εκτενή συντήρηση. Μπορούν να εγκατασταθούν σε προφυλαγμένες περιοχές έτσι ώστε είναι σχετικά ασφαλείς από τις θύελλες και τις θαλασσοταραχές.

Η ηλεκτρική ενέργεια, η αφυαλατωμένη ύδρευση, και το κρύο νερό της θάλασσας, που είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά, θα μπορούσαν να μεταφερθούν από τις εγκαταστάσεις που είναι κοντά στις ακτές μέσω ασάλινων γεφυρών ή υπερυψωμένων δρόμων. Επιπλέον οι επίγειες και οι εγκαταστάσεις κοντά στις ακτές επιτρέπουν στις εγκαταστάσεις ΟΤΕC να λειτουργήσουν με σχετικές βιομηχανίες όπως την καλλιέργεια θαλάσσιων οργανισμών ή αυτές που απαιτούν αφυαλατωμένο νερό.



Σχήμα 1.4.1 Επίγεια εγκατάσταση OTEC

Οι ευνοημένες θέσεις περιλαμβάνουν τις στενές υφαλοκρηπίδες (ηφαιστειακά νησιά), τις απότομες (15-20 βαθμοί) παράκτιες κλίσεις, και τους σχετικά ομαλούς πυθμένες της θάλασσας. Αυτές οι περιοχές ελαχιστοποιούν το μήκος του σωλήνα εισαγωγής κρύου νερού. Επίγειες εγκαταστάσεις θα μπορούσαν να χτιστούν καλά εσωτερικά της ακτής, που προσφέρει περισσότερη προστασία από τις θύελλες, ή στην παραλία, όπου οι σωλήνες θα ήταν κοντύτεροι. Σε καθεμία περίπτωση, η εύκολη πρόσβαση για την κατασκευή και τη λειτουργία βοηθά στο χαμηλό κόστος της τεχνολογίας OTEC.

Οι επίγειες ή οι περιοχές κοντά στις ακτές μπορούν επίσης να υποστηρίξουν την καλλιέργεια θαλάσσιων οργανισμών. Οι δεξαμενές καλλιέργειας των θαλάσσιων οργανισμών ή οι λιμνοθάλασσες που σχηματίζονται στην ακτή επιτρέπουν στους εργαζομένους να επιτηρούν και να ελέγχουν με μεγαλύτερη ευκολία. Ενώ και τα προϊόντα της καλλιέργειας των θαλάσσιων οργανισμών θα μπορούν να παραδοθούν στην αγορά με σχετική ευκολία μέσω των σιδηροδρόμων ή των εθνικών οδών.

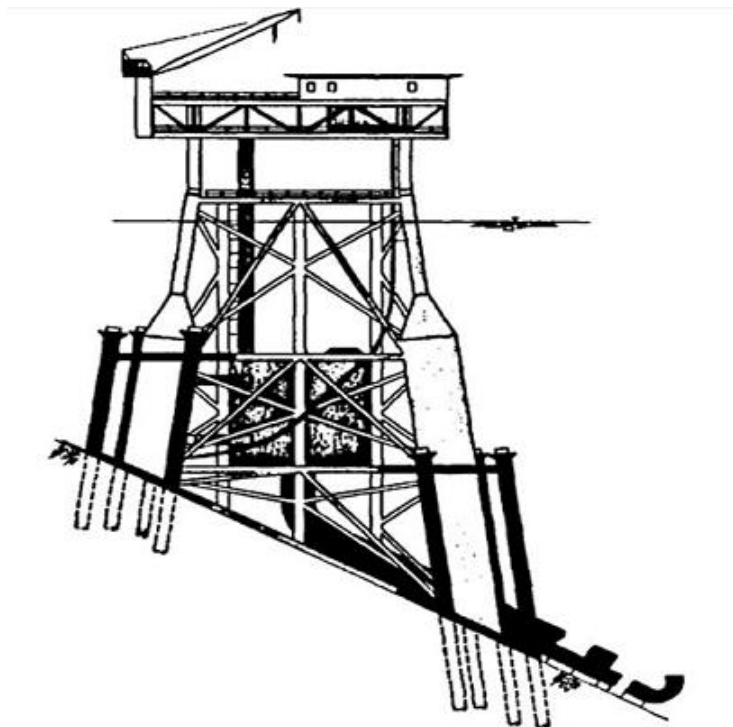
Ένα μειονέκτημα των επίγειων εγκαταστάσεων προκύπτει από την ορμητική δράση των κυμάτων στη ζώνη εκτόνωσης τους. Εκτός και αν οι σωλήνες παροχής και εκκένωσης του νερού των εγκαταστάσεων OTEC θάβονται σε προστατευτικές τάφρους, οπότε δε θα υποβληθούν σε ακραία πίεση κατά τη διάρκεια των θυελλών και των παρατεταμένων περιόδων θαλασσοταραχής. Επίσης, η μικτή εκκένωση του κρύου και θερμού νερού της θάλασσας ίσως να χρειαστεί να μεταφερθεί αρκετές εκατοντάδες μέτρα από την ακτή για να φθάσει στο κατάλληλο βάθος προτού να απελευθερωθεί. Αυτή η ρύθμιση απαιτεί πρόσθετες δαπάνες κατασκευής και συντήρησης. Τα συστήματα OTEC μπορούν να αποφύγουν μερικά από τα προβλήματα και τις δαπάνες αν λειτουργούν σε μια ζώνη κυμάτων και χτίζονται ακριβώς παράκτια σε βάθη που κυμαίνονται από 10 έως 30 μέτρα.

Αυτός ο τύπος εγκαταστάσεων θα χρησιμοποιούσε κοντύτερους (και επομένως λιγότερο δαπανηρούς) σωλήνες εισαγωγής και εκκένωσης, οι οποίοι θα απέφευγαν τους κινδύνους των ορμητικών κυμάτων. Εντούτοις οι ίδιες οι εγκαταστάσεις θα απαιτούσαν για την προστασία τους από το θαλάσσιο περιβάλλον κυματοθραύστες, ανθεκτικά σε διάβρωση θεμέλια και την μεταφορά των παραγόμενων προϊόντων στην ακτή.

1.4.2 Εγκαταστάσεις προσαρτημένες σε υφαλοκρηπίδες

Για να αποφύγουν την ορμητική ζώνη των κυμάτων καθώς επίσης για να έχουν και πιο στενή πρόσβαση στους πόρους κρύου νερού, οι εγκαταστάσεις ΟΤΕC μπορούν να τοποθετηθούν σε ηπειρωτικές υφαλοκρηπίδες σε βάθη μέχρι 100 μέτρα. Τέτοιες εγκαταστάσεις θα μπορούσαν να κατασκευαστούν σε ένα ναυπηγείο, να ρυμουλκηθούν στην περιοχή, και να σταθεροποιηθούν στον πυθμένα της θάλασσας (Σχ. 1.4.2).

Αυτός ο τύπος κατασκευής χρησιμοποιείται ήδη για τις παράκτιες εγκαταστάσεις γεώτρησης πετρελαίου. Τα πρόσθετα προβλήματα λειτουργίας μιας εγκατάστασης ΟΤΕC σε μεγάλα θαλάσσια βάθη μπορούν να καταστήσουν τις εγκαταστάσεις που είναι προσαρτημένες σε υφαλοκρηπίδες λιγότερο επιθυμητές και ακριβότερες από τις αντίστοιχες επίγειες εγκαταστάσεις. Τα προβλήματα αυτών των εγκαταστάσεων περιλαμβάνουν την πίεση λόγω των συνθηκών που επικρατούν στο θαλάσσιο χώρο και της δυσκολότερης παράδοσης των προϊόντων. Πρέπει να εξεταστούν τα ισχυρά ωκεάνια ρεύματα και τα μεγάλα κύματα που απαιτούν την πρόσθετη δαπάνη της εφαρμοσμένης μηχανικής και κατασκευής. Οι πλατφόρμες απαιτούν την εκτεταμένη δομή των πασσάλων για να διατηρηθεί σταθερή η βάση για τη λειτουργία ΟΤΕC. Η διανομή της ενέργειας θα μπορούσε επίσης να γίνει δαπανηρή λόγω των μακριών υποβρύχιων καλωδίων που απαιτούνται για να φθάσει στην ακτή.

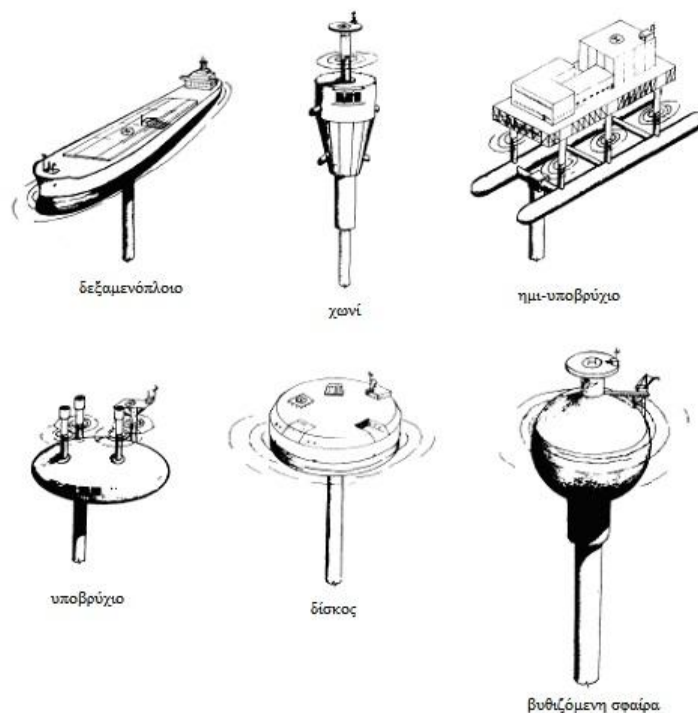


Σχήμα 1.4.2: Εγκατάσταση σταθερή στον πυθμένα της θάλασσας

Για αυτούς τους λόγους, οι εγκαταστάσεις που είναι προσαρτημένες σε υφαλοκρηπίδες είναι λιγότερο ελκυστικές για τη βραχυπρόθεσμη ανάπτυξη ΟΤΕC.

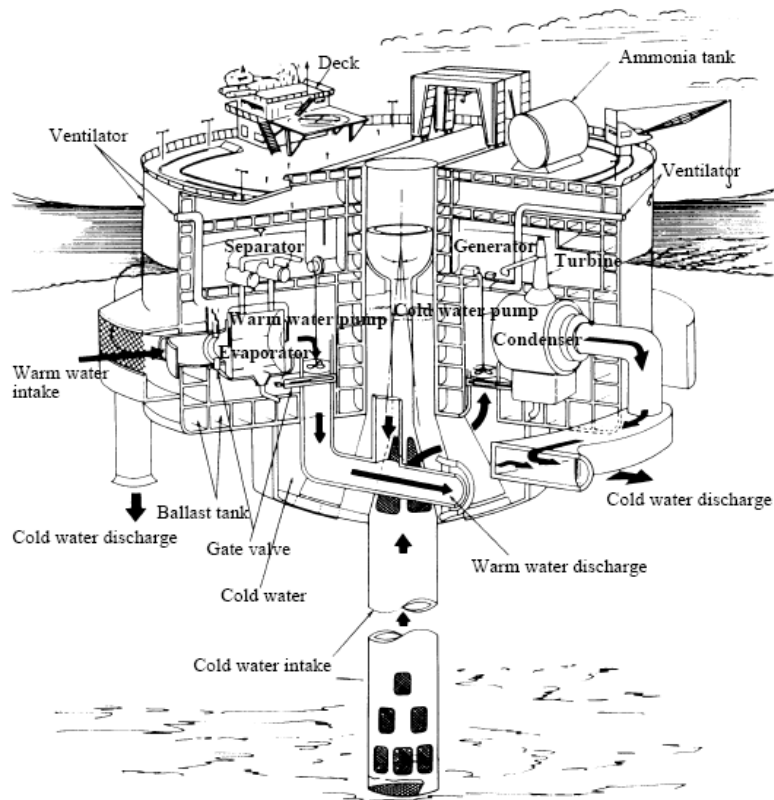
1.4.3 Πλωτές εγκαταστάσεις

Οι πλωτές εγκαταστάσεις ΟΤΕC θα μπορούσαν να σχεδιαστούν για να λειτουργήσουν παράκτια. Αν και προτιμώνται και για τα συστήματα με μεγάλη παραγωγή ισχύος, οι πλωτές εγκαταστάσεις παρουσιάζουν διάφορες δυσκολίες. Αυτός ο τύπος εγκαταστάσεων είναι δυσκολότερο να σταθεροποιηθεί, και η δυσκολία στα πολύ μεγάλα θαλάσσια βάθη μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα με την διανομή της ενέργειας. Τα καλώδια που συνδέονται με τις πλωτές πλατφόρμες είναι πιο ευαίσθητα σε βλάβες, ειδικά κατά τη διάρκεια των θυελλών. Τα καλώδια σε βάθη μεγαλύτερα από 1000 μέτρα είναι δύσκολο να συντηρηθούν και να επισκευαστούν. Τα καλώδια που εκτείνονται από τον πυθμένα της θάλασσας μέχρι στις εγκαταστάσεις πρέπει να κατασκευαστούν για να αντέχουν στην εμπλοκή.



Σχήμα 1.4.3.(α): Είδη πλωτών εγκαταστάσεων

Οι πλωτές εγκαταστάσεις χρειάζονται μια σταθερή βάση για τη συνεχή λειτουργία ΟΤΕC. Οι ισχυρές θύελλες και οι θαλασσοταραχές μπορούν να σπάσουν τον κάθετα ανασταλμένο σωλήνα κρύου νερού και επίσης να διακόψουν την εισαγωγή του θερμού νερού. Για να βοηθήσουν και να αποτρέψουν αυτά τα προβλήματα, οι σωλήνες, που πρέπει να είναι από πολυαιθυλένιο (για να είναι σχετικά εύκαμπτοι), συνδέονται με το κατώτερο σημείο της πλατφόρμας και στηρίζονται με ενώσεις ή κολάρα. Οι σωλήνες μπορεί να πρέπει να αποσυνδεθούν από τις εγκαταστάσεις για να αποτραπεί η ζημιά κατά τη διάρκεια των θυελλών. Σαν εναλλακτική λύση του σωλήνα θερμού νερού, το νερό της επιφάνειας μπορεί να ρέει άμεσα στην πλατφόρμα, εντούτοις, είναι απαραίτητο να τοποθετηθεί εισαγωγή για τις περιπτώσεις θαλασσοταραχών όταν η πλατφόρμα θα ανεβοκατέβαινε βίαια.



Σχήμα 1.4.3.(β): Πλωτή εγκατάσταση διαμέτρου 100 μέτρων

Εάν οι πλωτές εγκαταστάσεις πρόκειται να συνδεθούν με καλώδια διανομής ισχύος, πρέπει να παραμείνουν σχετικά στάσιμες. Η πρόσδεση είναι μια αποδεκτή μέθοδος, αλλά η τρέχουσα τεχνολογία πρόσδεσης περιορίζεται σε βάθη μέχρι 2000 μέτρα (6560 πόδια). Ακόμη και σε πιο ρηχά βάθη, το κόστος της πρόσδεσης μπορεί να απαγορεύσει τις εμπορικές επιχειρήσεις ΟΤΕC.

Μια εναλλακτική λύση σε βαθιά νερά μπορεί να είναι οι παρασυρόμενες ή οι αυτοκινούμενες εγκαταστάσεις. Αυτές οι εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν την καθαρή ισχύ τους να παράγουν εν πλω τα ενεργειακά προϊόντα όπως το υδρογόνο, η μεθανόλη, ή η αμμωνία (Francis, Avery, και Dugger 1980).

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι διαφορές μεταξύ των εγκαταστάσεων που είναι τοποθετημένες σε υφαλοκρηπίδα και των πλωτών εγκαταστάσεων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.13

Συγκρίσεις μεταξύ αυτοσυναρμολογούμενων και πλωτών συστημάτων OTEC (πηγή: Giannotti and Associates at NOAA technical briefing and status report on self-mounted OTEC, February 4, 1982)	
Αυτοκινούμενες OTEC	Πλωτές OTEC
Πιθανό πρόβλημα ανάπτυξης και εγκατάστασης του σωλήνα βυθού	Πιθανό πρόβλημα πρόσδεσης
Η σταθερότητα της κλίσης των σωληνών πρέπει να ελέγχεται	Η σωλήνα του κρύου νερού κινείται και πρέπει να αντέχει τα φορτία
Μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο συμβατικά υλικά σωληνώσεων	Κάθετα αναρτημένη σωλήνα με το συντομότερο δυνατό CWP
Η πλατφόρμα πρέπει να είναι αρκετά δυνατή ώστε να αντέχει σε κύματα και κινήσεις	Το σκάφος πρέπει να είναι αρκετά δυνατό ώστε να αντέχει τα φορτία
Πρέπει να ληφθεί υπόψη και η αποφυγή δημιουργίας κηλίδας	Η διάρκεια ζωής του καλωδίου τροφοδοσίας μειώνεται λόγω κόπωσης και πρέπει να ληφθεί υπόψη

1.5 Κατηγορίες εγκαταστάσεων OTEC ανάλογα με τον κύκλο λειτουργίας

Οι εγκαταστάσεις OTEC ανάλογα με τον κύκλο λειτουργίας τους χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- ανοικτού κύκλου
- κλειστού κύκλου
- υβριδικού κύκλου.

Το κρύο νερό της θάλασσας είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα σε καθένα από τους τρεις τύπους συστημάτων OTEC. Για να λειτουργήσει, το κρύο νερό της θάλασσας πρέπει να αντληθεί στην επιφάνεια. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της άμεσης άντλησης. Μια δεύτερη μέθοδος είναι να αφαλατωθεί το θαλασσινό νερό κοντά στον πυθμένα της θάλασσας έτσι θα μικρύνει η πυκνότητά του, η οποία θα το αναγκάσει να ανέβει προς την επιφάνεια μέσω ενός σωλήνα.

1.5.1 Ανοικτός κύκλος

Ο ανοικτός κύκλος αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα:

- (i) την στιγμιαία εξάτμιση ενός μέρους του θερμού νερού της θάλασσας με τη μείωση της πίεσης κάτω από την τιμή κορεσμού που αντιστοιχεί στην θερμοκρασία του,
- (ii) την διαστολή του ατμού μέσω ενός στροβίλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας,

(iii) την μεταφορά θερμότητας προς την δεξαμενή του κρύου νερού της θάλασσας με συνέπεια τη συμπύκνωση του υγρού λειτουργίας και

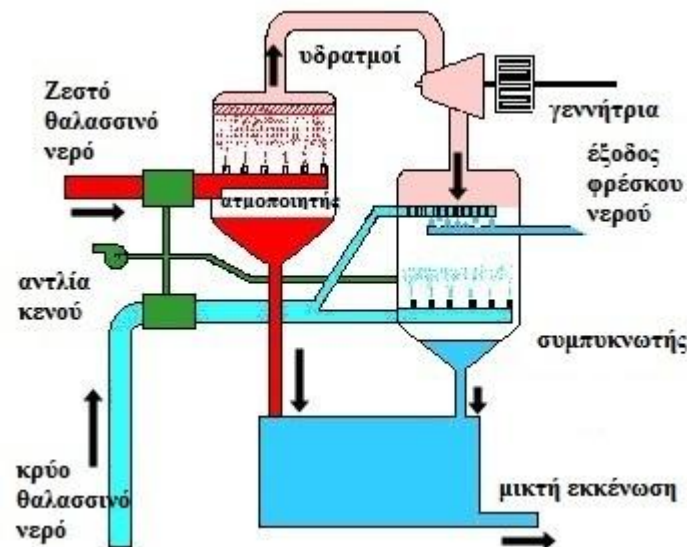
(iv) την συμπίεση των μη συμπυκνώσιμων αερίων (ο αέρας που απελευθερώνεται από τα ρεύματα του νερού της θάλασσας σε χαμηλή πίεση λειτουργίας) στις πιέσεις που απαιτούνται για να απαλλάξουν το σύστημα από αυτά.

Αυτά τα βήματα απεικονίζονται στο Σχ. 1.5.1(α), στην περίπτωση ενός συμπυκνωτή επιφάνειας το συμπύκνωμα (αφαλατωμένο νερό) πρέπει να συμπιεστεί στις πιέσεις που απαιτούνται για να το απελευθερώσουν από το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

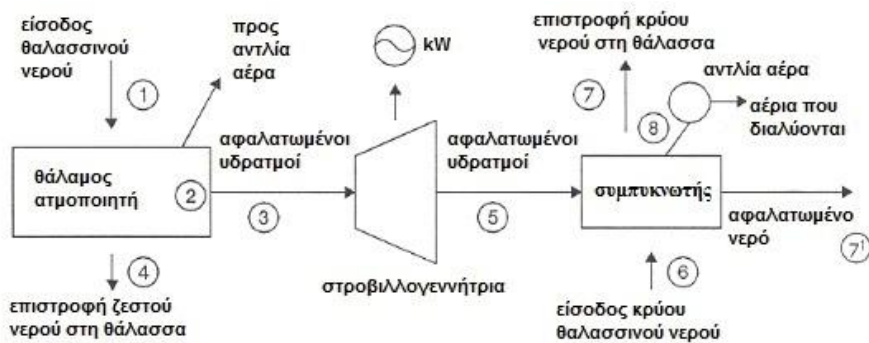
Ο ατμοποιητής, ο στρόβιλος, και ο συμπυκνωτής λειτουργούν σε μερικό κενό που κυμαίνεται από 1 έως 3 τοις εκατό της ατμοσφαιρικής πίεσης. Το γεγονός αυτό δημιουργεί κάποια πρακτικά προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Κατ' αρχάς, το σύστημα πρέπει να σφραγίζεται προσεκτικά για να αποτραπεί το ενδεχόμενο διαρροής του ατμοσφαιρικού αέρα που μπορεί να υποβιβάσει ή να διακόψει τη λειτουργία. Δεύτερον, ο συγκεκριμένος όγκος του χαμηλής πίεσεως ατμού είναι πολύ μεγάλος έναντι της διατηρημένης σταθερής ατμοσφαιρικής πίεσης του υγρού λειτουργίας που χρησιμοποιείται στον κλειστό κύκλο OTEC. Αυτό σημαίνει ότι τα συστατικά πρέπει να έχουν μεγάλες περιοχές ροής για να εξασφαλιστεί ότι οι ταχύτητες ατμού δεν θα επιτύχουν υπερβολικά υψηλές τιμές. Τέλος, τα αέρια όπως το οξυγόνο, το άζωτο και το διοξείδιο του άνθρακα που διαλύονται στο νερό της θάλασσας (ουσιαστικά ο αέρας) βγαίνουν από τη διάλυση στο κενό. Αυτά τα αέρια είναι μη συμπυκνώσιμα και πρέπει να εξατμιστούν από το σύστημα.

Παρά τις προαναφερθείσες περιπλοκές, ο κύκλος Claude απολαμβάνει ορισμένα οφέλη από την επιλογή του νερού ως υγρό λειτουργίας. Το νερό, αντίθετα από την αμμωνία, είναι μη τοξικό και περιβαλλοντικά αβλαβές. Επιπλέον, δεδομένου ότι ο ατμοποιητής παράγει αφαλατωμένο ατμό, ο συμπυκνωτής μπορεί να σχεδιαστεί για να παράγει γλυκό νερό. Σε πολλές πιθανές περιοχές στους τροπικούς κύκλους, το πόσιμο νερό είναι ιδιαίτερα επιθυμητό προϊόν που μπορεί να διατεθεί στην αγορά για να αντισταθμίσει την τιμή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τις εγκαταστάσεις OTEC.

Η στιγμιαία εξάτμιση είναι ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό γνώρισμα του ανοικτού κύκλου OTEC. Η στιγμιαία εξάτμιση περιλαμβάνει σύνθετες διαδικασίες μεταφοράς θερμότητας και μάζας. Στο σχηματισμό που εξετάστηκε από μια ομάδα επιστημόνων, το θερμό νερό της θάλασσας διοχετευόταν με αντλίες σε ένα θάλαμο με κρουνοί με σκοπό να μεγιστοποιήσουν την περιοχή επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας και μάζας δημιουργώντας ψεκασμό του υγρού. Η πίεση στον θάλαμο (2,6% της ατμοσφαιρικής πίεσης) ήταν λιγότερη από την πίεση κορεσμού του θερμού νερού της θάλασσας. Εκτεθειμένο σε αυτό το χαμηλής πίεσεως περιβάλλον, το νερό στον ψεκαστήρα αρχίζει να βράζει. Όπως στις θερμικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης, ο υδρατμός που παράγεται ήταν σχετικά καθαρός ατμός. Όπως ο ατμός παράγεται, μεταφέρει μακριά μαζί του και τη θερμότητα εξάτμισής του. Αυτή η ενέργεια προέρχεται από την υγρή φάση και οδηγεί σε μείωση της θερμοκρασίας του υγρού και τη διακοπή του βρασμού. Κατά συνέπεια, όπως αναφέρεται ανωτέρω, η στιγμιαία εξάτμιση μπορεί να θεωρηθεί ως μεταφορά της θερμικής ενέργειας από τον όγκο του θερμού νερού της θάλασσας στο μικρό μέρος της μάζας που εξατμίζεται για να γίνει το υγρό λειτουργίας. Περίπου το 0,5% της μάζας του θερμού νερού της θάλασσας που εισάγεται στον ατμοποιητή μετατρέπεται σε ατμό.



Σχήμα 1.5.1(α): Σύστημα ανοικτού κύκλου



Σχήμα 1.5.1(β): Διάγραμμα ροής ανοικτού κύκλου ΟΤΕC.

Ένας μεγάλος στρόβιλος απαιτείται για να προσαρμόσει την τεράστια ογκομετρική ροή του ατμού χαμηλής πίεσης που απαιτείται για την παραγωγή οποιουδήποτε πρακτικού ποσού ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και τα τελευταία στάδια των στρόβιλων που χρησιμοποιούνται στις συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας με ατμό μπορούν να προσαρμοστούν στις συνθήκες λειτουργίας ΟΤΕC ανοικτού κύκλου, η υπάρχουσα τεχνολογία περιορίζει την ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από μια ενιαία ενότητα στρόβιλων, περιλαμβάνοντας ένα ζευγάρι από στροφείς (ρότορες), σε περίπου 2,5 MW. Εκτός αν γίνεται σημαντική προσπάθεια επένδυσης για την ανάπτυξη νέων, εξειδικευμένων στρόβιλων (που μπορούν να χρησιμοποιήσουν στους στροφείς πτερύγια από ενισχυμένη ίνα με διάμετρο άνω των 100 μ), για να αυξηθεί το ολικό δυναμικό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ενός εργοστασίου που λειτουργεί με το κύκλο Claude πάνω από 2,5 MW θα απαιτήσει πολλαπλάσιες μονάδες και θα επιβαρυνθεί με μια σχετική ποινική ρήτρα δαπανών εξοπλισμού.

Η συμπύκνωση του χαμηλής πίεσης υγρού λειτουργίας που προέρχεται από το στρόβιλο πραγματοποιείται με μεταφορά θερμότητας προς το κρύο νερό της θάλασσας. Αυτή η μεταφορά θερμότητας μπορεί να εμφανιστεί σε ένα DCC, στο οποίο το νερό της θάλασσας ψεκάζεται άμεσα πάνω από τον ατμό, ή σε έναν συμπυκνωτή επιφάνειας που δεν επιτρέπει την επαφή μεταξύ του ψυκτικού μέσου και του συμπυκνώματος. Τα DCC είναι σχετικά ανέξοδα και έχουν καλά χαρακτηριστικά μεταφοράς θερμότητας λόγω της έλλειψης ενός σταθερού θερμικού ορίου μεταξύ των θερμών και ψυχρών ρευστών. Αν και οι συμπυκνωτές επιφάνειας για τις εφαρμογές ΟΤΕC είναι σχετικά ακριβοί για να κατασκευαστούν επιτρέπουν την

παραγωγή του αφαλατωμένου νερού. Η παραγωγή αφαλατωμένου νερού με ένα DCC απαιτεί τη χρήση γλυκού νερού ως ψυκτικό μέσο. Σε μια τέτοια ρύθμιση, η δεξαμενή του κρύου νερού της θάλασσας χρησιμοποιείται για να ψύξει το ψυκτικού μέσο (γλυκό νερό) χρησιμοποιώντας έναν θερμικό εναλλάκτη υγρού σε υγρό.

Τα απόβλητα από τον χαμηλής πίεσεως συμπυκνωτή πρέπει να επιστραφούν στο περιβάλλον. Το υγρό μπορεί να είναι υπό πίεση σε περιβαλλοντικές συνθήκες στο σημείο της απόρριψης με τη βοήθεια μιας αντλίας ή, εάν η ανύψωση του συμπυκνωτή είναι αρκετά υψηλή, μπορεί να συμπιεστεί υδροστατικά. Τα μη συμπυκνωμένα αέρια, που περιλαμβάνουν τυχόν υπολείμματα υδρατμών, διαλυμένα αέρια που έχουν προέλθει από την διάλυση, και τον αέρα που μπορεί να έχει διαρρεύσει στο σύστημα, πρέπει να είναι υπό πίεση με έναν συμπυκνωτή. Παρά το γεγονός ότι ο πρωταρχικός ρόλος του συμπυκνωτή είναι η απόρριψη των καυσαερίων, συνήθως θεωρείται ως μέσο για να μειωθεί η πίεση στο σύστημα κάτω της ατμοσφαιρικής. Για ένα σύστημα που περιλαμβάνει τον κινητήρα θερμότητας OTEC ανοικτού κύκλου και το περιβάλλον του, ο κύκλος κλείνει και παραλληλίζει τον κύκλο Rankine. Εδώ, η αντλία απαλλαγής του συμπυκνώματος και ο συμπιεστής των μη συμπυκνωμένων αερίων αναλαμβάνουν τον ρόλο της αντλίας του κύκλου Rankine.

Η ανάλυση του κύκλου παραγωγής έχει ως εξής

Θερμότητα (πρόσθετη) που απορροφάται από το νερό της θάλασσας (J/s)

$$q_w = m_{ww} C_p (T_{wwi} - T_{wwo})$$

Ποσοστό παραγωγής ατμού (kg/s) $m'_s = q_w / h_{fg}$

Έργο στροβίλων (J/s) $w_T = m'_s (h_3 - h_5) = m'_s nT (h_3 - h_5)$

Θερμότητα (απορριφθείσα) στο νερό της θάλασσας (J/s)

$$q_c = m_{cw} C_p (T_{cwo} - T_{cwi})$$

όπου,

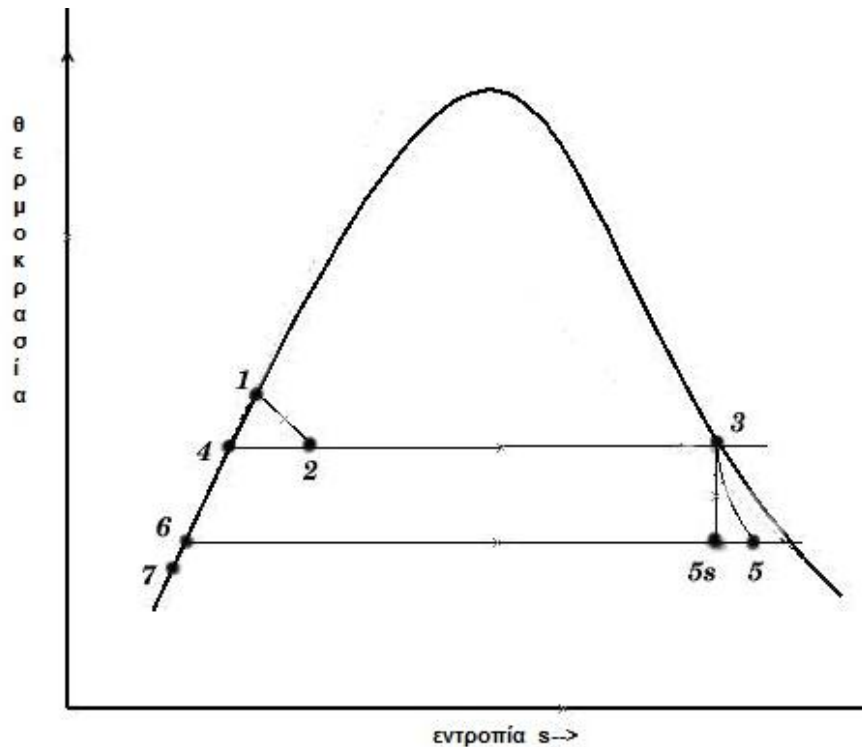
m'_{ww} είναι το ποσοστό μαζικής ροής θερμού νερού, C_p η ειδική θερμότητα, T_{wwi} και T_{wwo} η θερμοκρασία νερού της θάλασσας στην είσοδο και την έξοδο του εναλλάκτη θερμότητας, h_{fg} η θερμότητα της εξάτμισης και οι ενθαλπίες στα υποδεικνυμένα σημεία δίνονται από το h , με τον δείκτη s αναφέρεται στη σταθερή εντροπία. Η ισεντροπική αποδοτικότητα στροβίλων δίνεται από nT . Με το δείκτη CW αναφέρεται στο ψυχρό νερό.

Περιγραφή κύκλου λειτουργίας (κύκλος Claude)

Στο Σχ. 1.5.1(γ), το θερμό νερό επιφάνειας περίπου στους 27 °C εισέρχεται σε έναν ατμοποιητή στον οποίο η πίεση διατηρείται σε μια τιμή ελαφρώς κάτω από πίεση κορεσμού. Το νερό εισέρχοντας στον ατμοποιητή ατμοποιείται.

$$H1 = Hf,$$

όπου το H_f είναι η ενθαλπία του νερού στη θερμοκρασία εισόδου, $T1$.



Σχήμα 1.5.1(γ): Διάγραμμα T-s ανοικτού κύκλου

Αυτός ο προσωρινά υπερθερμαινόμενος όγκος νερού υποβάλλεται σε βρασμό, σε αντιδιαστολή με τη δεξαμενή που βράζει στους συμβατικούς λέβητες όπου η επιφάνεια θέρμανσης είναι σε επαφή. Έτσι το νερό μετατρέπεται στιγμιαία σε ατμό με μια διφασική επικράτηση ισορροπίας. Υποθέτοντας ότι η πίεση μέσα στον ατμοποιητή διατηρείται στην πίεση κορεσμού του νερού στο T_2 . Αυτή η διαδικασία που είναι ισο-ενθαλπική,

$$H_2 = H_1 = H_f + x_2 H_{fg}$$

Εδώ, x_2 είναι το μέρος του νερού που ατμοποιείται. Ο ρυθμός ροής μάζας θερμού νερού προς τον ρυθμό μαζικής ροής ανά στρόβιλο είναι $1/x_2$.

Η χαμηλή πίεση στον ατμοποιητή διατηρείται από μια αντλία κενού η οποία αφαιρεί από τον ατμοποιητή τα διαλυμένα αέρια που δεν συμπυκνώνονται. Ο ατμοποιητής περιέχει τώρα ένα μίγμα νερού και ατμού πολύ χαμηλής 'ποιότητας' (περιεκτικότητα σε ατμό). Ο ατμός διαχωρίζεται από το νερό ως κορεσμένος ατμός. Το υπόλοιπο νερό είναι κορεσμένο και απαλλάσσεται πίσω στον ωκεανό στον ανοικτό κύκλο. Ο ατμός που έχουμε εξαγάγει στη διαδικασία είναι ένα υγρό λειτουργίας πολύ χαμηλής πίεσης και πολύ υψηλού όγκου. Διαστέλλεται σε έναν ειδικό στρόβιλο χαμηλής πίεσης.

$$H_3 = H_g$$

εδώ, το H_g αντιστοιχεί στο T_2 .

Για έναν ιδανικό ισεντροπικό (αδιαβατικά αναστρέψιμος) στρόβιλο ισχύει,

$$S_{5,s} = S_3 = S_f + X_{5,s} S_{fg}$$

Η ανωτέρω εξίσωση αντιστοιχεί στη θερμοκρασία στην εξάτμιση του στροβίλου, **T5**. **X5,s** είναι το κλάσμα μάζας ατμού στη κατάσταση 5.

Η ενθαλπία στο **T5** είναι,

$$H_{5,S} = H_f + X_{5,S}H_{fg}$$

Αυτή η ενθαλπία είναι χαμηλότερη.

Η αδιαβατική αντιστρέψιμη εργασία στροβίλων = **H3 - H5,s**.

Πραγματικό έργο στροβίλου = (**H3 - H5,s**) x πολυτροπική αποδοτικότητα

$$H_5 = H_3 - \text{πραγματικό έργο}$$

Η θερμοκρασία και η πίεση του συμπυκνωτή είναι χαμηλότερες. Δεδομένου ότι η εξάτμιση στροβίλου θα απαλλαχθεί πίσω στον ωκεανό οπωσδήποτε, χρησιμοποιείται ένας συμπυκνωτής άμεσων επαφών. Κατά συνέπεια η εξάτμιση αναμιγνύεται με το κρύο νερό από το σωλήνα κρύου νερού προκαλώντας σχεδόν κορεσμένο νερό. Εκείνο το νερό απαλλάσσεται τώρα πίσω στον ωκεανό. **H6 = Hf**, στο **T5**. Το **T7** είναι η θερμοκρασία της εξάτμισης που αναμιγνύεται με το κρύο θαλάσσιο νερό, δεδομένου ότι το περιεχόμενο ατμού είναι τώρα αμελητέο,

$$H_7 \approx H_f \text{ στο } T_7$$

Υπάρχουν διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ των φάσεων: μία μεταξύ του θερμού νερού επιφάνειας και του ατμού λειτουργίας, μία μεταξύ του ατμού εξάτμισης και του νερού ψύξης, και μία μεταξύ του νερού ψύξης που φθάνει στο συμπυκνωτή και του νερού από τα βάθη του ωκεανού. Αυτές αντιπροσωπεύουν τις εξωτερικές αναστρεψιμότητες που μειώνουν τη γενική διαφορά θερμοκρασίας.

Ο ρυθμός ροής κρύου νερού προς τον ρυθμό μαζικής ροής ανά μονάδα στροβίλου είναι,

$$m_c = \frac{\dot{H}_5 - H_6}{H_6 - H_7}$$

Ποσοστό μαζικής ροής στροβίλων,

$$\dot{M}_T = \frac{\text{απαιτούμενη εργασία στροβίλου}}{W_T}$$

Ρυθμός ροής μάζας θερμού νερού, $\dot{M}_w = \dot{M}_T \dot{m}_w$

Ρυθμός ροής μάζας κρύου νερού, $\dot{M}_c = \dot{M}_T \dot{m}_c$

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανοικτού κύκλου

Τα πλεονεκτήματα του ανοικτού κύκλου είναι:

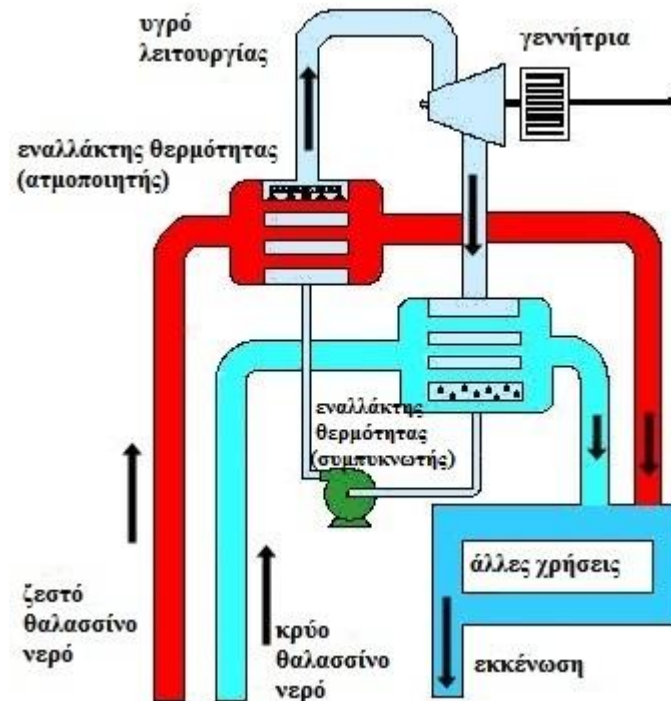
1. Δυνατότητα παραγωγής γλυκού νερού
2. Δεν απαιτείται μεγάλος εναλλάκτης θερμότητας
3. Υψηλότερη θερμοδυναμική αποδοτικότητα
4. Υψηλότεροι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας
5. Αποβολή ενδεχομένως επικίνδυνου υγρού λειτουργίας
6. Ενδεχομένως πιο αποδοτικός οικονομικά από τον κλειστό κύκλο

Ενώ τα μειονεκτήματα του είναι:

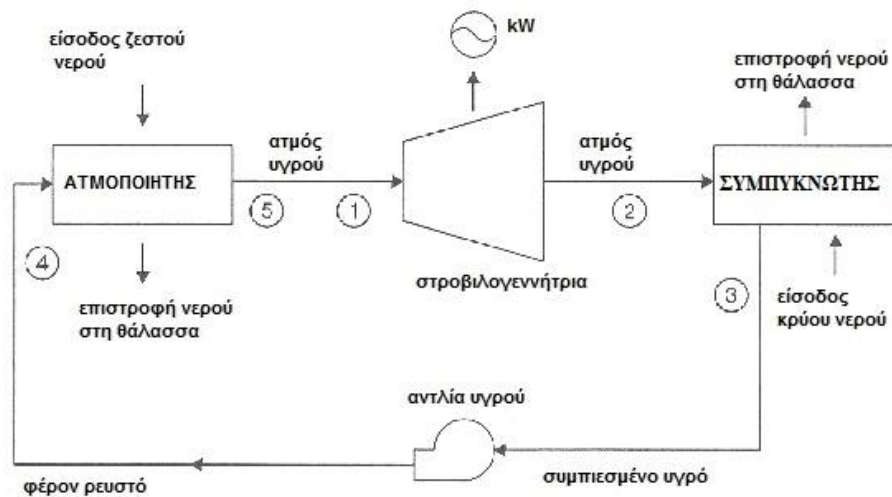
1. Μεγάλος στρόβιλος και μεγάλος σωλήνας ατμού
2. Μεγάλο μέγεθος εξόδων
3. Αφαίρεση των μη συμπυκνώσιμων αερίων από το συμπυκνωτή
4. Ανάγκη να περιέχουν κενό σε μεγάλο όγκο
5. Αυξημένη παρασιτική ισχύς

1.5.2 Κλειστός κύκλος

Τα συστήματα κλειστού κύκλου χρησιμοποιούν υγρό με χαμηλό σημείο βρασμού, όπως η αμμωνία, για να περιστραφεί ένας στρόβιλος και να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια. Το θερμό νερό στην επιφάνεια της θάλασσας αντλείται μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας όπου το υγρό με χαμηλό σημείο βρασμού ατμοποιείται. Ο διαστελλόμενος ατμός γυρίζει τη στροβιλογεννήτρια. Κατόπιν, το κρύο νερό από τα βάθη της θάλασσας -που αντλείται μέσω ενός δεύτερου εναλλάκτη θερμότητας - συμπυκνώνει τον ατμό πίσω σε ένα υγρό, το οποίο ανακυκλώνεται έπειτα μέσω του συστήματος.



Σχήμα 1.5.2 (α): Σύστημα κλειστού κύκλου



Σχήμα 1.5.2 (β): Διάγραμμα ροής κλειστού κύκλου

Με βάση το ρυθμό ροής ανά μονάδα μάζας ατμού αμμωνίας (kg s^{-1}) στον κορεσμένο κύκλο:

Προστιθέμενη θερμότητα (J / kg): $q_A = h_1 - h_4$

Έργο στροβίλου (J / kg): $w_T = h_1 - h_2$

Απορριπτόμενη θερμότητα (J / kg): $|q_R| = h_2 - h_3$

Έργο αντλίας (J / kg): $|w_P| = h_4 - h_3$

Καθαρό έργο κύκλου (J / kg): $\Delta w_{\text{net}} = (h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)$

Θερμική απόδοση: $\eta_{\text{th}} = \frac{w_{\text{net}}}{q_A} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4)}$

όπου h η ενθαλπία που αναφέρεται στην προκειμένη κατάσταση. Επομένως η προστιθέμενη θερμότητα συν το έργο της αντλίας είναι ίση με την απορριπτόμενη θερμότητα συν το έργο του στροβίλου.

Το 1979, το εργαστήριο Φυσικής Ενέργειας των Η.Π.Α. (Natural Energy Laboratory) και διάφοροι συνεργάτες του ιδιωτικού τομέα ανέπτυξαν το mini-OTEC, με το οποίο επιτεύχθηκε η πρώτη επιτυχής θαλάσσια παραγωγή καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας από OTEC κλειστού κύκλου. Το σκάφος που είχε εγκατασταθεί το mini-OTEC αγκυροβόλησε 1,5 μίλι (2,4 χλμ) από τις ακτές της Χαβάης και παράγαγε αρκετή καθαρή ηλεκτρική ενέργεια για να φωτίσει τους λαμπτήρες του σκάφους, και να λειτουργήσουν οι υπολογιστές και οι τηλεοράσεις του. Κατόπιν, το εργαστήριο Φυσικής Ενέργειας το 1999 εξέτασε μία πειραματική εγκατάσταση κλειστού κύκλου 250 kW, η μεγαλύτερη στην κατηγορία της που τέθηκε ποτέ σε λειτουργία.

Εκτός από τις Ηνωμένες Πολιτείες, η κυβέρνηση της Ινδίας έχει δείξει ενεργό ενδιαφέρον για την τεχνολογία OTEC. Η Ινδία έχει κατασκευάσει και εξετάσει μία πλωτή εγκατάσταση OTEC κλειστού κύκλου, ισχύος 1 MW.

Περιγραφή κύκλου λειτουργίας (κύκλος Anderson)

Η ανάπτυξη ξεκίνησε τη δεκαετία του '60 από τον J. Hilbert Anderson της Sea Solar Power, Inc. Σε αυτόν τον κύκλο, Q_H είναι η θερμότητα που μεταφέρεται στον ατμοποιητή από το θερμό θαλάσσιο νερό στο υγρό λειτουργίας. Το υγρό λειτουργίας εξέρχεται από τον ατμοποιητή ως αέριο κοντά στην θερμοκρασία ψύξης του.

Το υψηλής πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας αέριο έπειτα διαστέλλεται στο στρόβιλο για να παράγει το έργο στροβίλου, W_T . Το υγρό λειτουργίας είναι ελαφρώς υπερθερμαινόμενο στην έξοδο του στροβίλου και ο στρόβιλος έχει μια απόδοση του 90% στην αντιστρέψιμη και αδιαβατική διαστολή.

Από την έξοδο του στροβίλου, το υγρό λειτουργίας εισάγεται στο συμπυκνωτή όπου απορρίπτει τη θερμότητα, $-Q_C$, στο κρύο θαλάσσιο νερό. Στην συνέχεια το συμπύκνωμα συμπιέζεται στην υψηλότερη πίεση στον κύκλο, που απαιτεί το συμπυκνωμένο έργο των αντλιών, W_C . Κατά συνέπεια, ο κλειστός κύκλος του Anderson είναι ένας κύκλος τύπου Rankine παρόμοιος με το συμβατικό κύκλο των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας μέσω ατμού με την διαφορά ότι στον κύκλο του Anderson το υγρό λειτουργίας δεν υπερθερμαίνεται σε περισσότερους από μερικούς βαθμούς fahrenheit. Αντιλαμβάνεται, λόγω των παχύρρευστων αποτελεσμάτων, ότι πρέπει να υπάρξουν πτώσεις πίεσης του υγρού λειτουργίας και στον ατμοποιητή και στο συμπυκνωτή. Αυτές οι πτώσεις πίεσης, που εξαρτώνται από τους τύπους των χρησιμοποιούμενων εναλλακτών θερμότητας, πρέπει να εξεταστούν στον τελικό υπολογιστικό σχεδιασμό αλλά αγνοούνται εδώ για να απλουστευθεί η ανάλυση. Κατά συνέπεια, το παρασιτικό συμπυκνωμένο έργο των αντλιών, W_C , που υπολογίζεται εδώ θα είναι χαμηλότερο εάν συμπεριληφθούν οι πτώσεις πίεσης των εναλλακτών θερμότητας. Οι σημαντικότερες πρόσθετες παρασιτικές ενεργειακές ανάγκες στις εγκαταστάσεις OTEC είναι το έργο των αντλιών κρύου νερού, W_{CT} , και το έργο των αντλιών θερμού νερού, W_{HT} . Δηλώνοντας όλες τις άλλες παρασιτικές ενεργειακές ανάγκες με W_A , το καθαρό έργο από τις εγκαταστάσεις OTEC, W_{NP} είναι

$$W_{NP} = W_T + W_C + W_{CT} + W_{HT} + W_A$$

Ο θερμοδυναμικός κύκλος που υποβάλλεται από το υγρό λειτουργίας μπορεί να αναλυθεί χωρίς λεπτομερή εκτίμηση των παρασιτικών ενεργειακών αναγκών. Από τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής, η ενεργειακή ισορροπία για το υγρό λειτουργίας ως σύστημα είναι

$$W_N = Q_H + Q_C$$

όπου $W_N = W_T + W_C$ είναι το καθαρό έργο για το θερμοδυναμικό κύκλο. Για την ειδική εξιδανικευμένη περίπτωση στην οποία δεν υπάρχει καμία πτώση πίεσης ρευστού εργασίας στους εναλλάκτες θερμότητας,

$$Q_H = \int_H T_H ds \quad \text{και} \quad Q_C = \int_C T_C ds$$

έτσι ώστε το καθαρό έργο του θερμοδυναμικού κύκλου γίνεται

$$W_N = \int_H T_H ds + \int_C T_C ds$$

Το υγρό εισέρχεται στον ατμοποιητή. Λόγω της ανταλλαγής θερμότητας με το θερμό θαλάσσιο νερό, η εξάτμιση πραγματοποιείται και υπερθερμαίνει συνήθως τον ατμό που εξέρχεται από τον ατμοποιητή. Αυτός ο ατμός οδηγεί το στρόβιλο και το διαφασικό μίγμα εισέρχεται στο συμπυκνωτή. Συνήθως, το υγρό αφήνει το

συμπυκνωτή και τελικά, αυτό το υγρό αντλείται στον ατμοποιητή ολοκληρώνοντας έναν κύκλο.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κλειστού κύκλου

Τα πλεονεκτήματα του κλειστού κύκλου είναι:

1. Μικρότερος στρόβιλος
2. Πιο ανεπτυγμένη τεχνολογία

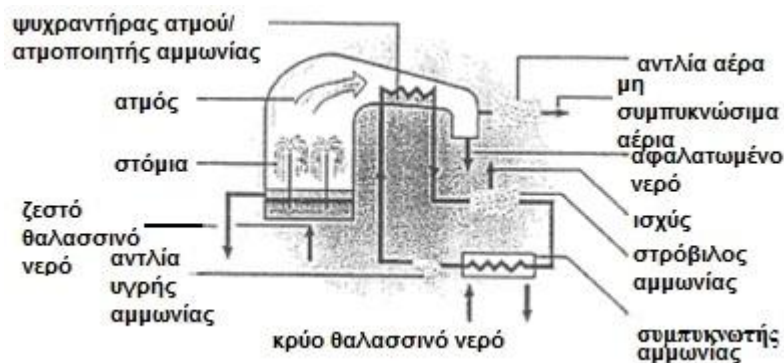
Ενώ τα μειονεκτήματα του είναι:

1. Βιολογική αγκίστρωση
2. Υλικά συμβατικά με το υγρό λειτουργίας
3. Μεγάλοι και δαπανηροί εναλλάκτες θερμότητας
4. Πολυσύνθετο και κόστος χειρισμού του δευτεροβάθμιου υγρού

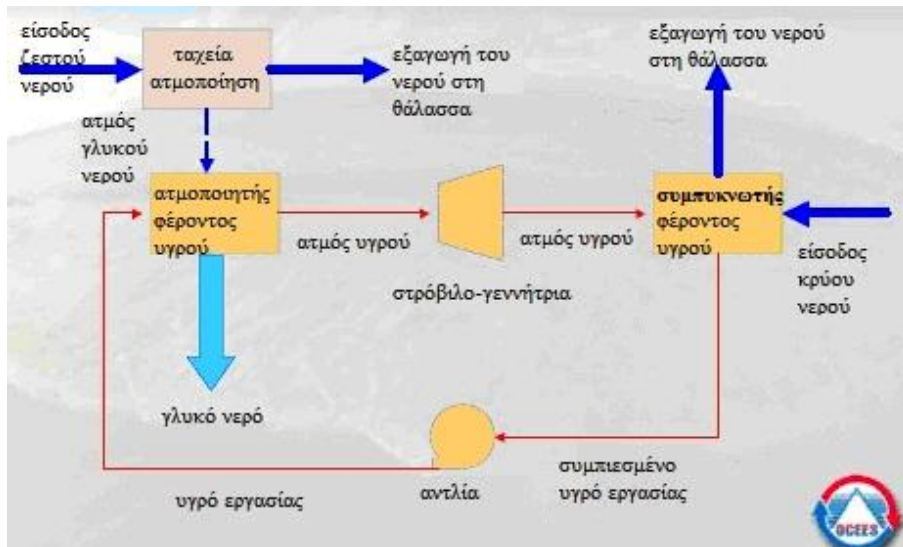
1.5.3 Υβριδικός κύκλος

Ένας υβριδικός κύκλος συνδυάζει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και των συστημάτων κλειστού κύκλου και ανοικτού κύκλου. Σε ένα υβριδικό σύστημα OTEC, το θερμό νερό της θάλασσας εισάγεται σε μια κενή αίθουσα όπου μετατρέπεται γρήγορα σε ατμό, που είναι παρόμοιο με τη διαδικασία εξάτμισης ανοικτού κύκλου. Ο ατμός εξατμίζει το υγρό λειτουργίας ενός βρόχου κλειστού κύκλου στην άλλη πλευρά ενός ψεκαστήρα αμμωνίας. Το εξαερισμένο υγρό περιστρέφει έπειτα έναν στρόβιλο που παράγει την ηλεκτρική ενέργεια. Ο ατμός συμπυκνώνεται μέσα στον εναλλάκτη θερμότητας και παρέχει το αφαλατωμένο νερό.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα μπορεί να διανεμηθεί σε ένα δίκτυο ή να χρησιμοποιηθεί για να παραγωγή μεθανόλης, υδρογόνου, αμμωνίας και παρόμοιων προϊόντων.



Σχήμα 1.5.3 (α): Σύστημα υβριδικού κύκλου



Σχήμα 1.5.3 (β): Διάγραμμα ροής υβριδικού κύκλου

1.6 Πλεονεκτήματα τεχνολογίας OTEC

Μπορούμε να εκτιμήσουμε την σημασία των εγκαταστάσεων μετατροπής της θερμικής ενέργειας των ωκεανών (OTEC) και της συνεχούς ανάπτυξης τους από τα οικονομικά και μη οικονομικά τους πλεονεκτήματα.

Τα οικονομικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας OTEC περιλαμβάνουν τα εξής:

- Βοηθά στην παραγωγή καυσίμων όπως το υδρογόνο, η αμμωνία και η μεθανόλη.
- Παράγει ηλεκτρική ενέργεια βασικού φορτίου.
- Παράγει αφαλατωμένο νερό για βιομηχανική, αγροτική και οικιακή χρήση.
- Είναι μία πηγή χερσαίων και παράκτιων καλλιεργειών θαλάσσιων οργανισμών.
- Έχει την ικανότητα να παρέχει καθαρή και οικονομικά αποδεκτή ηλεκτρική ενέργεια για το μέλλον.

Τα μη οικονομικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας OTEC που μας βοηθούν να πετύχουμε τους περιβαλλοντικούς στόχους περιλαμβάνουν τα εξής:

- Προωθεί την ανταγωνιστικότητα και το διεθνές εμπόριο.
- Ενισχύει την οικονομική ανεξαρτησία και την ενεργειακή ασφάλεια.
- Προωθεί την διεθνή κοινωνικοπολιτική σταθερότητα.
- Έχει την δυνατότητα να μετριάσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προκαλεί η καύση φυσικών καυσίμων.

Σε μικρά νησιωτικά κράτη τα πλεονεκτήματα από την τεχνολογία OTEC περιλαμβάνουν την αυτάρκεια, τις ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την βελτίωση υγιεινής και διατροφής τα οποία προκύπτουν από την διάθεση προϊόντων αφαλατωμένου νερού και την καλλιέργεια θαλάσσιων οργανισμών.

1.7 Μειονεκτήματα τεχνολογίας OTEC

Τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας OTEC είναι:

- Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις εγκαταστάσεις OTEC επί του παρόντος θα κόστιζε περισσότερο από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ορυκτά καύσιμα με τις τρέχουσες δαπάνες τους. Το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε να μειωθεί σημαντικά εάν οι εγκαταστάσεις λειτούργησαν χωρίς σημαντική διαμόρφωση για 30 έτη ή περισσότερο, αλλά δεν υπάρχει κανένα στοιχείο όσον αφορά τους πιθανούς κύκλους ζωής εγκαταστάσεων.
- Οι εγκαταστάσεις OTEC θα πρέπει να εγκαθίστανται σε τοποθεσίες όπου εμφανίζεται μια διαφορά θερμοκρασίας περίπου 40°F όλο το χρόνο. Τα ωκεάνια βάθη πρέπει να είναι διαθέσιμα αρκετά κοντά σε επίγειες εγκαταστάσεις για οικονομικότερη λειτουργία. Πλωτές εγκαταστάσεις σε πλοία θα μπορούσαν να παρέχουν περισσότερη ευελιξία.
- Η κατασκευή των εγκαταστάσεων OTEC και η τοποθέτηση σωλήνων στα παράκτια ύδατα μπορούν να προκαλέσουν καταστροφή στους υφάλους και στο θαλάσσιο οικοσύστημα κοντά στην ακτή.
- Κάποια πρόσθετη ανάπτυξη των βασικών συστατικών είναι ουσιαστική στην επιτυχία των μελλοντικών εγκαταστάσεων OTEC (π.χ., λιγότερο δαπανηροί με μεγάλη διάμετρο σωλήνες για την άντληση θαλασσινού νερού από μεγάλα βάθη, χαμηλής πίεσεως στροβίλους και συμπυκνωτές για τα συστήματα ανοικτού κύκλου κ.λ.π.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Εναλλάκτες θερμότητας

Ο εναλλάκτης θερμότητας είναι το βασικότερο συστατικό των εγκαταστάσεων ΟΤΕC γιατί είναι το μεγαλύτερο σε μέγεθος και το πιο ακριβό. Η λειτουργία του είναι να εξατμίσει και να συμπυκνώσει το υγρό λειτουργίας χρησιμοποιώντας το θερμό και κρύο νερό της θάλασσας. Το κύριο κόστος του εναλλάκτη θερμότητας είναι ένας πρωταρχικός παράγοντας στο συνολικό κόστος των εγκαταστάσεων. Έχει υπολογιστεί ότι περίπου το 30 - 50% των δαπανών της εγκατάστασης μπορεί να αποδοθεί στα στοιχεία των εναλλακτών θερμότητας. Η αποτελεσματικότητα της μεταφοράς θερμότητας είναι επίσης ένας πρωταρχικός παράγοντας στο κόστος παραγωγής ισχύος από τις εγκαταστάσεις ΟΤΕC.

Αυτήν την περίοδο τα σημαντικότερα προβλήματα ανάπτυξης για τους εναλλάκτες θερμότητας περιλαμβάνουν ζητήματα για τα υλικά που χρησιμοποιούνται, τις μεθόδους σχετικά με την βιολογική αγκίστρωση και τη διάβρωση, και τις τεχνικές κατασκευής που θα είναι απαραίτητες.

Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι ακριβοί επειδή λειτουργούν σε μια πολύ χαμηλή θερμοκρασιακή διαφορά, επομένως πρέπει να έχουν μια πολύ μεγάλη περιοχή ανταλλαγής θερμότητας για να χειριστούν τις τεράστιες ποσότητες νερού.

Η βασική εξίσωση για τον σχεδιασμό εναλλακτών θερμότητας είναι:

$$Q = UA\Delta T_m ,$$

όπου το **Q** είναι η μεταφερόμενη θερμική ενέργεια σε Btu ανά ώρα, **U** είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας, **A** είναι η ενεργός περιοχή επιφάνειας του εναλλάκτη θερμότητας, και **ΔT_m** είναι η μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά - ουσιαστικά η μέση διαφορά θερμοκρασίας πέρα από τον εναλλάκτη θερμότητας.

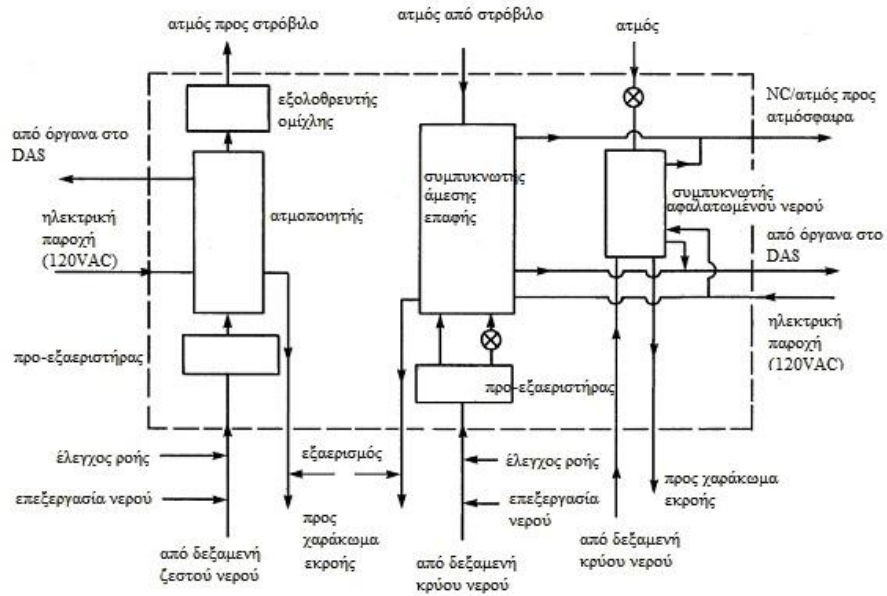
Για χαρακτηριστικές εγκαταστάσεις ΟΤΕC το ΔT_m είναι από 2.2° έως 2.8° C (4° με 5° F) και δεν μπορεί να γίνει κάτι για να αυξηθεί. Το πρόβλημα κατόπιν είναι να παρασχεθεί η ικανοποιητική περιοχή ανταλλαγής θερμότητας (A) και ένας αρκετά μεγάλος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (U) για να επιτύχουν το απαραίτητο ποσοστό μεταφοράς θερμότητας (Q). Από την στιγμή που το μέγεθος και το κόστος συνδυάζονται άμεσα, υπάρχει ένα ισχυρό κίνητρο για να κάνει όσο το δυνατόν το U μεγαλύτερο και το A μικρότερο.

Ο εναλλάκτης θερμότητας αποτελείται:

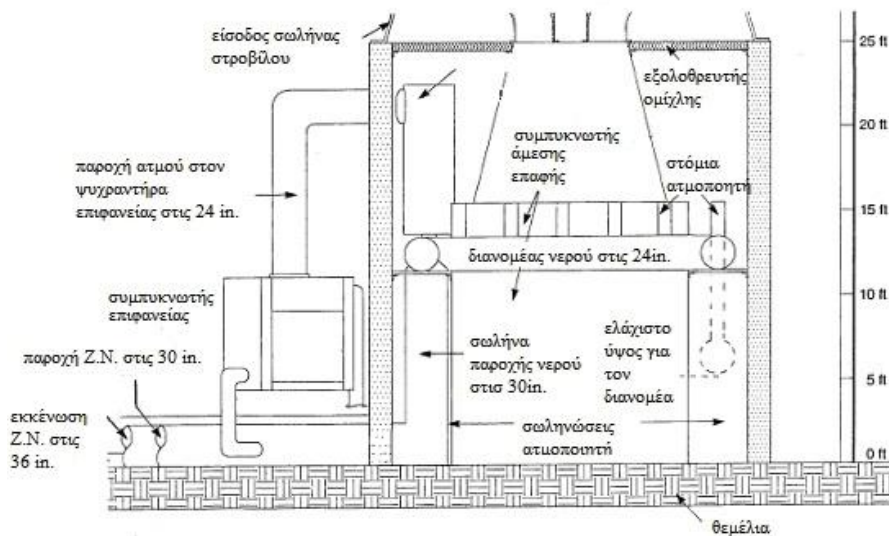
- ατμοποιητής
- συμπυκνωτής άμεσης επαφής
- συμπυκνωτής επιφανείας
- δοχεία συγκράτησης
- εξαεριστήρες

- Ψεκασμός ομίχλης
- διανομέας νερού
- διανομέας ατμού

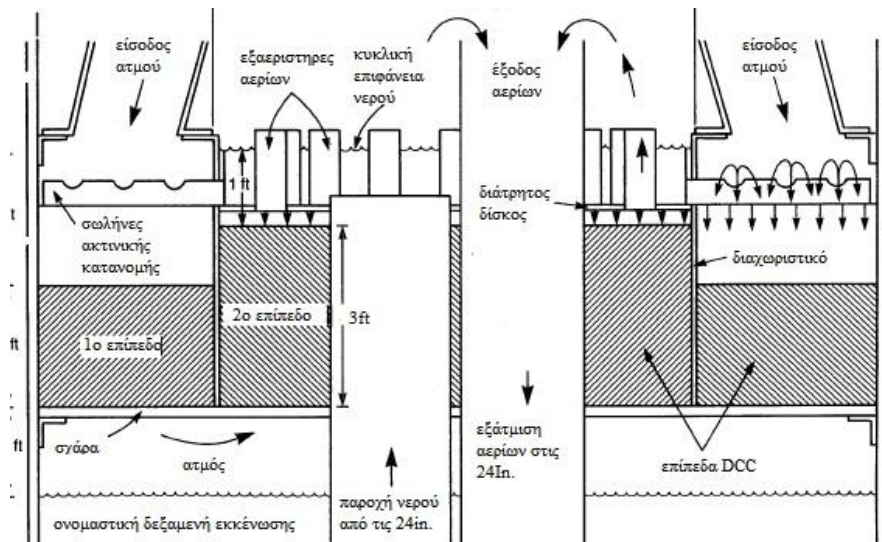
Τα στοιχεία του εναλλάκτη θερμότητας παρουσιάζονται στο Σχ. 2.1(α):



Σχήμα 2.1(α): Διάγραμμα εναλλάκτη θερμότητας



Σχήμα 2.1(β): Ατμοποιητής



Σχήμα 2.1(γ): Συμπυκνωτής άμεσης επαφής

2.1.1 Βασικά σχέδια εναλλακτών θερμότητας

Τύπου κυψέλης με σωληνώσεις έναντι των επιφανειών μεταφοράς θερμότητας τύπου πιάτου, με τις διάφορες μορφές αύξησης επιφάνειας (πτερύγια, επιστρώματα, κ.λ.π.), ποσοστών ροής, θερμοκρασιών και πιέσεων.

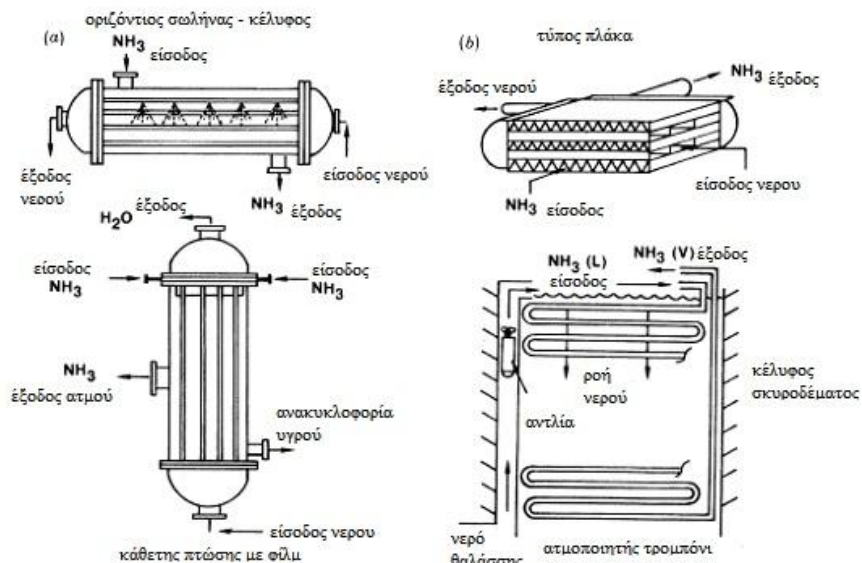
Ο πιο κοινός τύπος εναλλάκτη θερμότητας για τις περισσότερες εφαρμογές είναι ο τύπος εμποδίου. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένα φυσικό εμπόδιο μεταξύ του υγρού λειτουργίας και της πηγής θερμότητας. Οι εναλλάκτες θερμότητας τύπου εμποδίου είναι συνήθως τύπου κυψέλης με σωληνώσεις (όπως η κοινή αμογεννήτρια) ή πλακοειδής τύπος με πτερύγια (όπως το ψυγείο αυτοκινήτου). Άλλες παραλλαγές των δύο βασικών σχεδίων είναι της κάθετης πτώσης με φιλμ, του διπλωμένου σωλήνα και ο ενισχυμένης επιφανείας εναλλάκτης θερμότητας.

Το ποσοστό μεταφοράς θερμότητας ενός εναλλάκτη θερμότητας τύπου εμποδίου εξαρτάται από τη θερμική αντίσταση του εμποδίου. Ένας τρόπος να αυξηθεί η αποδοτικότητα της μεταφοράς θερμότητας πέρα από το εμπόδιο είναι να γίνει λεπτότερο το τοίχωμα των σωλήνων, αλλά υπάρχει ένα όριο επειδή οι σωλήνες πρέπει να είναι μηχανικά αρκετά ισχυροί για να αντισταθούν σε όλες τις πιέσεις της κατασκευής, του χειρισμού, της εγκατάστασης και της λειτουργίας. Ένα πάχος 0,076 εκατοστά είναι χαρακτηριστικό. Μια άλλη προσέγγιση είναι η βελτίωση στην ωφέλιμη περιοχή επιφάνειας χωρίς αύξηση της διαμέτρου του σωλήνα. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη των πτερυγίων ή με την ράβδωση ή την τραχύτητα του σωλήνα.

Το βασικό σχέδιο του εναλλάκτη μπορεί επίσης να επηρεάσει τα χαρακτηριστικά μεταφοράς θερμότητάς του. Μερικά σχέδια απαιτούν τον ψεκασμό του υγρού λειτουργίας στον ατμοποιητή για να επεκταθεί μια μεμβράνη πάνω από τους σωλήνες. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται πρώτιστα στους εναλλάκτες θερμότητας εγκάρσιας ροής όπως το σχέδιο οριζόντιας κυψέλης και σωληνώσεων που παρουσιάζεται στο Σχ.2.1.1(α).

Το σχέδιο της κατακόρυφης πτώσης με φιλμ που φαίνεται στο Σχ.2.1.1(γ) χρησιμοποιεί ραβδωτούς σωλήνες, αλλά εδώ η αύξηση μεταφοράς θερμότητας δεν εμφανίζεται, όχι λόγω της αυξανόμενης περιοχής επιφάνειας, αλλά λόγω ενός

φυσικού φαινομένου που δημιουργεί κύματα του υγρού λειτουργίας που ρέει στις ραβδώσεις των ραβδωτών σωλήνων, μέσω της συνδυασμένης αλληλεπίδρασης της βαρύτητας, της έντασης επιφανείας και της τριβής.



Σχήμα 2.1.1: Τύποι εναλλακτών θερμότητας

Αυτή η δράση παράγει μια λεπτή μεμβράνη του υγρού λειτουργίας σε ολόκληρη την επιφάνεια των σωλήνων από πάνω προς τα κάτω, το οποίο αποχετεύεται στο κάτω μέρος και ανακυκλώνεται πίσω στην κορυφή. Το πλεονέκτημα είναι ότι το σύνολο της επιφάνειας του εναλλάκτη θερμότητας λειτουργεί στην κατάσταση μεταφοράς θερμότητας λεπτής μεμβράνης, στην οποία το μεγαλύτερο ποσό του υγρού λειτουργίας εξατμίζεται (ή συμπυκνώνεται) ανά μονάδα επιφανείας ανά μονάδα χρόνου, δηλαδή το ποσοστό θερμότητας των εναλλακτών μεγιστοποιείται. Ένα άλλο πλεονέκτημα του κατακόρυφου εναλλάκτη θερμότητας κάθετης πτώσης με φιλμ είναι ότι, έναντι των σχεδίων εγκάρσιας ροής, ελαχιστοποιεί την πτώση πίεσης λειτουργίας μέσω του ατμοποιητή. Αυτό σημαίνει μια μικρότερη απώλεια στη διαθέσιμη ενέργεια που παραδίδεται στο στρόβιλο και την καλύτερη γενική απόδοση.

Άλλοι τύποι εναλλακτών θερμότητας που παρουσιάζονται στο Σχ. 2.1.1 είναι ο πλακοειδής τύπος με πτερύγια (B) και ο τύπος trombone (Δ). Ο εναλλάκτης θερμότητας πλακοειδή τύπου με πτερύγια χαρακτηρίζεται από μια μεγάλη επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας που παρέχεται από τα πτερύγια, όπως σε πολλά αυτοκίνητα όπου ο αέρας παίρνει τη θέση του νερού. Ο ατμοποιητής trombone έχει μια κάπως χαμηλότερη αποδοτικότητα μεταφοράς θερμότητας και μια μεγαλύτερη πτώση πίεσης, αλλά είναι απλούστερος να κατασκευαστεί.

Μία ενδιαφέρουσα εναλλακτική λύση είναι ο εναλλάκτης θερμότητας άμεσων επαφών, αλλά λειτουργεί μόνο εάν τα δύο υγρά είναι άμεικτα. Το υγρό λειτουργίας εγχύεται απλά υπό μορφή μικρών σταγονιδίων στο υγρό της πηγής θερμότητας. Αυτά τα σταγονίδια είναι σε άμεση επαφή με το άλλο υγρό, και η θερμότητα μεταφέρεται με υψηλότερο ποσοστό. Ένα μειονέκτημα είναι ότι το υγρό λειτουργίας πρέπει να απομονωθεί από το άλλο υγρό και να διανεμηθεί εκ νέου. Αλλά έχει μια τάση να διαλυθεί στο άλλο υγρό και είναι δύσκολο να αφαιρεθεί.

2.1.2 Υλικά για την κατασκευή εναλλακτών θερμότητας

Τα υποψήφια υλικά που έχουν εξεταστεί για τους εναλλάκτες θερμότητας των εγκαταστάσεων ΟΤΕC περιλαμβάνουν τα κράματα χαλκού-νικελίου, την ενισχυμένη πλαστική ίνα, το ανοξείδωτο κράμα χάλυβα, το τιτάνιο και τα κράματα αργιλίου.

- Τα κράματα χαλκού-νικελίου είναι το καθιερωμένο υλικό για τους θαλάσσιους εναλλάκτες θερμότητας και τα συστήματα σωληνώσεων θαλασσινού νερού εδώ και πολλά χρόνια. Ενώ αυτό το υλικό είναι σχετικά φτηνό και άφθονο, δεν είναι συμβατό με την αμμωνία, την κύρια ένωση που εξετάζεται για υγρό λειτουργίας στα σχέδια κλειστού κύκλου. Εάν το υγρό λειτουργίας είναι φρέον, εντούτοις, το κράμα χαλκού-νικελίου είναι πολύ ελκυστικό.

- Οι εναλλάκτες θερμότητας από ενισχυμένη πλαστική ίνα έχουν μελετηθεί για τις εφαρμογές ΟΤΕC, αλλά η δυνατότητα πραγματοποίησης διαφόρων προτεινόμενων σύνθετων πλαστικών πυρήνων είναι θεωρητική. Η προβλεφθείσα διάρκεια ζωής μεταξύ των αντικαταστάσεων έχει υπολογιστεί στα 5 έτη. Κατά συνέπεια, το χαμηλό αρχικό κόστος των ενισχυμένων πλαστικών ινών πρέπει να ισορροπηθεί με το χαμηλό ποσοστό μεταφοράς θερμότητας του και την ανάγκη για συχνή αντικατάσταση.

- Το τιτάνιο έχει εισαχθεί στη θαλάσσια τεχνολογία τα τελευταία χρόνια, και σε δύο από τις σημαντικότερες μελέτες ΟΤΕC έχουν επιλέξει το τιτάνιο ως υλικό για τους ατμοποιητές και τους συμπυκνωτές επειδή έχει αντοχή στη διάβρωση και στη πίεση που μπορούν να επιτευχθούν. Το τιτάνιο είναι συμβατό με την αμμωνία και έχει την υψηλή αντοχή για το βάρος του. Η ωφέλιμη ζωή των εναλλακτών θερμότητας τιτανίου έχει προβλεφθεί περίπου στα 30 έτη.

Ωστόσο υπάρχουν προβλήματα που συνδέονται με το τιτάνιο. Έχει υψηλή ευαισθησία στην βιολογική αγκίστρωση στο στάσιμο νερό της θάλασσας, και οι τεχνικές συγκόλλησης και ένωσης για το τιτάνιο στις πολύ μεγάλες και σύνθετες κατασκευές δεν έχουν καταδειχθεί με ικανοποιητικό τρόπο.

Ένα σημαντικό πρόβλημα με το τιτάνιο είναι ότι το υψηλό κόστος και η περιορισμένη προσφορά του θα απαγόρευαν τη μεγάλης κλίμακας χρήση του υλικού στο εγγύς μέλλον. Το τιτάνιο είναι περίπου 3 φορές πιο ακριβό από το αργίλιο, ή άλλο υποψήφιο υλικό. Εντούτοις, δεδομένου ότι μόνο κάποια τμήματα του εναλλάκτη θερμότητας θα κατασκευάζονταν από τιτάνιο, το συνολικό κόστος δεν θα ήταν 3 φορές μεγαλύτερο. Επιπλέον, το κόστος του κύκλου ζωής του τιτανίου μπορεί να αποδειχθεί λιγότερο εάν τα τμήματα που κατασκευάζονται από αυτό θα μπορούσαν να είναι ανθεκτικότερα.

- Τα κράματα ανοξείδωτου χάλυβα είναι παρόμοια με το τιτάνιο στην υπολογιζόμενη διάρκεια ζωής και είναι καλύτερα σε προμήθεια. Το κόστος μονάδας του ανοξείδωτου χάλυβα είναι περίπου 40% των συγκολλημένων σωλήνων από τιτάνιο. Εντούτοις, απαιτείται ένα μεγαλύτερο πάχος από ανοξείδωτο χάλυβα λόγω της χαμηλότερης αντοχής του ανοξείδωτου με αποτέλεσμα το συνολικό κόστος του εναλλάκτη θερμότητας να είναι περίπου ισοδύναμο.

Το κράμα αργιλίου είναι επίσης ένα από τα κύρια υποψήφια υλικά για τις εγκαταστάσεις ΟΤΕC. Οι τεχνικές συγκόλλησης και συγκράτησης για το αργίλιο είναι αποδεδειγμένα πολύ καλύτερες από τις τεχνικές των άλλων υποψηφίων υλικών και η

υπάρχουσα παραγωγική βάση είναι πολύ μεγαλύτερη. Εντούτοις, η συμβατότητα του αργιλίου με το νερό της θάλασσας και την αμμωνία πρέπει ακόμα να αποδειχθεί.

Μέχρι τώρα, δεν υπάρχει κανένα καλύτερο υλικό για τους εναλλάκτες θερμότητας. Μόνο ο σχεδιασμός και η δοκιμή του εναλλάκτη θερμότητας για μια ουσιαστική χρονική περίοδο, σε σχέση με συγκεκριμένες συνθήκες νερού, σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία με γνωστούς τύπους βιολογικής αγκίστρωσης, με προβλεπόμενο καθαρισμό και τεχνικές επανακαθαρισμού και με ένα γνωστό υγρό λειτουργίας θα προσδιορίσει αν υπάρχει ένα υλικό με αποδεκτό κόστος.

2.2 Υγρό λειτουργίας συστήματος

Το υγρό λειτουργίας ατμοποιείται στον ατμοποιητή της εγκατάστασης με την χρήση του θερμού νερού της θάλασσας, επεκτείνεται στο στρόβιλο όπου παράγεται η ισχύς και τελικά συμπυκνώνεται σε υγρό με την χρήση του κρύου νερού της θάλασσας. Στα συστήματα ανοικτού κύκλου χρησιμοποιείται το θερμό θαλάσσιο νερό της επιφάνειας ως υγρό λειτουργίας. Το νερό εξατμίζεται στο κενό και δεν ξαναχρησιμοποιείται. Σε συστήματα κλειστού κύκλου χρησιμοποιείται ένα δευτερεύον μέσο ως υγρό λειτουργίας το οποίο συνεχώς ξαναχρησιμοποιείται. Σε αυτά τα συστήματα χρησιμοποιείται συνήθως η αμμωνία (NH_3) και λιγότερο το προπάνιο (C_3H_8) και το φρέον.

Η αμμωνία έχει επιλεγεί για δύο λόγους: 1) το έργο εξάγεται από το στρόβιλο για κάθε 453 γραμμάρια (μία λίβρα) αμμωνίας είναι τουλάχιστον 3 φορές περισσότερο από αυτό που εξάγεται από το προπάνιο και 2) η υψηλή θερμική αγωγιμότητα και θερμική χωρητικότητα της αμμωνίας είναι πιθανόν να μειώσουν το μέγεθος του εναλλάκτη θερμότητας. Έχουν υπάρξει μελέτες σε ολοκληρωμένα συστήματα ΟΤΕC που προσδιορίζουν το κατάλληλο υγρό λειτουργίας. Το φρέον και το προπάνιο μπορεί να είναι καταλληλότερα από την αμμωνία σε μερικές εφαρμογές.

Σε περίπτωση διαρροής του υγρού λειτουργίας από τις εγκαταστάσεις ΟΤΕC, η αμμωνία είναι ιδιαίτερα τοξική και ελαφρώς εύφλεκτη. Διαρροές χαμηλού επιπέδου πρέπει να αναμένονται και θα μπορούσε να υπάρξει άμεση ζημιά στο περιβάλλον. Αλλά τα καταστρεπτικά αποτελέσματα της αμμωνίας έχουν μικρότερη χρονική διάρκεια από εκείνα που μπορούν να προκληθούν από το φρέον ή το προπάνιο, επειδή η αμμωνία διαλύεται σε ενώσεις που είναι θρεπτικές ουσίες. Επιπλέον, η αμμωνία μπορεί εύκολα να ανιχνευθεί λόγω της οσμής της.

Η αμμωνία θα διαλυθεί εύκολα στο νερό της θάλασσας για να διαμορφώσει το υδροξείδιο του αμμωνίου, το οποίο μπορεί να μην είναι συμβατό με κάποια υλικά. Επομένως, η χρήση της αμμωνίας μπορεί να περιορίσει την επιλογή των υλικών σε εκείνα που είναι συμβατά και ανθεκτικά στη διάβρωση, όπως τα κράματα τιτανίου και ανοξείδωτου χάλυβα.

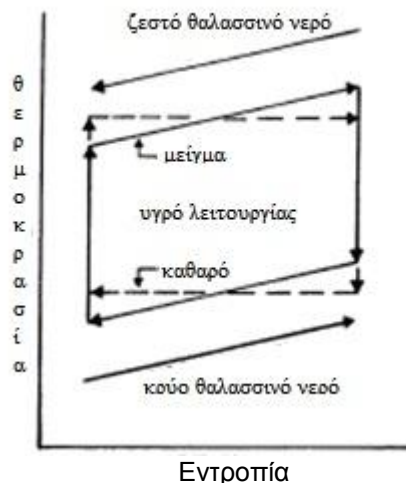
Γι' αυτό τον λόγο, η επιλογή του υγρού λειτουργίας, η επιλογή των υλικών που είναι συμβατά και η προστασία του περιβάλλοντος από τη διαρροή είναι σημαντικοί παράγοντες της εφαρμοσμένης μηχανικής που έχουν επιπτώσεις σε κάθε πτυχή του σχεδιασμού των εγκαταστάσεων και της επιλογής των υλικών.

2.2.1 Πλεονεκτήματα των μιγμάτων στους κύκλους ΟΤΕC

Δύο από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης μιγμάτων αντί των καθαρών ενώσεων ως υγρά λειτουργίας στις εγκαταστάσεις ΟΤΕC μπορούν να σημειωθούν με αναφορά του σχήματος 2.2.1. Για τους σκοπούς του παραδείγματος, κύκλος του καθαρού υγρού παρουσιάζεται στο Σχ. 2.2.1 με διακεκομμένες γραμμές ως εσωτερικά αντιστρέψιμος κύκλος με τη μεταφορά θερμότητας σε σταθερή θερμοκρασία (στην πίεση υδρατμών του καθαρού υγρού). Ο κύκλος μιγμάτων παρουσιάζεται στο Σχ. 2.2.1 από τις στερεές γραμμές ως εσωτερικά αντιστρέψιμος κύκλος με μεταφορά θερμότητας κατά μήκος των διαδρομών (ουσιαστικά μεταξύ των σημείων φουσαλίδας και δροσιάς) που παραλληλίζουν τα σχεδιαγράμματα θερμοκρασίας του θερμού και ψυχρού θαλάσσιου νερού, μια κατάσταση που μπορεί να προσεγγιστεί με τα πραγματικά μίγματα αλλά είναι αδύνατη για τα καθαρά υγρά.

Επειδή και ο κύκλος καθαρού υγρού και ο κύκλος μιγμάτων είναι αντιστρέψιμοι, οι περιοχές που εσωκλείονται από κάθε κύκλο αντιπροσωπεύουν το έργο του κύκλου. Αυτές οι περιοχές είναι ίσες και επομένως το έργο από κάθε κύκλο στο Σχ. 2.2.1 είναι ίδιο. Αφ' ετέρου, για μια διαφορά θερμοκρασίας εισαγωγής καθαρού υγρού 10 F και διαφορά θερμοκρασίας εξόδου 3 F και για τον ατμοποιητή και για το συμπυκνωτή, η καταγραφή της μέσης διαφοράς θερμοκρασίας για τους κύκλους στο Σχ. 2.2.1 είναι 5,85 F για τον κύκλο καθαρού υγρού και 6,5 F για τον κύκλο μιγμάτων, έτσι ώστε η περιοχή επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας που απαιτείται για το μίγμα είναι μόνο 90% της περιοχής επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας που απαιτείται για το καθαρό υγρό (για το ισοδύναμες ιδιότητες υγρού). Αυτό μεταφράζεται σε σχεδόν άμεση μείωση έως 10% του κόστους των εναλλακτών θερμότητας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι είναι γεγονός ότι τα μίγματα ατμοποιούν και συμπυκνώνουν σε διάφορες θερμοκρασίες στις διαδικασίες σταθερής πίεσης ενώ τα καθαρά υγρά ατμοποιούν και συμπυκνώνουν σε σταθερή θερμοκρασία στις διαδικασίες σταθερής πίεσης που δημιουργεί την ευκαιρία για βελτίωση των αποδόσεων μεταφοράς θερμότητας που εξιδανικεύεται στο Σχ.2.2.1.



Σχ. 2.2.1 σύγκριση ιδανικών κύκλων του μείγματος και του καθαρού υγρού

Ένα πρόσθετο πιθανό πλεονέκτημα των μιγμάτων σε σχέση με τα καθαρά υγρά που προκύπτει από το Σχ. 2.2.1 είναι το γεγονός ότι σύμφωνα με τους όρους της προοδευτικής επίστρωσης ρύπανσης, ο κύκλος μιγμάτων μπορεί ενδεχομένως να

διατηρηθεί λειτουργικός για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα με την αύξηση των ποσοστών ροής του νερού. Αυτό είναι επειδή η κατευθυντήρια δύναμη για τη μεταφορά θερμότητας είναι σταθερή σε όλο τον εναλλάκτη θερμότητας για τον κύκλο μιγμάτων, ενώ ένα κρίσιμο σημείο τείνει να εμφανιστεί με την επιστροφή ρύπανσης στον κύκλο καθαρού υγρού, στο σημείο εισόδου στον εναλλάκτη θερμότητας του καθαρού υγρού λειτουργίας.

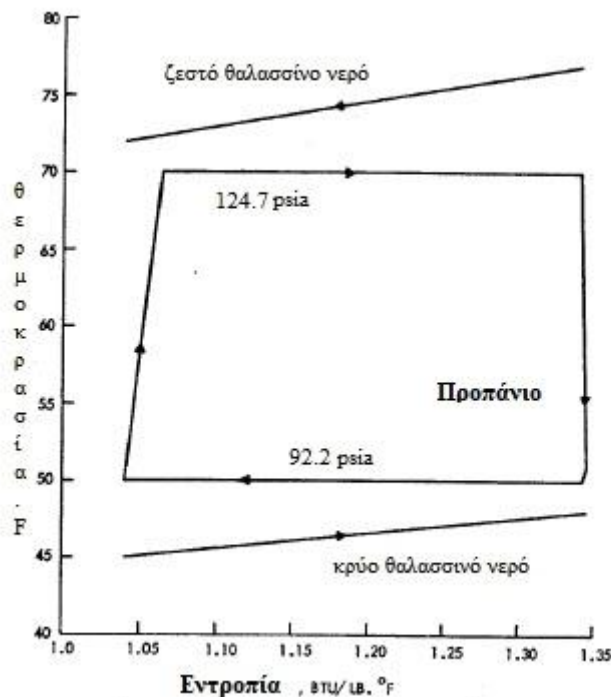
Για τους μη αντιστρέψιμους κύκλους, η βελτίωση της απόδοσης θα ποικίλει, ανάλογα με τις διαφορές στη συμπεριφορά των μιγμάτων που εξετάζονται έναντι των καθαρών υγρών.

2.2.2 Σύγκριση των κύκλων μίγματος και καθαρού υγρού

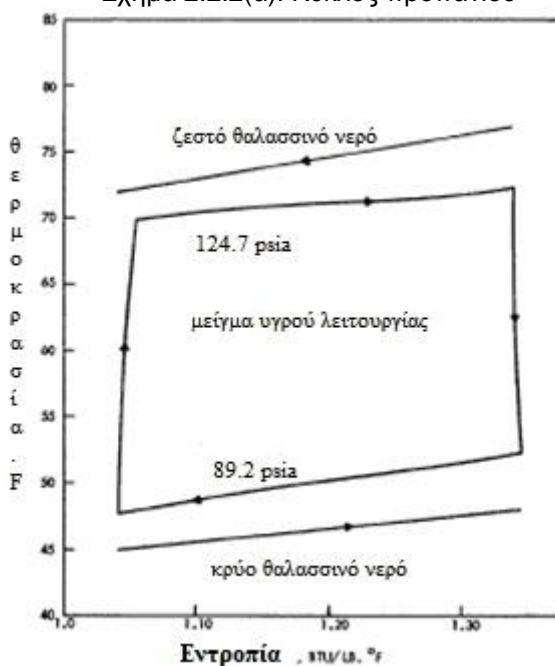
Τα πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης μιγμάτων και όχι καθαρών ενώσεων ως υγρά λειτουργίας στους κύκλους ωκεάνιας θερμοκρασιακής διαφοράς μπορούν να αποδειχθούν σε σχέση με τις διαφορές στους υπολογισμούς σχεδιασμού των κύκλων καθαρών ενώσεων και μιγμάτων που συνοψίζονται στον Πιν. 1 και στα διαγράμματα θερμοκρασίας-εντροπίας, που παρουσιάζονται στα Σχ.(α) και (β). Ο κύκλος καθαρού υγρού στο Σχ. (α) είναι για το προπάνιο ενώ ο κύκλος μιγμάτων στο Σχ. (β) είναι για ένα μίγμα τριών συστατικών που προσεγγίζει τα χαρακτηριστικά του προπανίου στο πλαίσιο της ενιαίας φάσης υγρού και αερίου αλλά παρουσιάζει τη συμπεριφορά φάσης μιγμάτων. Η σύνθεση αυτού του μίγματος είναι προπάνιο 98%, αιθάνιο 1% και κανονικό βουτάνιο 1%, σε ποσοστό μοριακής βάσης. Οι συνθήκες θερμοκρασίας-πίεσης για τον πίνακα 1 και τα σχήματα 2 και 5 είναι για την περίπτωση του θερμού θαλάσσιου νερού σε 77 F και του κρύου θαλασσινού νερού σε 45 F με την επέκταση του υγρού λειτουργίας από 124,7 psia σε 92,2 psia για το προπάνιο και 89,2 psia για το μίγμα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Σύγκριση μεταξύ προπανίου και μείγματος, διαφορές στους θερμικούς κύκλους (*Σύνθεση Μείγματος σε ποσοστά 1% αιθάνιο, 98% προπάνιο, 1% ν-βουτάνιο.)

	Προπά- νιο	Μείγμα*
Θερμοκρασία εισροής ζεστού θαλασσινού νερού (F)	77,0	77,0
Θερμοκρασία εκροής ζεστού θαλασσινού νερού (F)	72,2	72,0
Θερμοκρασία εισροής κρύου θαλασσινού νερού (F)	45,0	45,0
Θερμοκρασία εκροής κρύου θαλασσινού νερού (F)	48,0	48,0
Απαίτηση κρύου θαλασσινού νερού (lb ανά lb ζεστού θερμού νερού)	1,55	1,6
Θερμοκρασία εκροής συμπυκνωτή (F)	50,0	47,7
Θερμοκρασία εισροής στροβίλου (F)	70,0	72,1
Πίεση εισροής στροβίλου (psia)	124,7	124,7
Θερμοκρασία εκροής στροβίλου (F)	51,0	50,1
Πίεση εκροής στροβίλου (psia)	92,2	89,2
Ποσοστό διαρροής υγρού στροβίλου (%)	0,0	0,1
Καθαρό έργο (BTU ανά 100lb ζεστού θ.ν.)	13,1	15,1
κύκλος καθαρής θερμικής απόδοσης (%)	2,62	3,02



Σχήμα 2.2.2(α): Κύκλος προπανίου



Σχήμα 2.2.2(β): Κύκλος μιγμάτων

Οι αποδόσεις στροβίλων και αντλιών του 85% συγκρίνονται με την αδιαβατική αντιστρέψιμη επέκταση και τη συμπίεση που χρησιμοποιήθηκαν. Στα σχήματα 2.2.1 και 2.2.2(α), η διαφορά μεταξύ των περιοχών κάτω από καμπύλες θέρμανσης και ψύξης του κύκλου για το υγρό λειτουργίας αντιπροσωπεύει το έργο που παράγεται από τον κύκλο για ίσα ποσά θερμού θαλάσσιου νερού που χρησιμοποιούνται πριν ληφθεί υπόψη το έργο που απαιτείται για την άντληση του θαλάσσιου νερού. Οι σχετικές πληροφορίες για τους υπολογισμούς του κύκλου προπανίου και του κύκλου μιγμάτων συνοψίζονται στον Πίνακα 1. Έγιναν προβλέψεις για τις ενθαλπίες, τις εντροπίες, τις πυκνότητες, τα σημεία δροσιάς, τα σημεία φουσαλίδων και τις

ισορροπίες ατμού-υγρού για τα υγρά λειτουργίας χρησιμοποιώντας μία γνωστή συσχέτιση για να είναι ακριβείς για τα εξεταζόμενα υγρά λειτουργίας.

Η πίεση εξόδου του στροβίλου που είναι 92,2 psia επιλέγεται για τον κύκλο προπανίου για να εξασφαλίσει πλήρη συμπύκνωση στο συμπυκνωτή στους 50 F όπου η πίεση υδρατμών προπανίου είναι 92,2 psia. Η θερμοκρασία συμπύκνωσης των 50 F για το προπάνιο απαιτείται προκειμένου να διατηρηθεί τουλάχιστον μια κατευθυντήρια δύναμη 2 F για τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ του υγρού λειτουργίας και να δροσιστεί το θαλάσσιο νερό στην περίπτωση όπου το δροσερό θαλάσσιο νερό εισάγεται σε 45 F και βγαίνει σε 48 F. Για την περίπτωση του μίγματος, το γεγονός ότι σε 89,2 psia το σημείο δροσιάς έχει θερμοκρασία 50,2 F, ενώ το σημείο φυσαλίδας έχει θερμοκρασία 47,7 F, επιτρέπει την επέκταση σε μια χαμηλότερη πίεση από αυτή που είναι δυνατή για το καθαρό προπάνιο και συνεπώς λαμβάνεται περισσότερο έργο στον κύκλο μιγμάτων.

Η κύρια διαφορά μεταξύ της συμπεριφοράς των μιγμάτων και των καθαρών υγρών στον κύκλο Rankine είναι το γεγονός ότι οι καμπύλες θέρμανσης και ψύξης για τα μίγματα στη διφασική περιοχή έχουν κλίση και δεν είναι οριζόντιες, όπως για τα καθαρά υγρά. Αυτή η διαφορά στην συμπεριφορά μεταξύ μίγματος και καθαρού υγρού μπορεί να σημειωθεί εύκολα με τη σύγκριση των διαγραμμάτων θερμοκρασίας-εντροπίας στα σχήματα 2.2.2 (α),(β). Κατά συνέπεια, με την κατάλληλη επιλογή της σύνθεσής της, η καμπύλη θέρμανσης του μίγματος για υγρό λειτουργίας μπορεί να γίνει με σχεδόν παράλληλη την καμπύλη ψύξης του θερμού θαλάσσιου νερού, ενώ η καμπύλη ψύξης μιγμάτων μπορεί να γίνει για να παραλληλίσσει σχεδόν την καμπύλη θέρμανσης του δροσερού θαλάσσιου νερού, συμπεριφορά που είναι αδύνατη να επιτευχθεί με τα καθαρά υγρά λειτουργίας.

Για καθορισμένη μέση λογαριθμική θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των υγρών στην τρέχουσα ανταλλαγή θερμότητας, η θερμική απόδοση και το έργο που λαμβάνονται από τον κύκλο μπορούν ενδεχομένως να γίνουν μεγάλα για τα μίγματα απ' ό,τι για τα καθαρά υγρά. Αν και η σύνθεση δοκιμής του μίγματος που χρησιμοποιείται για αυτήν την σύγκριση δεν είναι μια βελτιστοποιημένη σύνθεση όσον αφορά τη καμπύλη θέρμανσης της σε 124,7 psia ή την καμπύλη ψύξης της σε 89,2 psia, παράγεται περισσότερο έργο ανά λίβρα θερμού θαλάσσιου νερού στον κύκλο μιγμάτων από τον κύκλο προπανίου, και έτσι η θερμική απόδοση του κύκλου μιγμάτων είναι 3,02% έναντι 2,62% για τον κύκλο προπανίου.

Το σημαντικότερο συμπέρασμα από τη μελέτη που παρουσιάζεται εδώ είναι ότι τα μίγματα μπορούν ενδεχομένως να χρησιμοποιηθούν στους ωκεάνιους θερμικούς κύκλους ενεργειακής μετατροπής για να επιτύχουν τα ακόλουθα αποτελέσματα, έναντι των κύκλων καθαρών υγρών:

- (α) μειώσεις στα μεγέθη εναλλακτών θερμότητας, με μια αντίστοιχη μείωση του κύριου κόστους των εγκαταστάσεων,
- (β) αύξηση στην αποδοτικότητα εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας, και
- (γ) τη βελτιωμένη απόδοση εναλλακτών θερμότητας υπό τους όρους της προοδευτικής ρύπανσης.

2.3 Σωλήνωση

Η ωκεάνια θερμική ενεργειακή μετατροπή (OTEC) απαιτεί τεράστιες ποσότητες κρύου νερού από τα βάθη της θάλασσας και θερμού νερού από την επιφάνεια της θάλασσας για να λειτουργήσει. Η κατασκευή και η εγκατάσταση των αγωγών σε

μεγάλα βάθη για να παρέχουν αυτό το νερό αντιπροσωπεύουν το πιο δαπανηρό μέρος των εγκαταστάσεων ΟΤΕC και το μεγαλύτερο ρίσκο κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Λόγω αυτών των συναφών δαπανών και κινδύνων, είναι το λιγότερο, αποδεδειγμένα, σημαντικό τμήμα μιας μεγάλης εγκατάστασης ΟΤΕC.

Η Χαβάη είναι το κέντρο ανάπτυξης της τεχνολογίας ΟΤΕC στις Ηνωμένες Πολιτείες κατά τη διάρκεια των τελευταίων είκοσι ετών. Στο Εργαστήριο Φυσικής Ενέργειας στην Χαβάη (NELHA) λειτουργούν αυτήν την περίοδο διάφοροι αγωγοί, ο μεγαλύτερος των οποίων έχει διάμετρο 55". Αγωγοί με διάμετρο μέχρι 8" έχουν δοκιμαστεί κατά την εγκατάσταση και στην λειτουργία και στην αναστολή της λειτουργίας. Στην πραγματικότητα, το σύνολο των αγωγών θαλασσινού νερού σε μεγάλα βάθη από όλο τον κόσμο έχουν αναπτυχθεί από το NELHA. Οι τεχνικές και η εμπειρία που αποκτήθηκε μέσω της ανάπτυξης των αγωγών σε μεγάλα βάθη στο NELHA και η έρευνα που πραγματοποιείται σε αγωγούς μεγάλης διαμέτρου έχουν οδηγήσει στην προκαταρκτική μελέτη και στην ανάπτυξη αγωγών ΟΤΕC μέχρι τρία (3) μέτρα διάμετρο. Αυτοί οι διατετμημένοι σωλήνες από ίνα ενισχυμένου πλαστικού μπορούν να επεκταθούν με τις ίδιες ελεγχόμενες τεχνικές βύθισης που έχουν εφαρμοστεί ήδη στη Χαβάη και μπορούν να εγκατασταθούν είτε βαρυτικά σταθεροί, είτε σε κρεμαστή λειτουργία είτε σε μακρά ανεστραμμένη καμπυλωτή λειτουργία.

Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη απαιτεί την ανάλυση της σωλήνωσης σε δύο πολύ διαφορετικά περιβάλλοντα: στην περιοχή κοντά στην ακτή και σε κάποιο βάθος.

2.3.1 Σωλήνωση κοντά στην ακτή

Σαν περιοχή κοντά στην ακτή ορίζεται από την ακτή μέχρι σε βάθος περίπου 30 μέτρα. Σε αυτήν την περιοχή ο σχεδιαστής βρίσκεται αντιμέτωπος με διάφορες προκλήσεις συμπεριλαμβανομένων των ρευμάτων και των κυμάτων, τα αισθητικά και περιβαλλοντικά ζητήματα, την σύνδεση των σταθμών άντλησης και την σύνδεση των παράκτιων αγωγών. Επειδή οι αγωγοί είναι σε ρηχά νερά, η επίδραση των κυμάτων στη σωλήνωση μπορεί να είναι αρκετά ακραία, ειδικά σε περιοχές ευαίσθητες στη δραστηριότητα τυφώνα.

Τα μεγάλα κύματα των τυφώνων και τα σχετικά μεγάλα ύψη των κυμάτων, που είναι κοινά για τις τροπικές νησιωτικές περιοχές, προκαλούν μεγάλη ανύψωση φορτίων στις εκτεθειμένες σωληνώσεις που αποβάλλονται αποτελεσματικά της παράκτιας διασταύρωσης χρησιμοποιώντας μόνο βαρυτικές άγκυρες. Είναι διαθέσιμες αρκετές τεχνικές διέλευσης κοντά στην ακτή μεταξύ των οποίων:

- Αγωγοί σε χαντάκι
- Βιδωτοί αγωγοί
- Υπόγειοι αγωγοί

Αγωγοί σε χαντάκι ή θαμμένοι: προστατεύονται καλά από τα περιβαλλοντικά φορτία και για πολλαπλούς σωλήνες, είναι η οικονομικά πιο αποδοτική προσέγγιση για διαδρομές κοντά στην ακτή. Εντούτοις, το σκάψιμο και η ανατίναξη του χαρακώματος μπορεί να είναι επιβλαβή για το περιβάλλον στους σκοπέλους και στην περιοχή κοντά στην ακτή. Επομένως αυτή η τεχνική θα πρέπει να ακολουθηθεί μόνο εάν δεν υπάρχει άλλη, πιο ελκυστική περιβαλλοντικά για την περιοχή κοντά στην ακτή.

Βιδωτοί αγωγοί: χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές όπου η περιοχή κοντά στην ακτή είναι εκτεθειμένη σε ακραίες συνθήκες κυμάτων, έτσι εκτίθενται σε ένα σκληρό πυθμένα ή σε μεγάλους ογκόλιθους που είναι μερικώς θαμμένοι στην άμμο για να σταθεροποιήσει τους αγωγούς υπό τις ακραίες συνθήκες κυμάτων (τυφώνες, κλπ.). Υπό αυτούς τους όρους, η τεχνική αυτή γίνεται εξαιρετικά αποδοτική οικονομικά. Οι βίδες στους βράχους είναι σχετικά ανέξοδες και οι δύτες μπορούν να ολοκληρώσουν τη συντήρηση μέσω της περιοδικής αντικατάστασης των αναλισκόμενων ανοδίων ψευδάργυρου για την προστασία διάβρωσης.

Το μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι ο θαλάσσιος πυθμένας είναι ιδιαίτερα ανώμαλος και είναι δύσκολο να σχεδιαστεί εκ των προτέρων η ακριβής θέση κάθε βίδας και κάθε σφιγκτήρα στον αγωγό.

Υπόγειοι αγωγοί: υπάρχουν δύο διαφορετικές τεχνικές για την επίτευξη του ίδιου αποτελέσματος — γεώτρηση με κλίση και μικρο-τούνελ. Η γεώτρηση με κλίση χρησιμοποιεί τις τεχνικές εξόρυξης πετρελαίου με μία εξέδρα άντλησης πετρελαίου στην ακτή που πιέζει το άκρο και τον αγωγό του τρυπανιού μέσω του εδάφους σε μια αρκετά ρηχή γωνία σε βάθος περίπου 20 μέτρων. Στην προσέγγιση των μικρο-τούνελ, μία μεγάλη, ξηρή, ανυψωμένη τάφρος είναι κατασκευασμένη στην ακτή και φτάνει αρκετά κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Μια μηχανή κατασκευής μικρο-τούνελ με άκρη τρυπανιού ίση σε μέγεθος με την εξωτερική διάμετρο της επιθυμητής σήραγγας ωθείται μέσα από τον κάθετο τοίχο αυτής της τάφρου και συνεχίζει να τρυπά με την προσθήκη τμημάτων στην γεώτρηση μέχρι την επέκταση στις παράκτιες περιοχές σε βάθος 20-25 μέτρων.

Σύμφωνα με τον καθένα από τους παραπάνω σχηματισμούς τούνελ, οι περιοχές της ακτής και του βυθού είναι αδιατάρακτες και αποδεικνύεται η καλύτερη προστασία για τους αγωγούς κοντά στην ακτή καθώς και οι πιο ευνοϊκοί περιβαλλοντικά που διέρχονται την ευαίσθητη περιοχή χαμηλού βάθους προς την εγκατάσταση ΟΤΕC στην ακτή.

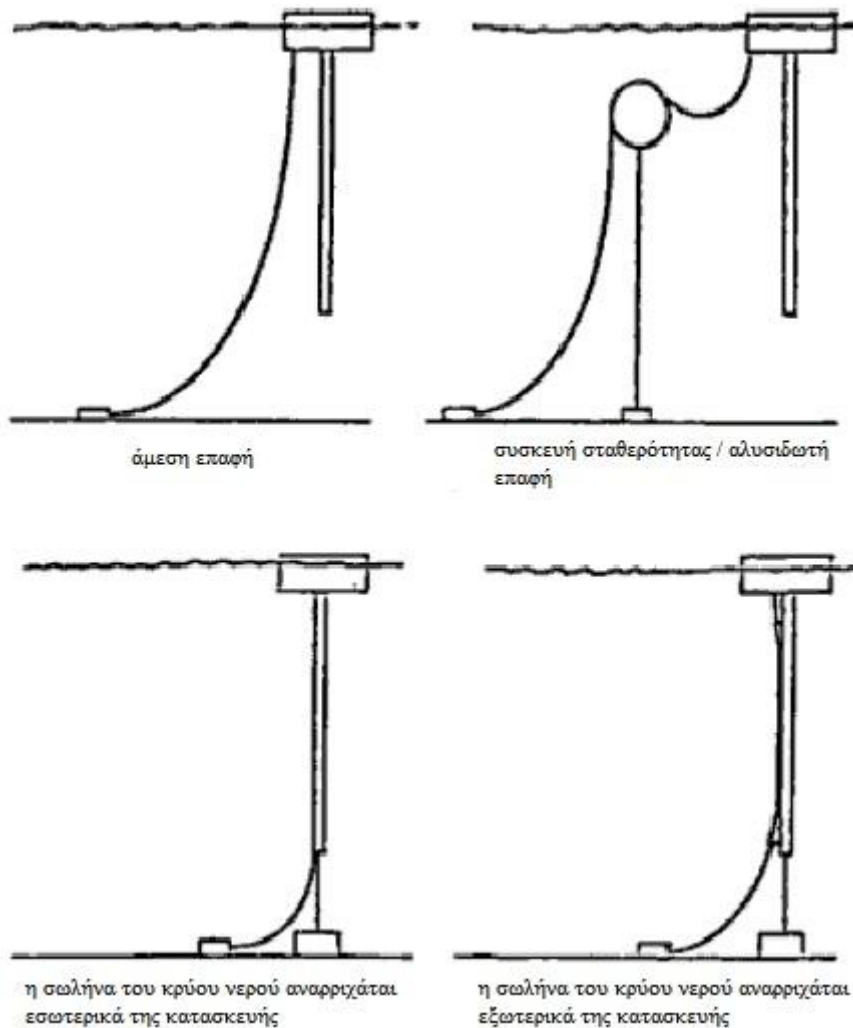
2.3.2 Σωλήνωση σε μεγάλο βάθος

Το ποσοστό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων οποιασδήποτε σωλήνωσης μεγάλου βάθους, είναι μικρότερο σε σχέση με το ποσοστό των σωληνώσεων των παράκτιων περιοχών. Τα κύματα έχουν λιγότερες επιπτώσεις πάνω σε αυτό το τμήμα του αγωγού, υπάρχουν λιγότερο ορατές περιβαλλοντικές ανησυχίες και τα ρεύματα μικραίνουν με το βάθος. Γενικά, η προσέγγιση σχεδιασμού και οι διαδικασίες εγκατάστασης είναι εντελώς διαφορετικές από αυτές των περιοχών κοντά στην ακτή.

Έχουν αναπτυχθεί τρεις διαφορετικές τεχνικές για τις σωληνώσεις σε βαθιά νερά οι οποίες είναι:

- σταθερή σωλήνωση λόγω βαρύτητας
- κρεμαστή σταθερή πλωτή σωλήνωση
- αντιστρέψιμη καμπυλωτή πλωτή σωλήνωση

Σε πολλές εφαρμογές σωληνώσεων σε βάθος, είναι απαραίτητο να ενσωματωθεί ένας συνδυασμός των ανωτέρω προσεγγίσεων για να προσαρμοστεί στα διαφορετικά εδάφη στα βαθιά νερά. Στο Σχ.2.3.2 φαίνονται διάφοροι τύποι σωλήνωσης:



Σχήμα 2.3.2: Διάφοροι τύποι σωλήνωσης

Σταθερή σωλήνωση λόγω βαρύτητας: είναι οι καταλληλότερες για τις περιοχές όπου ο θαλάσσιος πυθμένας είναι σχετικά ομαλός πέρα από μια ήπια κλίση. Η βαρυσταθική σταθερότητα αποτελείται από την σύνδεση μιας σειράς αγκύρων τσιμέντου στο βυθό σε τακτά διαστήματα πριν από την επέκταση πέρα από το μήκος της σωλήνωσης με ικανοποιητική εκκαθάριση για να αποτρέψει ζημιές στο σωλήνα από το θαλάσσιο πυθμένα. Μια πολύ λεπτομερής και εξετασμένη διαδρομή και μια ακριβής επέκταση της σωλήνωσης είναι επιτακτικές σε αυτήν την τεχνική για την αποτροπή βλάβης στη σωλήνωση κατά τη διάρκεια της επέκτασης –στην πιο εκτεθειμένη στιγμή της σωλήνωσης. Λόγω της απλότητάς στο σχεδιασμό και το ελάχιστο κόστος, είναι η προτεινόμενη μέθοδος αγκυροβόλησης για σωληνώσεις σε βαθιά νερά που συνδέονται με εγκαταστάσεις OTEC. Εντούτοις, δεδομένου ότι ιδανικές συνθήκες υπάρχουν σπάνια στην πραγματικότητα, αυτή η μέθοδος συνδυάζεται συχνά με τις άλλες τεχνικές κατά τη διάρκεια της σωλήνωσης.

Κρεμαστές σωληνώσεις: χρησιμοποιούνται σε συνθήκες επιπλεόντων αγωγών για να διασχίζουν τα πετρώδη και απότομα περιβάλλοντα βυθού (αιχμηροί βράχοι, κλπ) επιτρέποντας στη σωλήνωση να επιπλέει πάνω από το βυθό για σημαντικό διάστημα για να αποφεύγεται η βλάβη στο σωλήνα κατά τη διάρκεια της επέκτασης και των περιόδων πολύ μεγάλων κυμάτων που μπορούν να προκαλέσουν κάποια πλευρική κίνηση στη σωλήνωση. Ένα κρεμαστό σύστημα αποτελείται από έναν

επιπλέοντα σωλήνα που συνδέεται με τις άγκυρες μέσω ενός συστήματος καλωδίων που επιτρέπει την ευελιξία κινήσεων της σωλήνωσης χωρίς να επιτρέψει την επαφή με το θαλάσσιο πυθμένα. Ένα μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι το κόστος της πλευστότητας, γιατί εάν χρησιμοποιείται σε μεγάλο τμήμα του μήκους της σωλήνωσης, μπορεί να έχει απαγορευτικό κόστος.

Οι αλυσοειδείς καμπυλωτές σωληνώσεις: εκμεταλλεύονται την φυσική πλευστότητα και την ευελιξία του υδροσωλήνα για να διασχίσει το πολύ πετρώδες και συχνά πολύ απότομο πυθμένα. Όταν αυτή η τεχνική πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, οι λεπτομερείς έρευνες διαδρομής στον πυθμένα δεν είναι απαραίτητες (μόνο στις δύο άκρες της αλυσοειδούς καμπύλης). Όπως και στην κρεμαστή σωλήνωση, η αλυσοειδής καμπύλη δεν δοκιμάζει τα υψηλά αδρανή φορτία και, συνήθως δεν είναι συνδεδεμένη με τον θαλάσσιο πυθμένα οπότε δε μπορεί να προκληθεί βλάβη λόγω σεισμού.

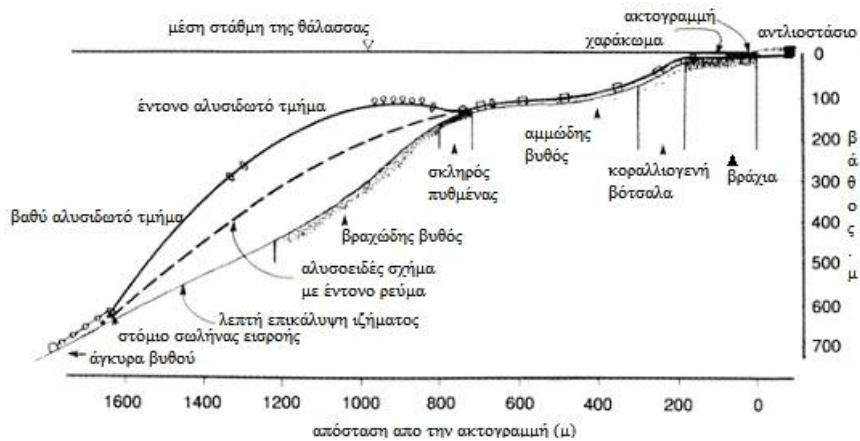
Η μέθοδος των αλυσοειδών καμπυλών δεν μπορεί να εφαρμοστεί παντού, δεν είναι κατάλληλη για εφαρμογές σε ρηχά νερά ή σε μελέτες ήπιας κλίσης όπου η αιχμή της αλυσοειδούς καμπύλης μπορεί να πλησιάσει την επιφάνεια του ωκεανού.

2.3.3 Επέκταση σωληνώσεων

Ο σχεδιασμός της διαδικασίας εγκατάστασης της σωλήνωσης είναι η πιο σημαντική πτυχή του γενικού σχεδιασμού σωληνώσεων. Τα μεγαλύτερα εμπόδια στην εγκατάσταση μιας σωλήνωσης σε βαθιά νερά είναι τα ακραία βάθη, τα ρεύματα και τα κύματα που ο εγκαταστάτης θα αντιμετωπίσει κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης. Μια σωλήνωση θα δοκιμαστεί συχνά σε ακραία φορτία κατά την διάρκεια της επέκτασης και θα υπάρχει μεγάλος κίνδυνος απώλειας. Η κατάλληλη διαδικασία σχεδιασμού μιας σωλήνωσης σε βαθιά νερά πρέπει συνεχώς να περιλαμβάνει τη διαδικασία της επέκτασης.

Στις περισσότερες περιπτώσεις στην μηχανική ο ρόλος του σχεδιαστή και του εγκαταστάτη είναι εντελώς χωρισμένοι. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει στην περίπτωση των σωληνώσεων σε βαθιά νερά επειδή είναι απίθανο ο ανάδοχος που μισθώνεται για να επεκτείνει το σωλήνα να έχει εγκαταστήσει ένα τέτοιο όργανο, επομένως, εναπόκειται στο σχεδιαστή να σιγουρευτεί ότι η σωλήνωση μπορεί να κατασκευαστεί και να επεκταθεί και αξιόπιστα και οικονομικά. Είναι απαραίτητο για το σχεδιαστή της σωλήνωσης να παρέχει λεπτομερή σχέδια επέκτασης και τις προδιαγραφές μαζί με την τελική μελέτη προκειμένου ο ανάδοχος να κατανοήσει πλήρως την προβλεπόμενη διαδικασία εγκατάστασης. Λόγω της ακραίας δαπάνης που συνδέεται με τις διαδικασίες θαλάσσιας κατασκευής, είναι επίσης απαραίτητο οι σωληνώσεις να σχεδιάζονται για γρήγορη και αποδοτική επέκταση.

Το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας για την κατασκευή των σωληνώσεων εκτελείται στο έδαφος ή σε ένα κοντινό λιμάνι. Όλα τα βάρη, τα εκκρεμή, και τα άλλα εξαρτήματα συνδέονται με τη σωλήνωση από τα πληρώματα στην ακτή. Συχνά η σωλήνωση συγκεντρώνεται δεξιά στην ακτή σε ένα λιμάνι και όπως κάθε τμήμα του υλικού σωλήνωσης προστίθεται, οι άλλες συνδέσεις προστίθενται και η σωλήνωση "ωθείται" στο λιμάνι. Η σωλήνωση σχεδιάζεται για να επιπλεύσει όταν γεμίσει με αέρα, υποστηρίζοντας τα βάρη και άλλες συνδέσεις σωληνώσεων. Επομένως ολόκληρη η σωλήνωση συγκεντρώνεται και ωθείται στα προστατευμένα νερά χρησιμοποιώντας ένα ελάχιστο ποσό ναυτιλιακού εξοπλισμού.



Σχήμα 2.3: Επέκταση ενός αγωγού κρύου νερού διαμέτρου 1 μέτρου

Κατά την διάρκεια της επέκτασης, η σωλήνωση ρυμουλκείται στην περιοχή και ευθυγραμμίζεται σύμφωνα με την διαδρομή της σωλήνωσης στον σχεδιασμό. Στην άκρη της επιπλέουσας σωλήνωσης στην ακτή συνδέεται με ένα σύνολο αντλιών. Ενώ η σωλήνωση σύρεται από τις φορηγίδες με προσχεδιασμένες ταχύτητες και κατευθύνσεις, το νερό αντλείται στη σωλήνωση στην ακτή. Το μη πλημμυρισμένο τμήμα της σωλήνωσης που επιπλέει, υποστηρίζει το βαρύ πλημμυρισμένο τέλος σε κάθε δεδομένο σημείο και η σωλήνωση παίρνει μία μορφή S. Με την προσεκτική παρακολούθηση της έλξης της σωλήνωσης, της εσωτερικής πίεσης, της διανομής του βάρους, της θερμοκρασίας και του χρόνου εγκατάστασης η σωλήνωση μπορεί να τοποθετηθεί με ασφάλεια στον βυθό σε βάθη μέχρι και πάνω από χίλια (1000) μέτρα. Η ευθυγράμμιση και η 'πλημμύρα' μιας σωλήνωσης μήκους ενός μιλίου μπορεί να ολοκληρωθεί μέσα σε μία μέρα.

Όπως κάποιος μπορεί να φανταστεί, το προσεκτικό σχέδιο επέκτασης και ο λεπτομερής προγραμματισμός είναι κρίσιμοι για την επιτυχία και την εγκατάσταση μιας σωλήνωσης σε βαθιά νερά. Ο ανάδοχος επέκτασης πρέπει να προμελετήσει όλα τα πιθανά προβλήματα και να προετοιμαστεί για οποιαδήποτε έκτακτη ανάγκη. Επομένως, η εμπειρία στο σχεδιασμό και την επέκταση ενός τέτοιου προγράμματος απαιτεί την καλύτερη και την πιο πεπειραμένη εταιρία εγκατάστασης. Η εταιρία αυτή πρέπει να αντιπροσωπεύει την εμπειρία και να κατέχει την απαραίτητη πείρα να σχεδιάσει με αξιοπιστία και να επεκτείνει τις σωληνώσεις κρύου νερού μεγάλων διαμέτρων που είναι απαραίτητες για την επιτυχή εφαρμογή ενός συστήματος OTEC.

2.4 Στρόβιλοι

Για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια, πρέπει το ατμοποιημένο υγρό λειτουργίας (π.χ. η αμμωνία) να οδηγηθεί από τον ατμοποιητή σε έναν στρόβιλο χαμηλής πίεσης που με την σειρά του συνδέεται με μια γεννήτρια. Ο σχεδιασμός της γεννήτριας δεν είναι μια σημαντική ανησυχία, δεδομένου ότι μπορεί να είναι ένας συγκεκριμένος τύπος. Ο στρόβιλος απαιτεί κάποια προσοχή, επειδή δεν υπάρχει κανένας στρόβιλος κινούμενος με αμμωνία σε εμπορική λειτουργία, και κανένας στρόβιλος, οποιουδήποτε είδους, με την απαιτούμενη χωρητικότητα (10 MWe ή περισσότερο) που λειτουργεί σε τόσο χαμηλή πίεση. Οι αρχές του σχεδιασμού στροβίλων, εντούτοις, είναι ευρέως γνωστές και μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι εγκαταστάσεις κατασκευής και ο εξοπλισμός τυπικού στροβίλου. Λόγω της χαμηλής πίεσης (150psi

ή λιγότερο) και της χαμηλής θερμοκρασίας, θα υπάρξει λίγη παραπάνω πίεση στα τμήματα στροβίλων σε σχέση με την πίεση που ασκείται σε έναν κανονικό στρόβιλο ατμού.

Οι βασικοί τύποι στροβίλων είναι: i) αξονικής ροής (η ροή της αμμωνίας είναι παράλληλη στον άξονα του στροβίλου) και ii) ακτινωτής εισροής (η αμμωνία εισάγεται στην περιφέρεια του στροβίλου και βγαίνει κατά μήκος του άξονα). Μελέτες των σχεδίων έχουν δείξει ότι τα καλύτερα επίπεδα απόδοσης έχουν οι στρόβιλοι αξονικής ροής ενώ για τον τύπο της ακτινωτής εισροής είναι αρκετά χαμηλότερα, γι' αυτό και οι στρόβιλοι αξονικής ροής είναι οι προτεινόμενοι για τις εγκαταστάσεις OTEC. Για τους στρόβιλους αξονικής ροής η επιλογή είναι μεταξύ των τύπων μονής και διπλής ροής. Σε έναν στρόβιλο μονής ροής ο ατμός εισάγεται από το ένα άκρο και εξέρχεται από το άλλο, με συνέπεια την άσκηση σημαντικής πίεσης στο ρουλεμάν ώθησης. Στον τύπο διπλής ροής, ο ατμός εισάγεται στο κέντρο, περνά μέσα από τον στρόβιλο, και εξέρχεται από το άκρο. Αυτό εξαλείφει οποιαδήποτε καθαρή πίεση στα ρουλεμάν ώθησης και θα παρέχει πιθανώς την υψηλότερη απόδοση.

Ο στρόβιλος απαιτεί προσεκτική ανάλυση και επιλογή υλικών. Παραδείγματος χάριν, η αμμωνία δεν είναι συμβατή με τα υλικά που περιέχουν το χαλκό. Τα άλλα δύο υποψήφια υγρά λειτουργίας, το προπάνιο και το R12/31, δεν έχουν κανένα πρόβλημα συμβατότητας υλικών, εκτός από το ότι το προπάνιο δεν είναι κατάλληλο για ορισμένα πλαστικά. Καθένα από τα υποψήφια υγρά λειτουργίας απαιτεί και μια διαφορετική διάμετρο στροβίλων και ταχύτητα αξόνων. Η αμμωνία απαιτεί μικρότερη διάμετρο για να προσαρμόσει τις υψηλές λειτουργικές ταχύτητες αξόνων, ενώ το R12/31 απαιτεί μεγαλύτερη διάμετρο στροβίλων για να προσαρμόσει τις χαμηλότερες ταχύτητες αξόνων.

2.5 Αντλίες για τις διάφορες εφαρμογές OTEC

Απαιτούνται τρεις ηλεκτρικές αντλίες για εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας OTEC: μία αντλία θερμού νερού, μια αντλία κρύου νερού, και μια αντλία σταθερής πίεσης για το υγρό λειτουργίας. Η αντλία του υγρού λειτουργίας μοιάζει με μια αντλία τροφοδοσίας λέβητα. Θα απαιτηθεί από τις αντλίες θαλάσσιου νερού των εγκαταστάσεων OTEC να κινήσουν μεγάλους όγκους νερού (περίπου 38 εκατομμύρια λίτρα το λεπτό για εγκαταστάσεις 100 MWe), θα μετακινήσουν το νερό μόνο μερικά μέτρα από την κεφαλή, και η συναρμολογούμενη κατασκευή των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας θα μπορούσε κάπως να μειώσει την ικανότητα άντλησης για κάθε μεμονωμένη αντλία.

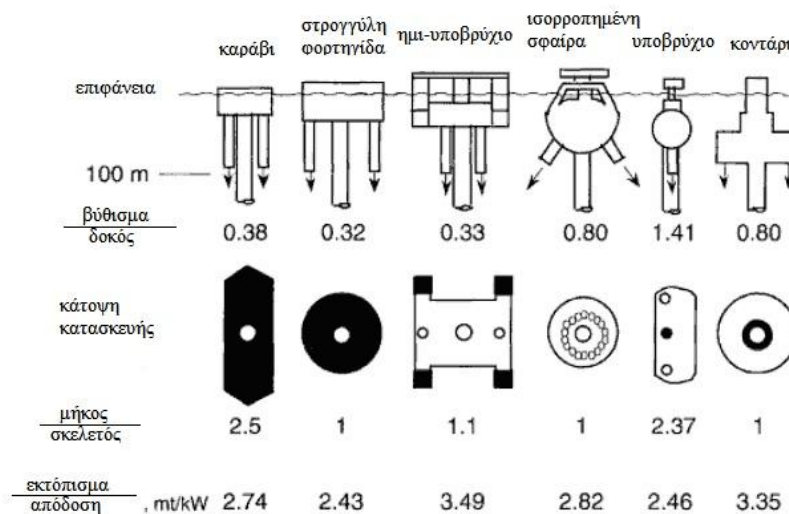
Εντούτοις, περίπου το 25 με 30% της ακαθάριστης παραγωγής ενέργειας των εγκαταστάσεων OTEC θα καταναλωθεί για την άντληση θαλάσσιου νερού. Η άντληση αμμωνίας και άλλα φορτία υπηρεσιών θα καταναλώσουν άλλα 10 με 15%, έτσι από μία ακαθάριστη παραγωγή 140 MWe θα παραδοθεί στους χρήστες καθαρή ενέργεια 100 MWe. Βάση της συνολικής απόδοσης του 2,5%, σημαίνει ότι κατά προσέγγιση θα απαιτούνταν ένας εναλλάκτης θερμότητας 400MWe.

2.6 Πλατφόρμες

Υπάρχουν διάφορες επιλογές πλατφορμών για τις εγκαταστάσεις OTEC. Αυτές περιλαμβάνουν παράκτιες κατασκευές, κατασκευές τοποθετημένες σε

υφαλοκρηπίδες και σε πλωτές κατασκευές. Κάθε μια από τις πιθανές πλατφόρμες προσφέρει στο σχεδιαστή των συστημάτων ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για την κάλυψη των περιβαλλοντικών απαιτήσεων μιας συγκεκριμένης περιοχής και για την προσαρμογή όλων των σημαντικών στοιχείων ενός συστήματος OTEC: την εγκατάσταση παραγωγής, τους αγωγούς εισαγωγής και απόρριψης κρύου και θερμού νερού, τους κυκλοφορητές, και το σύστημα ενεργειακής χρήσης ή μετάδοσης.

Οι κατασκευές που απαιτούνται για να στεγάσουν τον εξοπλισμό OTEC στον ανοικτό ωκεανό μπορούν να είναι στατικές πλατφόρμες συνδεδεμένες στο θαλάσσιο πυθμένα ή αγκυροβολημένες πλωτές πλατφόρμες ή τοποθετημένοι δυναμικά σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Έχουν μελετηθεί πολλοί σχηματισμοί, συμπεριλαμβανομένων των ημι-πλωτών μορφών, πασαλοειδών σημαντήρων, μορφών πλοίου και των δισκοειδών μορφών.



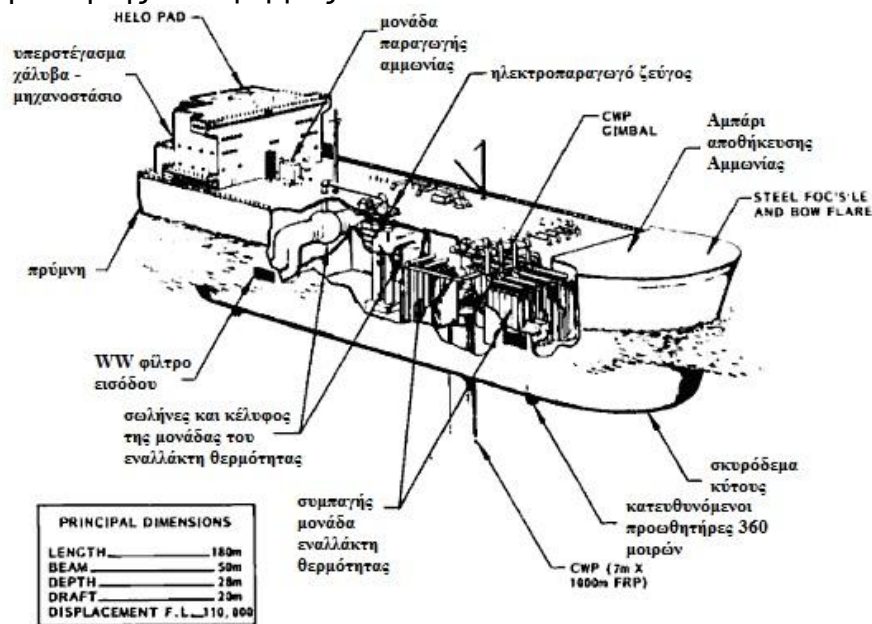
Σχήμα 2.6(α): Τύποι αγκυροβολημένων πλατφόρμων

Είναι αναμενόμενο ότι οι πλατφόρμες OTEC μπορούν να είναι αρκετά μεγαλύτερες από οποιαδήποτε πλατφόρμα που έχει σχεδιαστεί για τη βιομηχανία πετρελαίου. Τα σχέδια και τα επιτεύγματα της βιομηχανίας πετρελαίου θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των κατασκευών OTEC. Μερικές πλατφόρμες παραγωγής και αποθήκευσης πετρελαίου στην Βόρεια Θάλασσα προσεγγίζουν το κατάλληλο μέγεθος για τις πλατφόρμες OTEC αποκλειστικά για τον σωλήνα κρύου νερού, για τα συστήματα πρόσδεσης και τις γραμμές μεταφοράς.

Το σημαντικότερο τεχνικό πρόβλημα που πρέπει να εξεταστεί στο σχεδιασμό της πλατφόρμας είναι η δύσκολη σύνδεσης μιας βαριάς βυθισμένης κατασκευής (του σωλήνα κρύου νερού) με μια πλατφόρμα επιφάνειας που υποβάλλεται στη δράση κυμάτων. Τα πρώτα πειράματα με πολύ μικρές πλωτές κατασκευές οδηγήθηκαν στην αποτυχία και στην απώλεια των σωλήνων κρύου νερού. Οι ημι-βυθισμένες ή εντελώς βυθισμένες πλατφόρμες μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τη δυναμική ενέργεια, αλλά η δυναμική κατασκευή των πλωτών πλατφορμών και των σωλήνων κρύου νερού εμφανίζονται να είναι το κυρίαρχο τεχνικό πρόβλημα.

Ένας άλλος δύσκολος στόχος είναι να διατηρηθεί η πλατφόρμα στον ανοικτό ωκεανό όπου μπορεί να υπόκειται σε ισχυρούς ανέμους, κύματα, ρεύματα, κ.λ.π. Η πρόσδεση μιας πλατφόρμας του μεγέθους που απαιτείται για τις εγκαταστάσεις OTEC στα πολύ μεγάλα θαλάσσια βάθη θα ήταν ένα δύσκολο πρόβλημα

εφαρμοσμένης μηχανικής που απαιτεί εξαιρετικά σχέδια και υλικά. Η δυναμική διατήρηση θέσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αλλά μπορεί να απαιτήσει μεγάλα ποσά δύναμης ακόμη και σε μέτρια ωκεάνια ρεύματα. Το θερμό και κρύο νερό που πρέπει να εκτιναχθεί από τα μηχανήματα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να καθοριστεί η θέση της πλατφόρμας.

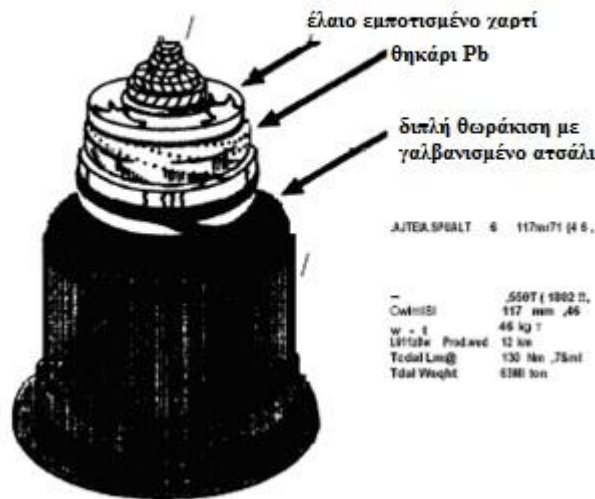


Σχήμα 2.6.(β): Πλωτή εγκατάσταση τύπου πλοίου

2.7 Υποβρύχιες γραμμές μεταφοράς

Η αξιοπιστία των υποβρύχιων γραμμών μεταφοράς που θα απαιτούνταν για να μεταφερθεί η ηλεκτρική ενέργεια, που παράγεται στις εγκαταστάσεις OTEC, στην ακτή θα είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την επιτυχία οποιασδήποτε εγκατάστασης OTEC παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Εντούτοις, αυτές οι γραμμές παρουσιάζουν ένα ιδιαίτερο πρόβλημα λόγω του περιορισμένου υψηλού επιπέδου τεχνικής των υποβρυχίων καλωδίων.

Το κόστος της μεταφερόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην ακτή επηρεάζεται σημαντικά από την απόσταση που πρέπει να καλυφτεί με καλώδια και το γεγονός ότι πρέπει να υπάρχουν διάφορα καλώδια με διαφορετικές κατευθύνσεις στην ακτή προκειμένου να εξασφαλιστεί αξιοπιστία. Το κόστος ενός ενιαίου καλωδίου θα μπορούσε να είναι ίσο με το κύριο κόστος της εγκατάστασης OTEC. Στις επίγειες εγκαταστάσεις λιγνίτη και πυρηνικής ενέργειας η κατασκευή του καλωδίου μεταφοράς είναι κατά προσέγγιση 12% του συνολικού κόστους κατασκευής.



Σχήμα 2.7: Ηλεκτρικό καλώδιο

Επιπροσθέτως η κατασκευή του ηλεκτρικού καλωδίου που συνδέει την εγκατάσταση OTEC με το υποβρύχιο καλώδιο θα είναι δύσκολη και θα πρέπει η σύνδεση και η αποσύνδεση της εγκατάστασης OTEC με τα καλώδια, εφόσον χρειαστεί, να γίνεται με μέθοδο που θα αποφεύγονται τυχόν προβλήματα λόγω των ισχυρών κυμάτων και των ανέμων.

2.8 Συστήματα οργάνων και ελέγχου

Αναμένεται να χρησιμοποιηθούν τα συνηθισμένα όργανα των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας για την παρακολούθηση και τον έλεγχο ενός συστήματος OTEC. Οι απαιτήσεις για τα όργανα μέτρησης και ελέγχου των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας δεν θα περιλάβουν ένα ιδιαίτερα σύνθετο μηχανολογικό στόχο ή μεγάλες δαπάνες για επανδρωμένες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Οι, χωρίς προσωπικό, πλήρως αυτόματες εγκαταστάσεις OTEC, όπως έχουν προταθεί από μερικούς ερευνητές, επιβάλλουν πρόσθετες απαιτήσεις, όπως συστήματα τηλεμετρίας για παρακολούθηση εξ αποστάσεως όλων των διαδικασιών.

Οι πυρηνικές εγκαταστάσεις και οι εγκαταστάσεις ορυκτών καυσίμων παραγωγής ενέργειας έχουν τα συστήματα ελέγχου που ρυθμίζουν τον ανεφοδιασμό καυσίμων ως συνάρτηση της απαίτησης ισχύος από το σύστημα ηλεκτρικών δικτύων. Για εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας OTEC, η ενέργεια είναι συνάρτηση της διαθέσιμης κλίσης θερμοκρασίας, και αυτό μπορεί να αλλάξει ως συνάρτηση πολλών παραγόντων. Κατά συνέπεια, ένας πρόσθετος έλεγχος μπορεί να απαιτηθεί για να ταιριάζει με τη διαθέσιμη θερμική ενέργεια, με την απαίτηση για ενέργεια και την ικανότητα παραγωγής ενέργειας των εγκαταστάσεων.

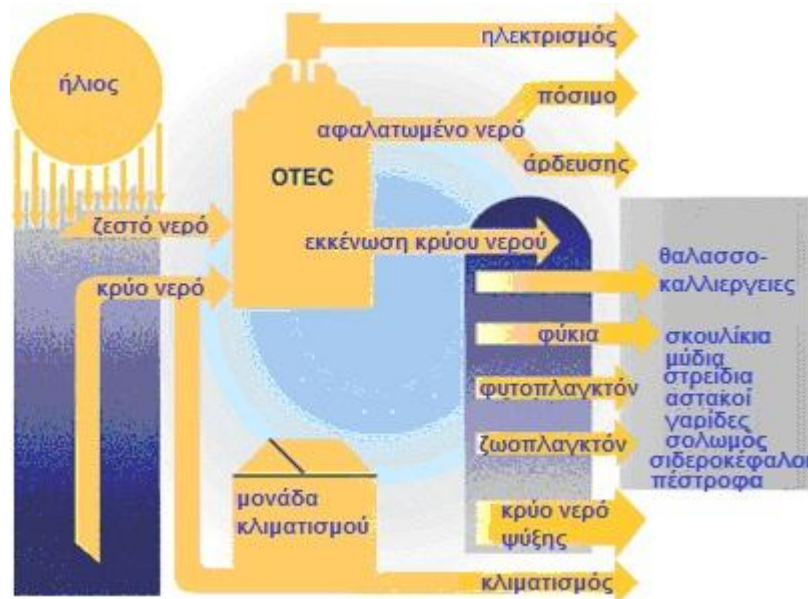
Τα όργανα μέτρησης χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της παραγωγής, της τάσης, της συχνότητας και τις θερμοκρασίες σε διάφορες θέσεις στους εναλλάκτες θερμότητας και στα συστήματα θερμού και κρύου νερού. Η μέτρηση της σύνθεσης των ρευστών σε διάφορες θέσεις θα ήταν απαραίτητη για να ανιχνευθούν διαρροές ή οι αιτίες τυχόν ακαθαρσιών. Θα υπάρχει επίσης ανάγκη για διαγνωστικές μετρήσεις για να προβλεφθούν οι δυσλειτουργίες και να μειωθούν οι διαδικασίες συντήρησης.

Οι εγκαταστάσεις ΟΤΕC απαιτούν μια εξωτερική παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για την εκκίνηση. Η αντλία θερμού νερού και η αντλία κρύου νερού πρέπει να ενεργοποιηθούν και να λειτουργήσουν έως ότου παραχθεί αρκετός ατμός για να παράγει την ισχύ. Κατά συνέπεια, ένα σύστημα ελέγχου πρέπει να θεωρηθεί για να επιτρέψει την ενέργεια εκκίνησης. Όταν η εσωτερική δύναμη είναι διαθέσιμη το σύστημα ελέγχου πρέπει να μεταπηδήσει από την εξωτερική δύναμη στην εσωτερική δύναμη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Εφαρμογές

Τα ωκεάνια θερμικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής (ΟΤΕC) έχουν πολλές εφαρμογές και χρήσεις. Τα συστήματα ΟΤΕC μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια, να αφαλατωθεί το νερό, να υποστηρίξουν σε βαθιά νερά τις υδατοκαλλιέργειες, να παρέχουν ψύξη και κλιματισμό καθώς επίσης και να ενισχύσουν την συγκομιδή και την εξαγωγή ορυκτών. Αυτά τα συμπληρωματικά προϊόντα καθιστούν τα συστήματα ΟΤΕC ελκυστικά στη βιομηχανία και στις νησιωτικές κοινότητες ακόμα και αν η τιμή του πετρελαίου παραμένει χαμηλή.



Σχήμα 3.1: Εφαρμογές ΟΤΕC

Τα συστήματα ΟΤΕC μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή μεθανόλης, αμμωνίας, υδρογόνου, αργιλίου, χλωρίου και άλλων χημικών ουσιών. Οι επιπλέον εγκαταστάσεις ΟΤΕC που παράγουν αυτά τα προϊόντα δεν θα απαιτούσαν ένα καλώδιο κινητήριας δύναμης, και οι δαπάνες διατήρησης της θέσης τους θα μειώνονταν.

3.1.1 Υδατοκαλλιέργειες

Το νερό της θάλασσας που χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις ΟΤΕC είναι κρύο, πλούσιο σε θρεπτικές ουσίες, χωρίς παθογόνα και διαθέσιμο σε μεγάλες ποσότητες. Είναι ένα άριστο περιβάλλον για την ανάπτυξη φυτοπλαγκτόν και μικροφυκιών, τα οποία παρέχουν τροφή σε εμπορεύσιμα ψάρια και οστρακόδερμα. Μια εγκατάσταση ΟΤΕC μπορεί να είναι μέρος μιας καλλιεργήσιμης λειτουργίας που συνδυάζει την παραγωγή της πρωτεΐνης και της ενέργειας. Ένα φύκι που χρησιμοποιήθηκε για να τύλιγμα του σούσι (nori) αυξήθηκε επιτυχώς στα πειράματα στο φυσικό ενεργειακό εργαστήριο της Χαβάης (NELHA). Χρησιμοποιώντας το φυτοπλαγκτόν και το φύκι

κείρ, οι ερευνητές στο NELHA έχουν αυξήσει το σολομό, την πέστροφα, τους αστακούς, τα στρείδια, τα γιγαντιαία μαλάκια με καλά έως εξαιρετικά αποτελέσματα.



Σχήμα 3.1.1: Δεξαμενές υδατοκαλλιέργειας στην Χαβάη

Η μεγάλη και σταθερή ροή του νερού που αντλείται από τις εγκαταστάσεις OTEC θα μειώσει την ασθένεια και τη μόλυνση στις δεξαμενές με αποτέλεσμα η θαλάσσια ζωή να μπορεί να αυξηθεί με ταχείς ρυθμούς. Επιπλέον, το κρύο νερό μπορεί να αναμιχθεί με το θερμό νερό της επιφάνειας, επιτρέποντας στις τοπικές κοινότητες να καλλιεργήσουν ποικιλία ειδών. Τέτοια ενοποίηση των διαδικασιών θα μετρίαζε το μεγάλο κόστος άντλησης του νερού της θάλασσας που συνδέεται με την υδατοκαλλιέργεια και θα αύξανε το εισόδημα για τις εγκαταστάσεις OTEC.

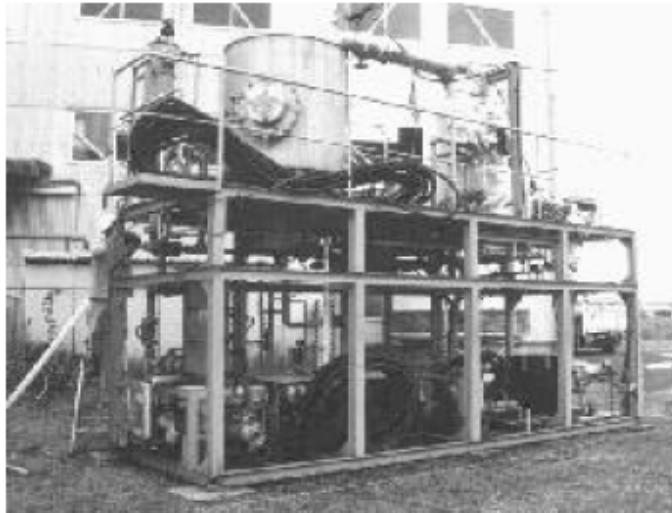
Οι εγκαταστάσεις καλλιέργειας θαλάσσιων οργανισμών είναι καταλληλότερες για τις επίγειες ή για τις κοντινές στην ακτή παρά για τις παράκτιες εγκαταστάσεις OTEC. Στις επίγειες ή στις εγκαταστάσεις κοντά στην ακτή, το κρύο νερό μπορεί να αντληθεί σε δεξαμενές ή στις λιμνοθάλασσες όπου οι περιβαλλοντικές συνθήκες μπορούν να ελεγχθούν ευκολότερα.

3.1.2 Αφαλατωμένο νερό

Το αφαλατωμένο νερό μπορεί να παραχθεί σε εγκαταστάσεις ανοικτού ή υβριδικού κύκλου χρησιμοποιώντας συμπυκνωτές επιφανείας. Σε έναν συμπυκνωτή επιφανείας, ο χρησιμοποιημένος ατμός συμπυκνώνεται από την έμμεση επαφή με το κρύο νερό της θάλασσας. Αυτό το συμπύκνωμα είναι σχετικά χωρίς ακαθαρσίες και μπορεί να συλλεχθεί και να πωληθεί στις τοπικές κοινότητες όπου οι προμήθειες φυσικού νερού για τη γεωργία ή την πόση είναι περιορισμένες. Η ανάλυση συστημάτων αποδεικνύει ότι εγκαταστάσεις 2 MW θα μπορούσαν να παράγουν περίπου 4300 κυβικά μέτρα αφαλατωμένου νερού καθημερινά.

Οι μεγάλοι συμπυκνωτές επιφανείας που απαιτούνται για να συμπυκνώσουν την συνολική ροή του ατμού αυξάνουν το μέγεθος και το κόστος των εγκαταστάσεων ανοικτού κύκλου. Ένας συμπυκνωτής επιφανείας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ανακτήσει μέρος του ατμού στον κύκλο και για να μειώσει το συνολικό μέγεθος των εναλλακτών θερμότητας. Το υπόλοιπο του ατμού μπορεί να περάσει μέσω των λιγότερο δαπανηρών και αποδοτικότερων συμπυκνωτών άμεσης επαφής. Ένας

δευτέρου επιπέδου συμπυκνωτής άμεσης επαφής συγκεντρώνει τα μη αγώγιμα αέρια και τον καθιστούν ικανό να χρησιμοποιήσει ένα μικρότερο σύστημα εξάτμισης, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο την καθαρή ισχύ των εγκαταστάσεων.

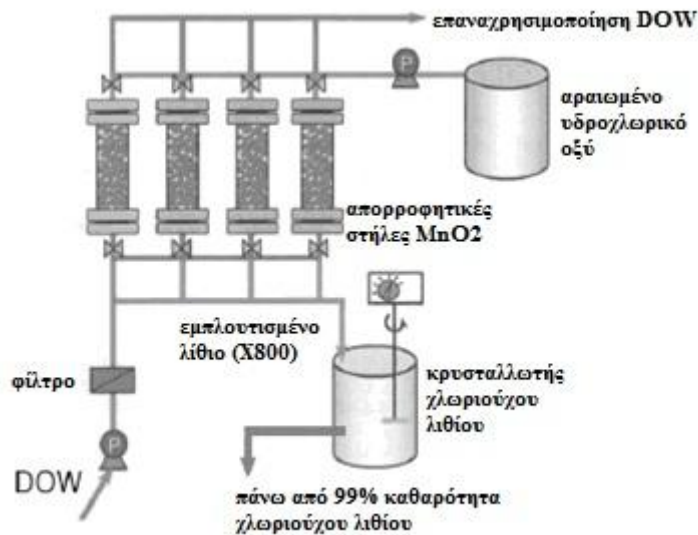


Σχήμα 3.1.2: Εγκατάσταση αφαλάτωσης

Ένας τρόπος να παραχθούν μεγάλες ποσότητες αφαλατωμένου νερού χωρίς αύξηση του κόστους ενός στροβίλου ανοικτού κύκλου είναι να χρησιμοποιηθεί ένα υβριδικό σύστημα. Σε ένα υβριδικό σύστημα, το αφαλατωμένο νερό παράγεται από την αστραπιαία κενή απόσταξη και η ισχύς παράγεται από έναν βρόχο κλειστού κύκλου.

3.1.3 Εξαγωγή ορυκτών

Δεν χρησιμοποιείται ακόμα η πλήρη δυνατότητά της τεχνολογίας OTEC που θα μπορούσε να επιτρέψει σε 57 στοιχεία του ωκεάνιου νερού των ορυχείων να διαλυθούν ολοκληρωτικά. Στο παρελθόν, οι περισσότερες οικονομικές αναλύσεις έδειχναν ότι η μεταλλεία του ωκεανού για ιχνοστοιχεία που διαλύονται ολοκληρωτικά θα ήταν ασύμφορη επειδή απαιτείται πολλή ενέργεια για να αντληθεί ο μεγάλος όγκος του νερού που απαιτείται και επειδή είναι πολύ ακριβό να χωριστούν τα μεταλλεύματα από το νερό της θάλασσας. Εντούτοις, επειδή οι εγκαταστάσεις OTEC αντλούν ήδη το νερό με μικρό κόστος, το μόνο πρόβλημα που πρέπει να λυθεί είναι το κόστος της διαδικασίας εξαγωγής. Οι Ιάπωνες άρχισαν πρόσφατα να ερευνούν την ιδέα του συνδυασμού της εξαγωγής του ουράνιου που διαλύθηκε στο νερό της θάλασσας με την τεχνολογία της κυματικής ενέργειας. Διαπίστωσαν ότι οι εξελίξεις σε άλλες τεχνολογίες (ειδικά στις επιστήμες υλικών) βελτίωναν τη βιωσιμότητα των διαδικασιών της εξαγωγής των ορυκτών που χρησιμοποιούν ωκεάνια ενέργεια.



Σχήμα 3.1.3: Εξαγωγή Λιθίου

3.1.4 Ψύξη και κλιματισμός

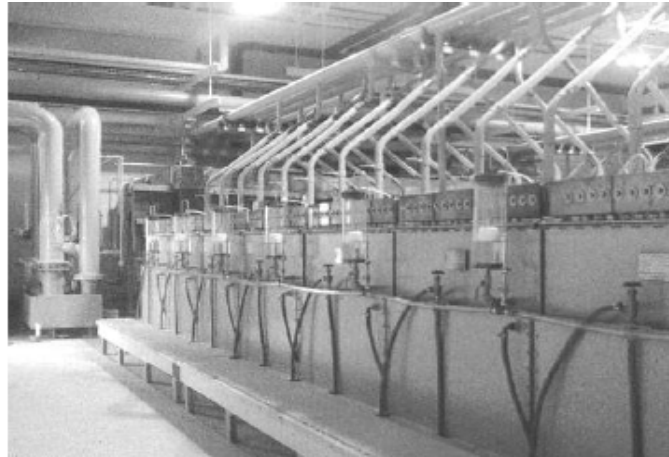
Το κρύο νερό της θάλασσας (5°C/41°F) που παρέχεται από ένα σύστημα OTEC δημιουργεί την δυνατότητα να εφοδιαστούν με μεγάλα ποσά ψύξης οι εργασίες που συσχετίζονται με τις εγκαταστάσεις. Σολομοί, αστακοί, φυτώρια, πέστροφες, στρείδια και μαλάκια, που δε είναι γηγενή στα τροπικά νερά, αλλά που μπορούν να αναπτυχθούν σε λίμνες που δημιουργήθηκαν από το αντλούμενο νερό των εγκαταστάσεων OTEC. Αυτό θα επεκτείνει την ποικιλία των θαλάσσιων προϊόντων για τις κοντινές αγορές. Επιπλέον, η χαμηλού κόστους ψύξη που παρέχεται από το κρύο νερό της θάλασσας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναβαθμίσει ή να διατηρήσει την ποιότητα των γηγενών ψαριών, τα οποία τείνουν να χαλάσουν ποιοτικά στις θερμές τροπικές περιοχές.

Το κρύο νερό της θάλασσας που μεταφέρεται στις εγκαταστάσεις OTEC μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους έλικες ψυχρού νερού για να παρέχει τον κλιματισμό για τα κτήρια. Υπολογίζεται ότι σωλήνες διαμέτρου 0.3 μέτρων μπορούν να διανέμουν 0,08 κυβικά μέτρα νερού ανά δευτερόλεπτο. Εάν παραλαμβάνεται νερό θερμοκρασίας 6° C μέσω ενός τέτοιου σωλήνα, θα μπορούσε να παρέχει περισσότερο κλιματισμό από αυτόν που χρειάζεται ένα μεγάλο κτήριο. Εάν αυτό το σύστημα λειτουργεί 8000 ώρες ετησίως και η τοπική ηλεκτρική ενέργεια πωλείται για 5¢-10 ανά κιλοβατώρα (KWH), θα εξοικονομεί \$200.000-\$400.000 στους ενεργειακούς λογαριασμούς ετησίως (U.S. DOE).

3.1.5 Παραγωγή υδρογόνου

Έχουν εξεταστεί διάφορα μέσα ενεργειακής μεταφοράς και διανομής από τις εγκαταστάσεις που επεκτείνονται σε όλους τους τροπικούς ωκεανούς. Η ενέργεια που παράγεται στις εγκαταστάσεις OTEC θα μπορούσε να μεταφερθεί μέσω των ηλεκτρικών, χημικών, θερμικών και ηλεκτροχημικών μεταφορέων. Η τεχνική αξιολόγηση των μη ηλεκτρικών μεταφορέων οδηγεί στην εκτίμηση ότι το υδρογόνο παράγεται χρησιμοποιώντας την ηλεκτρική ενέργεια και το αφυαττωμένο νερό

παράγεται με την τεχνολογία OTEC. Το προϊόν θα μεταφερόταν, από τις πλωτές εγκαταστάσεις OTEC που βρίσκονται σε αποστάσεις 1.600 χλμ (που επιλέγονται για να αντιπροσωπεύσουν την ονομαστική απόσταση από τους τροπικούς ωκεανούς σε σημαντικά βιομηχανικά κέντρα σε όλο τον κόσμο) σε λιμάνια, με υγρή μορφή που χρησιμοποιείται πρωτίστως ως καύσιμο μεταφορών.



Σχήμα 3.1.5: Παραγωγή υδρογόνου

Μια πλωτή εγκατάσταση 100 MW μπορεί να διαμορφωθεί για να παράγει (από την ηλεκτρόλυση) 1300 κιλά ανά ώρα υγρού υδρογόνου. Δυστυχώς, το κόστος παραγωγής του υγρού υδρογόνου που παραδίδεται στο λιμάνι θα ήταν ισοδύναμο με ένα βαρέλι ακατέργαστου λαδιού αξίας \$250. Η κατάσταση είναι παρόμοια για τους άλλους ενεργειακούς μεταφορείς. Προς το παρόν, ο μόνος ενεργειακός μεταφορέας που είναι οικονομικά πιο αποδοτικός για την ενέργεια OTEC είναι το υποβρύχιο καλώδιο τροφοδοσίας. Αυτή η κατάσταση μπορεί να είναι διαφορετική εάν το εξωτερικό κόστος αντιπροσώπευε την ενεργειακή παραγωγή και κατανάλωση.

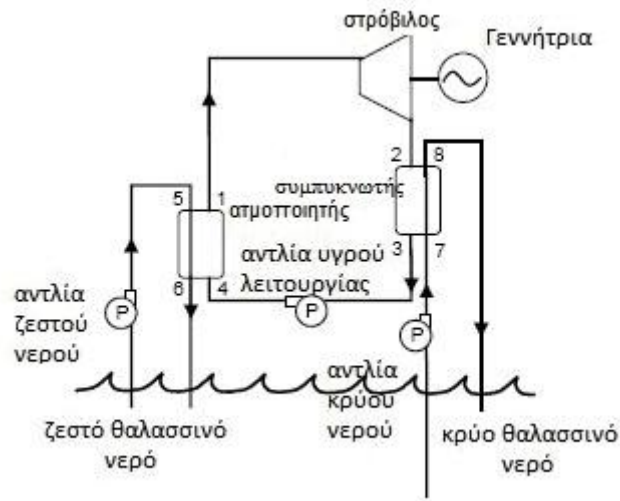
3.2 Εφαρμογή μιας εγκατάστασης SOTEC 100 kWe

3.2.1 Περιγραφή συστήματος και κύκλου λειτουργίας SOTEC

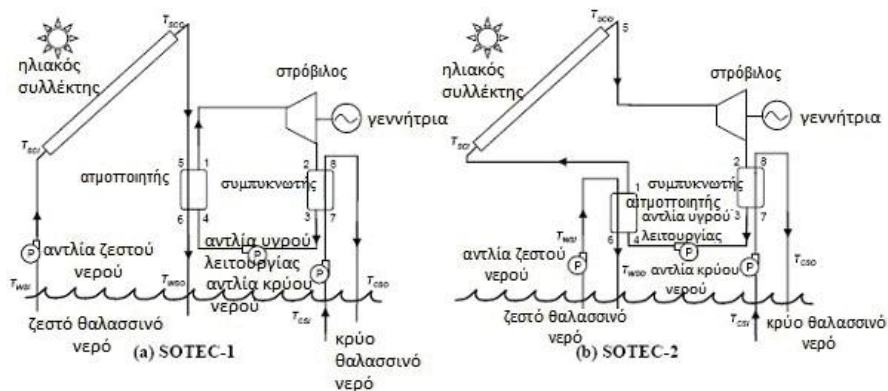
Τα Σχ. 3.2.1(α) και (β) παρουσιάζουν σχηματικές αναπαραστάσεις των συνηθισμένων εγκαταστάσεων OTEC κλειστού κύκλου και των προτεινόμενων εγκαταστάσεων SOTEC. Παρουσιάζουν την γενική ρύθμιση των εναλλακτών θερμότητας, των αντλιών, των σωληνώσεων, της γεννήτριας στροβίλων, και του ηλιακού συσσωρευτή. Σε αυτή την προσομοίωση ο ηλιακός συσσωρευτής εγκαθίσταται σε δύο σχηματισμούς. Στην περίπτωση του SOTEC-1, το θερμό θαλάσσιο νερό είναι θερμαινόμενο από τον ηλιακό συσσωρευτή όπως φαίνεται στο Σχ. 3.2.1(βi), ενώ στην περίπτωση του SOTEC-2, το υγρό λειτουργίας μετά από τον εξατμιστήρα θερμαίνεται από τον ηλιακό συσσωρευτή όπως φαίνεται στο Σχ. 3.2.1(βii). Λαμβάνοντας υπόψιν έναν ιδανικό κύκλο Rankine καθορίζουμε τη θεωρητική θερμική αποδοτικότητα του κύκλου Rankine. Το αντίστοιχο T - s διάγραμμα παρουσιάζεται στο Σχ.3.2.1(γ).

Εδώ, TE είναι η θερμοκρασία εξάτμισης, TC η θερμοκρασία συμπύκνωσης, $TWSI$ η θερμοκρασία εισόδου του θερμού θαλάσσιου νερού, $TWSO$ η θερμοκρασία εξόδου του θερμού θαλάσσιου νερού, $TCSI$ η θερμοκρασία εισόδου του κρύου θαλάσσιου

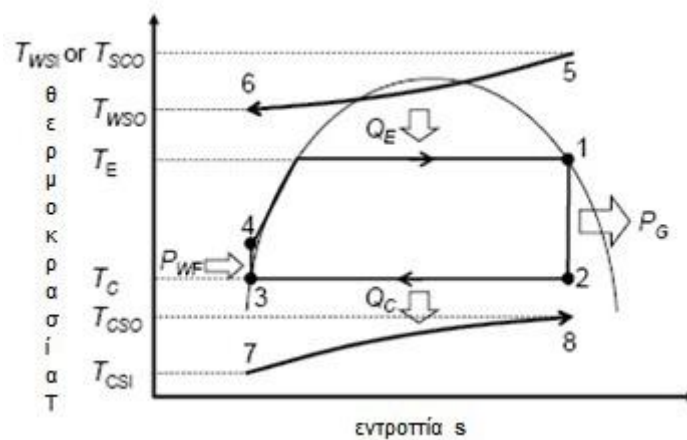
νερού, T_{CSO} η θερμοκρασία εξόδου του κρύου θαλάσσιου νερού θερμοκρασία, T_{SCO} η θερμοκρασία εξόδου των ηλιακών συσσωρευτών, Q_E ο ρυθμός ροής θερμότητας στον ατμοποιητή, και Q_C ο ρυθμός ροής θερμότητας στο συμπυκνωτή.



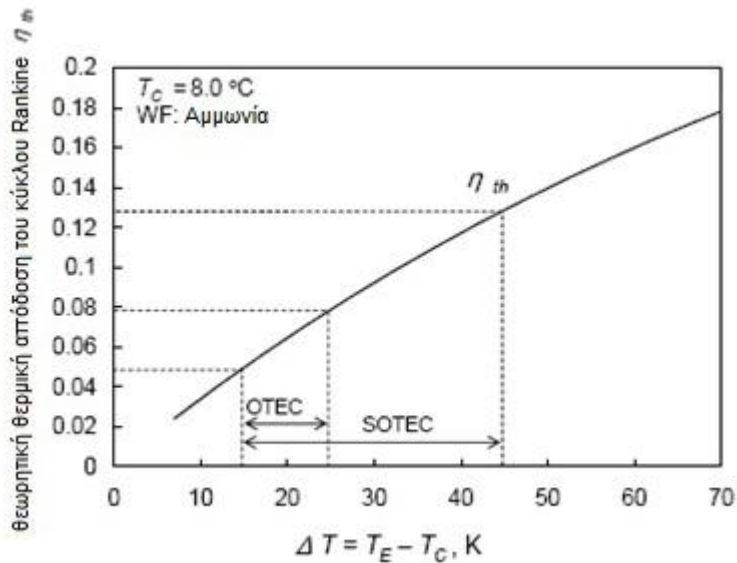
Σχήμα 3.2.1(α): Τα περιεχόμενα ενός κοινού OTEC κλειστού κύκλου Rankine και η διαρρύθμισή τους.



Σχήμα 3.2.1(β): Τα περιεχόμενα του προτεινόμενου SOTEC και η διαρρύθμισή τους.

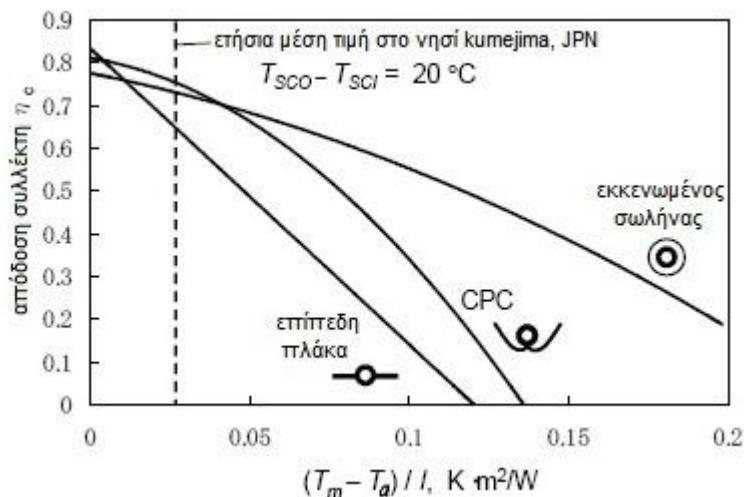


Σχήμα 3.2.1(γ): Διάγραμμα T-s του κλειστού κύκλου Rankine.



Σχήμα 3.2.1(δ): Θεωρητική θερμική αποδοτικότητα του κορεσμένου κύκλου Rankine της λειτουργικής διακύμανσης της θερμοκρασίας ΔT του OTEC και του SOTEC.

Το Σχ. 3.2.1(δ) παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ της θεωρητικής θερμικής αποδοτικότητας του κύκλου Rankine και της θερμοκρασιακής διαφοράς $\Delta T = T_E - T_C$. Το συμβατικό OTEC έχει ΔT μεταξύ 15 K και 25 K, έτσι ώστε η μέγιστη θεωρητικά θερμική αποδοτικότητα να είναι περίπου 8%. Εάν ο ηλιακός συσσωρευτής μπορεί πρόσθετα να αυξήσει το T_E κατά 20 K στο SOTEC, κατόπιν η θερμική αποδοτικότητα του SOTEC μπορεί να βελτιωθεί μέχρι 13%, και η πίεση εισόδου των στροβίλων να αυξηθεί μέχρι 2.3 MPa.



Σχήμα 3.2.1 (ε): Αποδοτικότητα του συλλέκτη επίπεδου πιάτου, του σωλήνα εκκένωσης και του CPC ηλιακού συλλέκτη.

Το Σχ. 3.2.1(ε) παρουσιάζει τις καμπύλες αποδοτικότητας του χαρακτηριστικού επίπεδου ηλιακού συσσωρευτή τύπου πιάτου, του σωλήνα εκκένωσης και του σύνθετου παραβολικού συμπυκνωτή (CPC). Αυτοί οι συλλέκτες χρησιμοποιούνται τυπικά για την οικιακή θέρμανση νερού και το κόστος τους είναι πολύ χαμηλότερο από τους ηλιακούς συλλέκτες συγκέντρωσης υψηλής θερμοκρασίας λόγω της μαζικής παραγωγής.

Οι μέσες ετήσιες αποδοτικότητες συλλογής αυτών των ηλιακών συλλεκτών υπολογίστηκαν να είναι υψηλές (περίπου 65% με 75% στην περίπτωση SOTEC-1) για τις καιρικές συνθήκες στο νησί Kumejima κοντά στο νησί Okinawa στην Ιαπωνία, η οποία είναι η προγραμματισμένη περιοχή κατασκευής των εγκαταστάσεων OTEC. Για την χαμηλής θερμοκρασίας λειτουργική διακύμανση ο επίπεδος ηλιακός συσσωρευτής τύπου πιάτου φαίνεται να είναι αποδοτικός και να είναι ο πιο οικονομικά αποδοτικός τρόπος να ενισχυθεί η θερμική αποδοτικότητα του OTEC αυτή τη στιγμή. Στην παρούσα προσομοίωση, καθένας από αυτούς τους ηλιακούς συλλέκτες ενσωματώνονται ως πρόσθετη συσκευή θέρμανσης στο σύστημα SOTEC και υπολογίζεται η απαραίτητη περιοχή συλλεκτών. Ο επίπεδος ηλιακός συσσωρευτής τύπου πιάτου έχει χρησιμοποιηθεί ήδη ως ατμοποιητής ενός οργανικού υγρού λειτουργίας, το οποίο έχει χαμηλότερη θερμοκρασία βρασμού από το νερό.

Οι ακόλουθες υποθέσεις εφαρμόζονται στην παρούσα εφαρμογή:

1. Η αποδοτικότητα η_c των ηλιακών συσσωρευτών υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την καμπύλη αποδοτικότητας συλλεκτών που παρουσιάζεται στο Σχ.3.2.1(ε). Εδώ, ο μέσος όρος της θερμοκρασίας του θαλάσσιου νερού ή του υγρού λειτουργίας μέσα στον ηλιακό συσσωρευτή είναι: $T_m = (T_{SCI} + T_{SCO})/2$ στην περίπτωση SOTEC-1 και $T_m = T_E$ στην περίπτωση SOTEC-2.
2. Ο θερμοδυναμικός κύκλος OTEC, SOTEC-1, και SOTEC-2 είναι η ιδανική του κορεσμένη κύκλου Rankine χρησιμοποιώντας καθαρή αμμωνία ως υγρό λειτουργίας.
3. Οι απώλειες θερμότητας από τις σωληνώσεις και άλλα βοηθητικά συστατικά είναι αμελητέες.

3.2.2 Θεωρητική ανάλυση της εφαρμογής SOTEC

Η καθαρή δύναμη PN των εγκαταστάσεων OTEC ή SOTEC ορίζεται ως

$$PN = PG - (PWS + PCS + PWF)$$

όπου PG είναι η ισχύς των στροβιλογεννητριών, PWS η ισχύς άντλησης θερμού θαλάσσιου νερού, PCS η ισχύς άντλησης κρύου θαλάσσιου νερού, και PWF η ισχύς άντλησης του υγρού λειτουργίας. Η αξία του PG υπολογίζεται από το ποσοστό μαζικής ροής του υγρού λειτουργίας m_{WF} και την αδιαβατική διαφορά ενθαλπίας μεταξύ του ατμοποιητή και του συμπυκνωτή, και είναι υπολογισμένος ως εξής:

$$PG = m_{WF} n_T n_G (h_1 - h_2)$$

όπου n_T είναι η απόδοση στροβίλων και το n_G είναι η απόδοση γεννητριών.

Οι τιμές των ενθαλπιών h_1 και h_2 υπολογίζονται χρησιμοποιώντας το PROPATH. Οι τιμές PWS , PCS και PWF υπολογίζονται ως εξής:

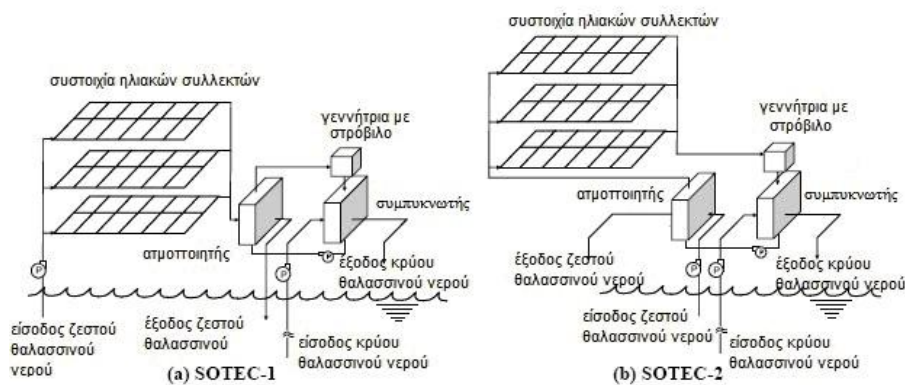
$$PWS = m_{WS} \Delta H_{WS} g / n_{WSP}$$

$$PCS = m_{CS} \Delta H_{CS} g / n_{CSP}$$

$$PWF = m_{WF} \Delta H_{WF} g / n_{WFP}$$

όπου ρ είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και mWS , mCS , mWF , ΔHWS , ΔHCS , ΔHWF , $nWSP$, $nCSP$, και $nWFP$ είναι το ποσοστό μαζικής ροής, η συνολική διαφορά πίεσης, και η αποδοτικότητα αντλιών της διοχέτευσης με σωλήνες του θερμού θαλάσσιου νερού, του κρύου θαλάσσιου νερού, και του υγρού λειτουργίας αντίστοιχα.

Η διαφορά πίεσης κάθε διοχέτευσης με σωλήνες υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις που προέρχονται από τους Uehara και Ikegami. Οι οποίοι εκτέλεσαν μια λεπτομερή βελτιστοποίηση εγκαταστάσεων OTEC 100 MW κλειστού κύκλου με τους εναλλάκτες θερμότητας τύπου πιάτου χρησιμοποιώντας ως υγρό λειτουργίας την αμμωνία. Το σχήμα 3.2.2(α) παρουσιάζει το διάγραμμα σωληνώσεων των προτεινόμενων εγκαταστάσεων SOTEC. Ο Πίν. 1 παρουσιάζει τους όρους των σωληνώσεων των εγκαταστάσεων SOTEC. Οι προδιαγραφές του εναλλάκτη θερμότητας τύπου πιάτου είναι ίδιες με αυτές των Uehara και Ikegami. Η συνολική πίεση μετώπου της σειράς των ηλιακών συσσωρευτών συμπεριλαμβανομένης της σωληνώσεως υποτίθεται ότι είναι 15m.



Σχ.3.2.2 (α) Διάγραμμα σωληνώσεων των εγκαταστάσεων SOTEC.

Πίνακας 1: Σωλήνωση για την εφαρμογή

Σωλήνας ζεστού θαλασσινού νερού	Μονάδα	ποσό
	Μέτρησης	
Μήκος	μ	50
Διάμετρος	μ	0,7
Σωλήνας κρύου θαλασσινού νερού		
Μήκος	μ	1000
Διάμετρος	μ	0,7
Εναλλάκτης θερμότητας πλάκας (ατμοποιητή και συμπυκνωτή)		
Μήκος πλάκας	μ	4
Πλάτος πλάκας	μ	1,5
Πάχος πλάκας	χιλ	1
Απόσταση από τη μεριά του θαλασσινού νερού	χιλ	5

Απόσταση από τη μεριά του υγρού	χιλ	5
Συνολικό μήκος μετώπου πίεσης της κατασκευής	μ	15

Ο πίνακας 2 παρουσιάζει τους όρους για την εφαρμογή. Οι γενικοί συντελεστές μεταφοράς θερμότητας του εξατμιστήρα UE και του συμπυκνωτή UC υποτίθεται ότι ήταν $4000 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $3500 \text{ W/m}^2\text{K}$, αντίστοιχα. Αυτές οι τιμές ήταν πειραματικά αποκτηθείς από τους Uehara και Nakaoka. Οι τομείς μεταφοράς θερμότητας του ατμοποιητή AE και του εναλλασσόμενου ρεύματος συμπυκνωτών AC ορίζεται ως:

$$AE = QE / (UE (\Delta T_m)_E) = mWS C_p WS (TWSI - TWSO) / (UE (\Delta T_m)_E)$$

$$AC = QC / (UC (\Delta T_m)_C) = mCS C_p CS (TCSO - TCSI) / (UC (\Delta T_m)_C)$$

όπου, $(\Delta T_m)_E$ και $(\Delta T_m)_C$ είναι οι μέσες λογαριθμικές διαφορές θερμοκρασίας του ατμοποιητή και του συμπυκνωτή, αντίστοιχα. QE και QC είναι το ποσοστό ροής θερμότητας του ατμοποιητή και του συμπυκνωτή αντίστοιχα, που ορίζεται ως:

$$QE = mWF (h_1 - h_4)$$

$$QC = mWF (h_2 - h_3)$$

Η απόδοση n_R των κύκλων Rankine και η καθαρή απόδοση n_{net} των κύκλων Rankine δίνονται ως εξής:

$$n_R = PG / QE$$

$$n_{net} = PN / QE$$

Για την προσομοίωση χρησιμοποιούνται τα μέσα ετήσια στοιχεία καιρού και θαλάσσιου νερού στο νησί Kumejima.

Πίνακας 2. Όροι για την προσομοίωση.

Ισχύς στροβιλογεννήτριας	P_G	kW	100
Απόδοση στροβίλου	η_T	-	0,80
Απόδοση γεννήτριας	η_G	-	0,96
Απόδοση αντλίας θαλασσινού νερού	η_{WSP}	-	0,80
	η_{CSP}	-	0,80
Απόδοση αντλίας υγρού	η_{WFP}	-	0,75
Ατμοποιητής (εναλλάκτης θερμότητας τύπου πλάκας)			
Συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	U_E	W/m ² K	4000
$T_{WSI} -- T_E$ (OTEC, SOTEC_2) και $T_{SCO} -- T_E$ (SOTEC_1)		K	4
Συμπυκνωτής (εναλλάκτης θερμότητας τύπου πλάκας)			
Συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας	U_c	W/m ² K	3500
$T_c -- T_{CSI}$		K	4
Ηλιακός συλλέκτης			
Κλίση		-	30
Αζιμούθιο		-	0 (μέτωπο νότια)
Καιρικές συνθήκες (ετήσια μέση τιμή στην Kumejima, Ιαπωνία)			
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	T_a	°C	22,6
Ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη	I	W/m ²	457
Θερμοκρασία θαλασσινού νερού (ετήσια μέση τιμή στην Kumejima, Ιαπωνία)			
Θερμοκρασία ζεστού νερού σε βάθος 0μ		°C	25,7
Θερμοκρασία κρύου νερού σε βάθος 1000μ		°C	4,4

3.3 Αποτελέσματα της εφαρμογής SOTEC

Οι συνηθισμένες εγκαταστάσεις OTEC λειτουργούν κατά τη διάρκεια της νύχτας και της ημέρας όταν οι καιρικές συνθήκες δεν είναι κατάλληλες για τη λειτουργία SOTEC. Με άλλα λόγια, οι εγκαταστάσεις SOTEC χρησιμοποιούνται επιλεκτικά αντί των εγκαταστάσεων OTEC μόνο όταν ικανοποιούνται οι καιρικές συνθήκες για τη διαθέσιμη συλλογή θερμότητας του ηλιακού συσσωρευτή.

Κατ' αρχάς, οι συνηθισμένες εγκαταστάσεις OTEC 100-kWe χωρίς ηλιακό συσσωρευτή προσομοιώθηκαν και οι περιοχές μεταφοράς θερμότητας του ατμοποιητή και του συμπυκνωτή καθορίστηκαν. Έπειτα, οι εγκαταστάσεις SOTEC προσομοιώθηκαν με τη βελτιστοποίηση των ποσοστών ροής θερμού και κρύου θαλάσσιου νερού προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι δεν ξεπερνιούνται οι ικανότητες μεταφοράς θερμότητας του ατμοποιητή και του συμπυκνωτή στις εγκαταστάσεις OTEC. Στην περίπτωση SOTEC, η θερμοκρασία εισαγωγής των στροβίλων δηλαδή η θερμοκρασία ατμοποίησης αυξάνει λόγω του ηλιακού συσσωρευτή υποτίθεται κατά 20 K, και υπολογίστηκε η περιοχή των ηλιακών συσσωρευτών που επιτυγχάνει αυτήν την αύξηση θερμοκρασίας.

Ο πίνακας 3 παρουσιάζει τα αποτελέσματα προσομοίωσης των εγκαταστάσεων OTEC 100-kWe, SOTEC-1, και SOTEC-2. Κατά συνέπεια, στην παρούσα κατάσταση, η καθαρή απόδοση *net* των κύκλων Rankine αυξάνεται από 2,3% για OTEC σε 6,4% για SOTEC-1, και 6,9% για SOTEC-2. Ο συνολικός ετήσιος συλλέξιμος χρόνος θερμότητας του ηλιακού συσσωρευτή στο νησί Kumejima είναι 2440 ώρες (102 ημέρες λειτουργίας), έτσι ώστε η μέση ετήσια καθαρή αποδοτικότητα των κύκλων Rankine στις εγκαταστάσεις SOTEC-1 και SOTEC-2 έχει βελτιωθεί κοντά στο 150% και 153% αντίστοιχα του συνηθισμένου OTEC.

Σύμφωνα με αυτό το αποτέλεσμα, η απαιτούμενη περιοχή των ηλιακών συσσωρευτών SOTEC-1 είναι περίπου 1,6 φορές μεγαλύτερες από αυτή στο SOTEC-2. Αυτό το αποτέλεσμα προκαλείται κυρίως από την έλλειψη περιοχής μεταφοράς θερμότητας του ατμοποιητή. Εάν η περιοχή μεταφοράς θερμότητας από τον ατμοποιητή του SOTEC-1 υποτίθεται ότι ήταν 310 τ.μ., που είναι περίπου 80 τ.μ. μεγαλύτερη από αυτήν που απαιτείται στον OTEC, τότε το SOTEC-1 χρειάζεται την ίδια περιοχή συλλεκτών με τον SOTEC-2.

Η απόδοση των επίπεδων ηλιακών συσσωρευτών τύπου πιάτου στα SOTEC-2 έχει χαμηλότερη αξία επειδή το T_m του SOTEC-2 γίνεται υψηλότερο από αυτό του SOTEC-1 λόγω της σταθερής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της εξάτμισης. Τα SOTEC-2 με έναν ηλιακό συσσωρευτή με σωλήνα εκκένωσης έχουν την ελάχιστη περιοχή ηλιακών συσσωρευτών 3878m², ενώ η επίπεδη περιοχή ηλιακών συσσωρευτών τύπου πιάτων στα SOTEC-2 είναι 5017m². Λόγω της υψηλής πίεσης σε αυτήν την εφαρμογή, το κόστος του επίπεδου ηλιακού συσσωρευτή τύπου πιάτου θα είναι χαμηλότερο από αυτό με το σωλήνα εκκένωσης αυτή τη στιγμή. Εντούτοις, ο ηλιακός συσσωρευτής με σωλήνα εκκένωσης θα μπορούσε να είναι εφικτός για τα SOTEC επειδή το κόστος του νεότερου ηλιακού συλλέκτη με σωλήνα εκκένωσης μειώνεται εντυπωσιακά λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας μαζικής παραγωγής. Εντούτοις απαιτείται ειδική υδραυλική εγκατάσταση στο SOTEC-2 λόγω της υψηλής πίεσης του υγρού λειτουργίας.

Το κόστος του εναλλάκτη θερμότητας (περίπου 25-50% του κόστους της εγκατάστασης) είναι μια από τις σημαντικότερες δαπάνες στην εγκατάσταση OTEC, από αυτήν την άποψη το SOTEC-2 είναι καλύτερο από το SOTEC-1. Το πρόβλημα με το SOTEC-2 είναι η αντίσταση διάβρωσης και η πίεση συμπίεσης του ηλιακού

συσσωρευτή που θερμαίνει άμεσα το υγρό λειτουργίας, την αμμωνία. Αν και οι επίπεδοι ηλιακοί συσσωρευτές με τους ανοξειδωτους σωλήνες απορρόφησης είναι διαθέσιμοι εμπορικά όπως και μερικοί τύποι συλλεκτών με σωλήνα εκκένωσης έχουν την απαραίτητη αντίσταση διάβρωσης και τη πίεση συμπίεσης, απαιτείται η περαιτέρω έρευνα και η εκτίμηση για το κόστος για να ελεγχθεί η αποδοτικότητα των συλλεκτών ως ατμοποιητή του υγρού λειτουργίας, της αμμωνίας και για να κριθεί η δυνατότητα πραγματοποίησης του SOTEC-2.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα προσομοίωσης από τις εγκαταστάσεις των 100kWe της OTEC, SOTEC-1 και SOTEC-2

			OTEC	SOTEC-1	SOTEC-2
Θερμοκρασία εισόδου ζεστού θαλασσινού νερού	T_{wsi}	°C	25.7	25.7	25.7
Θερμοκρασία εξόδου ζεστού θαλασσινού νερού	T_{wso}	°C	22.9	33.1	20.4
Θερμοκρασία εισόδου κρύου θαλασσινού νερού	T_{csi}	°C	4.4	4.4	4.4
Θερμοκρασία εξόδου κρύου θαλασσινού νερού	T_{cso}	°C	7.1	8.5	8.5
Θερμοκρασία εισόδου ηλιακού συλλέκτη	T_{sci}	°C	-	25.7	41.7
Θερμοκρασία εξόδου ηλιακού συλλέκτη	T_{sco}	°C	-	45.7	41.7
Θερμοκρασία εξάτμισης	T_B	°C	21.7	41.7	41.7
Θερμοκρασία συμπύκνωσης	T_C	°C	8.4	8.4	8.4
Ισχύς δικτύου	P_N	kW	69.9	84.0	91.4
Ισχύς άντλησης ζεστού θαλασσινού νερού	P_{ws}	kW	9.5	7.7	0.1
Ισχύς άντλησης κρύου θαλασσινού νερού	P_{cs}	kW	18.6	5.4	5.4
Ισχύς άντλησης ρέοντος υγρού	P_{wf}	kW	2.1	2.9	3.2
Ρυθμός ροής ζεστού θαλασσινού νερού	m_{ws}	kg/s	260	27.2	3.2

Ρυθμός ροής κρύου θαλασσινού νερού	m_{CS}	kg/s	260	76.0	76
Ρυθμός ροής ρέοντος υγρού	m_{WF}	kg/s	2.4	1.0	1.0
Κατάταξη κύκλου απόδοσης	η_R	-	3.4	7.6	7.6
Κατάταξη κύκλου απόδοσης δικτύου	η_{NET}	-	2.3	6.4	6.9
Περιοχή μετάδοσης θερμότητας του ατμοποιητή	A_S	m^2	232	221	12
Περιοχή μετάδοσης θερμότητας του συμπυκνωτή	A_C	m^2	390	288	288
επίπεδη πλάκα ηλιακού συλλέκτη					
Απόδοση συλλέκτη	η_e	-	-	0.63	0.54
Επιφάνεια συλλέκτη	A_{SC}	m^2	-	7574	5017
Εκκενωμένος σωλήνας συλλέκτη					
Απόδοση συλλέκτη	η_e	-	-	0.73	0.70
Επιφάνεια συλλέκτη	A_{SC}	m^2	-	6588	3878
Ηλιακός συλλέκτης CPC					
Απόδοση συλλέκτη	η_e	-	-	0.74	0.69
Επιφάνεια συλλέκτη	A_{SC}	m^2	-	6458	3933

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Εισαγωγή

Ουσιαστικές οικονομικές αναλύσεις μπορούν να διεξαχθούν μόνο για τα συγκεκριμένα συστήματα ισχύος. Εντούτοις, μέχρι σήμερα οι τεχνικές αβεβαιότητες της τεχνολογίας ΟΤΕC είναι τόσο μεγάλες που μόνο ευρείς οικονομικές επισκοπήσεις είναι εφικτές, και λαμβάνεται μέριμνα για να αποφεύγονται λεπτομερείς οικονομικοί υπολογισμοί που δημιουργούν μια αληθοφανή αίσθηση της ακρίβειας.

Οι εγκαταστάσεις ΟΤΕC είναι πρώτες από όλους τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Αυτή η ισχύς μπορεί να τροφοδοτηθεί στο δίκτυο ηλεκτρισμού για τη διανομή στους καταναλωτές ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια διαδικασία παραγωγής που συνδέεται με τις εγκαταστάσεις ΟΤΕC, όπως σε συστήματα ΟΤΕC παραγωγής αμμωνίας ή αλουμινίου.

Σε οποιαδήποτε από τις προηγούμενες περιπτώσεις, η οικονομία της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να εκφραστεί σε δύο τύπους κόστους: το κύριο κόστος για την κατασκευή των εγκαταστάσεων ΟΤΕC και το κόστος ανά κιλοβατώρα παραχθείσας ενέργειας.

4.1 Κύριο κόστος κατασκευής της εγκατάστασης ΟΤΕC

Η συμβατική μέθοδος που εκφράζει το κόστος κατασκευής ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής είναι από την άποψη των δολαρίων ανά καθαρό κιλοβάτ ισχύος. Η υπάρχουσα βιβλιογραφία απεικονίζει ένα εξαιρετικά ευρύ φάσμα των εκτιμήσεων για τη συνολική επένδυση που απαιτείται για τις πρώτες εγκαταστάσεις. Τα στοιχεία που παρουσιάζονται είναι για τις διαφορετικές θερμοκρασιακές κλίσεις, τα μεγέθη και τα σχέδια των εγκαταστάσεων ΟΤΕC με τα διαφορετικά συστατικά, τον εξοπλισμό και τις διαφορετικές καμπύλες εκμάθησης,

Είναι μάλιστα πολύ πιθανό ότι το πραγματικό κόστος θα μπορούσε να υπερβεί το πιθανό εύρος κόστους επειδή όλες οι σημαντικές μεταβλητές που θα καθορίσουν τις δαπάνες δεν είναι ακόμα γνωστές. Παραδείγματος χάριν:

- Η επιλογή του υλικού για τους εναλλάκτες θερμότητας μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στο κόστος κατασκευής επειδή η τιμή των υποψηφίων υλικών ποικίλλει ευρέως,
- Η επιλογή των περιοχών έχει επιπτώσεις στο κόστος της κατασκευής επειδή η περιοχή θα επηρεάσει τον τύπο πλατφόρμας και την πρόσδεση, το μήκος του σωλήνα κρύου νερού, την απόσταση που το προϊόν πρέπει να μεταφερθεί στην ακτή, και τις προφυλάξεις που πρέπει να ληφθούν για να προστατεύσουν το περιβάλλον,
- Το ποσοστό βιολογικής αγκίστρωσης μπορεί να έχει επιπτώσεις στο κόστος επειδή μπορεί να μειώσει την αποδοτικότητα και έτσι την παραγωγή των εγκαταστάσεων.

4.2 Κόστος ανά κιλοβατώρα παραχθείσας ενέργειας

Το κόστος της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας με την τεχνολογία OTEC ή οποιαδήποτε άλλη μέθοδο εξαρτάται από μια σειρά μεταβλητών. Καταρχάς, το μέγεθος της διαφοράς θερμοκρασίας έχει άμεση σχέση στην παραγωγή καθαρής ενέργειας των εγκαταστάσεων OTEC και στο κόστος κάθε μονάδας ενέργειας. Εάν η διαφορά θερμοκρασίας μειώνεται, η παραγωγή των εγκαταστάσεων θα μειωνόταν και το κόστος ανά μονάδα παραγωγής θα αυξανόταν.

Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας σε χιλιοστά δολαρίου ανά κιλοβατώρα είναι

$$= \frac{(FCR) C/kw \times 1,000}{(FA) T} + (CF) + (COM)$$

όπου

FCR: σταθερό χρεωστικό επιτόκιο, ένα ενιαίο ποσοστό που αντιπροσωπεύει τις εκτιμήσεις σχετικά με το μακροπρόθεσμο κόστος του χρέους και του κεφαλαίου,

C/kW: επενδύσεις κεφαλαίου σε δολάρια ανά κιλοβάτ,

FA: ο λόγος των κιλοβατώρα που έχουν πραγματικά παραχθεί κατά την διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου κατά την οποία το εργοστάσιο λειτουργεί με σταθερή πλήρη ισχύ προς τις κιλοβατώρας που θεωρητικά μπορούν να παραχθούν κατά την ίδια περίοδο,

T: συνολικές ώρες λειτουργίας σε ένα χρόνο, 8760 ώρες,

CF: κόστος καυσίμων σε χιλιοστά δολαρίου ανά κιλοβατώρα το θαλασσινό νερό είναι το καύσιμο στην τεχνολογία OTEC οπότε δεν λαμβάνεται υπόψιν το κόστος καυσίμου και

COM: κόστος λειτουργίας και συντήρησης σε χιλιοστά δολαρίου ανά κιλοβατώρα.

Υπάρχουν και άλλες μεταβλητές που επηρεάζουν το κόστος ανά kW παραχθείσας ηλεκτρικής ενέργειας. Οι σημαντικότερες από αυτές περιλαμβάνουν το κύριο κόστος των εγκαταστάσεων, την παραγωγική ικανότητα των εγκαταστάσεων, το σταθερό ετήσιο ποσοστό δαπανών, το κόστος των καυσίμων και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

Αυτές οι δαπάνες δεν μπορούν ακόμα να προβλεφθούν επακριβώς. Εάν χρησιμοποιούνται μόνο ευνοϊκές παραδοχές, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να γίνει πολύ ανταγωνιστικό. Εάν οι λιγότερο αισιόδοξες παραδοχές χρησιμοποιούνται για μια ή περισσότερες μεταβλητές, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται γρήγορα. Στην παραπάνω εξίσωση αποδεικνύεται πως το κόστος μεταβάλλεται ανάλογα με αυτές τις μεταβλητές.

Μερικοί από τους αγνώστους σε αυτόν τον τύπο είναι το σταθερό επιτόκιο επιβάρυνσης, η ικανότητα παραγωγής των εγκαταστάσεων και η κύρια επένδυση στην κατασκευή των εγκαταστάσεων OTEC. Αν και οι αλλαγές στις μεταβλητές έχουν επιλεγεί μάλλον αυθαίρετα για αυτό το παράδειγμα αντιπροσωπεύουν τις πιθανές τιμές για το σταθερό επιτόκιο επιβάρυνσης, την κύρια επένδυση, και την ικανότητα παραγωγής των εγκαταστάσεων OTEC, και καταδεικνύουν πώς οι εκτιμήσεις του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας από τις εγκαταστάσεις OTEC μπορεί να αυξηθεί σε περισσότερα από 100 χιλιοστά/kWh.

Είναι σχεδόν όμως δύσκολο να καθοριστεί το μελλοντικό κόστος της ενέργειας που παράγεται από οποιεσδήποτε συμβατικές εγκαταστάσεις επειδή πολλοί απρόβλεπτοι παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των πολιτικών αποφάσεων, θα καθορίσουν την κατασκευή, τα καύσιμα και το κόστος εξοπλισμού στο μέλλον.

Υπάρχουν και άλλοι παράγοντες εκτός από το κύριο κόστος και το κόστος ανά kWh, που λαμβάνονται υπόψη προτού ληφθεί μια απόφαση για επένδυση σε μια ιδιαίτερη πηγή ενέργειας ή τον τύπο εγκατάστασης που θα παρέχει την ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο.

Προκειμένου να καθοριστεί εάν οι δημόσιες επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας θα μπορούσαν να παρέχουν μια σημαντική αγορά για την ηλεκτρική ενέργεια που παρήχθη από τις εγκαταστάσεις OTEC και εάν τα οικονομικά θα είναι ευνοϊκά στο μέλλον, εξετάζονται μερικές άλλες σημαντικές μεταβλητές που περιλαμβάνουν:

- την μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητα των καυσίμων,
- τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις,
- τα αποθεματικά και την αξιοπιστία του δυναμικού παραγωγής,
- το χρόνο κατασκευής και χορήγησης αδειών,
- τις δαπάνες περιοχών,
- τους προϋπολογισμούς δαπανών μεταφοράς και
- την επιλογή των υποψηφίων περιοχών .

Όλες οι μεταβλητές δεν είναι εξίσου σημαντικές στη διαδικασία προγραμματισμού, ωστόσο πολλές και σημαντικές από αυτές παρουσιάζουν ενδεχομένως δυσμενείς πτυχές της τεχνολογίας OTEC. Αυτές είναι:

- ο πιθανός μεγάλος χρόνος κατασκευής και χορήγησης αδειών, βασισμένος στη δυσκολία κατασκευής σύνθετων συστημάτων στους ωκεανούς,
- οι υψηλές δαπάνες μεταφοράς, βασισμένες στη δαπάνη των υποθαλάσσιων καλωδίων και στην απόσταση από τις ακτές και
- η περιορισμένη διαθεσιμότητα κατάλληλων περιοχών.

Ενώ παράγοντες που παρουσιάζουν ευνοϊκές πτυχές της τεχνολογίας OTEC είναι:

- η μακροπρόθεσμη διαθεσιμότητα των καυσίμων,
- οι χαμηλές δαπάνες για τις παράκτιες περιοχές και
- οι ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

4.3 Ενέργεια για την παραγωγή αμμωνίας

Η παραγωγή της άνυδρης αμμωνίας (NH) έχει προταθεί ως ελκυστικός τρόπος για να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία OTEC. Η αμμωνία χρησιμοποιείται στην κατασκευή πολλών χημικών ουσιών, π.χ. τα τρία τέταρτα της παραγωγής αμμωνίας στις Η.Π.Α. χρησιμοποιείται για την παρασκευή λιπασμάτων για τη γεωργία.

Η αμμωνία είναι μια ένωση υδρογόνου και αζώτου, και επί του παρόντος μεγάλες ποσότητες φυσικού αερίου χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή υδρογόνου. Περίπου 40.000 κυβικά πόδια φυσικού αερίου απαιτούνται για να παράγουν 1 τόνο αμμωνίας. Η βιομηχανία αμμωνίας χρησιμοποίησε περίπου 4 τοις εκατό του φυσικού αερίου που καταναλώθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες το 1976, το 5 τοις εκατό της κατανάλωσης φυσικού αερίου μέχρι το 1980 και σε περισσότερο από 11 τοις εκατό μέχρι το 1990.

Εάν το υδρογόνο μπορούσε να παραχθεί σε μία εγκατάσταση OTEC από την ηλεκτρόλυση του νερού της θάλασσας, το φυσικό αέριο που χρησιμοποιήθηκε τώρα

ως πρώτη ύλη θα μπορούσε να αφαιρεθεί. Το υδρογόνο που παρήχθη στην εγκατάσταση OTEC και ένα άζωτο από τον αέρα θα είχε ως αποτέλεσμα να προκύψει αμμωνία η οποία θα δινόταν στους καταναλωτές.

Η εξοικονόμηση σε φυσικό αέριο κάνει την αμμωνία που παράγεται από τις εγκαταστάσεις OTEC ελκυστική. Οι μεταβλητές που επηρεάζουν τις βιομηχανίες για την παραγωγή αμμωνίας είναι:

- η αναμενόμενη προσφορά και ζήτηση
- οι εναλλακτικές λύσεις των υπάρχουσών διαδικασιών και
- η οικονομική ανταγωνιστικότητα της τεχνολογίας OTEC.

4.4 Ενέργεια για την παραγωγή αλουμινίου

Οι εγκαταστάσεις OTEC έχουν προταθεί ως πηγή ενέργειας για τις βιομηχανίες παραγωγής αλουμινίου. Η λογική είναι ότι οι παράκτιες εγκαταστάσεις OTEC θα μπορούσαν να παρέχουν την ηλεκτρική ισχύ στις χερσαίες εγκαταστάσεις παραγωγής στις περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη παροχή της πρώτης ύλης, ο βωξίτης, αλλά στερούνται την απαραίτητη πρόσβαση στην ανέξοδη ενέργεια.

Φαίνεται να υπάρχουν διάφοροι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν εάν η τεχνολογία OTEC θα ήταν αποδεκτή στη βιομηχανία αλουμινίου:

- το κόστος και η αξιοπιστία της παροχής ενέργειας,
- η ανάγκη για έναν σταθερό και αξιόπιστο ανεφοδιασμό πρώτων υλών,
- η προσφορά και η ζήτηση σε συνδυασμό με τις τρέχουσες χαμηλές τιμές και
- η αύξηση του κόστους στην βιομηχανία αργιλίου.

Η παραγωγή αλουμινίου είναι μια διαδικασία δύο φάσεων: ο βωξίτης καθαρίζεται στην αλουμίνα και η αλουμίνα στην συνέχεια μετατρέπεται σε αλουμίνιο (αργίλιο). Το στάδιο μετατροπής της αλουμίνας είναι ο μεγαλύτερος χρήστης της ηλεκτρικής ενέργειας, που καταναλώνει έναν μέσο όρο 8 kWh της ηλεκτρικής ενέργειας για να παράγει μια λίβρα αργιλίου. Υπάρχουν κάποιες προσπάθειες σε εξέλιξη για να μειωθεί η αναλογία kWh/λίμπρα, ωστόσο είναι σαφές ότι το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην αποδοτικότητα της παραγωγής αργιλίου.

Οι περαιτέρω αυξήσεις στο κόστος των καυσίμων που χρησιμοποιούνται σε άλλους τύπους ηλεκτροπαραγωγικών εγκαταστάσεων θα μειώσουν το διαφορικό κόστος εντούτοις είναι αδύνατο να προβλεφθούν οι δαπάνες είτε της συμβατικής είτε της OTEC ηλεκτρικής ενέργειας. Η αποδοτικότητα θα μπορούσε επίσης να εξαρτηθεί και από την αξιόπιστη λειτουργία των εγκαταστάσεων OTEC. Η εμπειρία με τους μεγάλους πυρηνικούς σταθμούς και ηλεκτροπαραγωγής από λιγνίτη έχει δείξει ότι αυτές οι μονάδες λειτουργούν με απόδοση μόνο από 50 έως 75 τοις εκατό. Ενώ οι περισσότεροι προϋπολογισμοί δαπανών για τις εγκαταστάσεις OTEC έχουν βασιστεί σε εκτιμήσεις λειτουργίας με απόδοση από 90 έως 95 τοις εκατό, η οποία, είναι ιδιαίτερα απίθανη για μια νέα τεχνολογία που λειτουργεί σε ένα εχθρικό θαλάσσιο περιβάλλον.

Επιπλέον, η βιομηχανία θα είναι δύσπιστη στην τοποθέτηση των νέων εγκαταστάσεων αλουμινίου όπου εξαρτώνται μόνο από την τεχνολογία OTEC ως πηγή ενέργειας. Παραδοσιακά, οι εγκαταστάσεις βρίσκονται όπου μπορούν να

διασυνδεθούν σε ένα σημαντικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και να έχουν έτσι τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας.

4.5 Εξωτερικά κόστη

Αυτή τη στιγμή, το εξωτερικό κόστος της ενεργειακής παραγωγής και κατανάλωσης δεν εξετάζεται με τον καθορισμό των δαπανών στο χρήστη. Εξετάζοντας όλα τα στάδια της παραγωγής, από την αρχική εξαγωγή καυσίμων στον αφοπλισμό εγκαταστάσεων, έχει καθοριστεί ότι καμία ενεργειακή τεχνολογία δεν είναι τελείως μη επιβλαβής για το περιβάλλον. Οι συμπληρωματικές δαπάνες που σχετίζονται με τη διάβρωση, τις επιπτώσεις στην υγεία, τις απώλειες στην παραγωγή, τα ραδιενεργά απόβλητα, τις στρατιωτικές δαπάνες, τις επιχορηγήσεις για την απώλεια εργασίας, τις εκπτώσεις φόρου και την χρηματοδότηση της έρευνας για τις παρούσες τεχνολογίες έχουν υπολογιστεί ότι θα κυμανθούν από 78 έως 259 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως.

Αποκλείοντας τις δαπάνες που συνδέονται με την πυρηνική ενέργεια, η διακύμανση είναι ισοδύναμη με την προσθήκη από \$85 έως \$327 σε ένα βαρέλι του πετρελαίου, που αυξάνει το παρόν κόστος με συντελεστή από 4 έως 16. Ως ελάχιστη προϋπόθεση, θεωρείται ότι οι δαπάνες που πραγματοποιούνται από τον στρατό, μόνο στις Η.Π.Α., για την διασφάλιση των προμηθειών πετρελαίου πέρα από τον ωκεανό είναι τουλάχιστον 15 δισεκατομμύρια δολάρια που αντιστοιχεί στην προσθήκη \$23 σε ένα βαρέλι καυσίμου, που ισοδυναμεί με τον διπλασιασμό του παρόντος κόστους. Υπολογίζοντας τα εξωτερικά κόστη μπορεί τελικά να βοηθήσει την ανάπτυξη και να επεκτείνει τη δυνατότητα εφαρμογής ΟΤΕC, αλλά στο μεσοδιάστημα το μέλλον της τεχνολογίας ΟΤΕC θα στηρίζεται στη χρήση των πλωτών εγκαταστάσεων κλειστού κύκλου (ή υβριδικές) που διαβιβάζουν την ηλεκτρική ενέργεια (και την ασφατωμένη ύδρευση) στο έδαφος μέσω των υποβρύχιων καλωδίων τροφοδοσίας (και των εύκαμπτων σωληνώσεων).

Οι συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας μολύνουν το περιβάλλον περισσότερο από εγκαταστάσεις ΟΤΕC εφ' όσον θερμαίνει ο ήλιος τους ωκεανούς, τα καύσιμα για ΟΤΕC είναι απεριόριστα και ελεύθερα. Εντούτοις, είναι ανώφελο να χρησιμοποιηθούν αυτά τα επιχειρήματα για να πειστεί η οικονομική κοινότητα και να επενδύσει σε μια νέα τεχνολογία έως ότου έχει ένα επιχειρησιακό ιστορικό. Το επόμενο βήμα στην ανάπτυξη της τεχνολογίας ΟΤΕC είναι η εγκατάσταση και η λειτουργία μιας προ-εμπορικής εγκατάστασης μεγέθους κατά τρόπο που να μπορεί να κλιμακωθεί σε 100 MW.

4.6 Οικονομικές κρίσεις και δυνατότητες της αγοράς

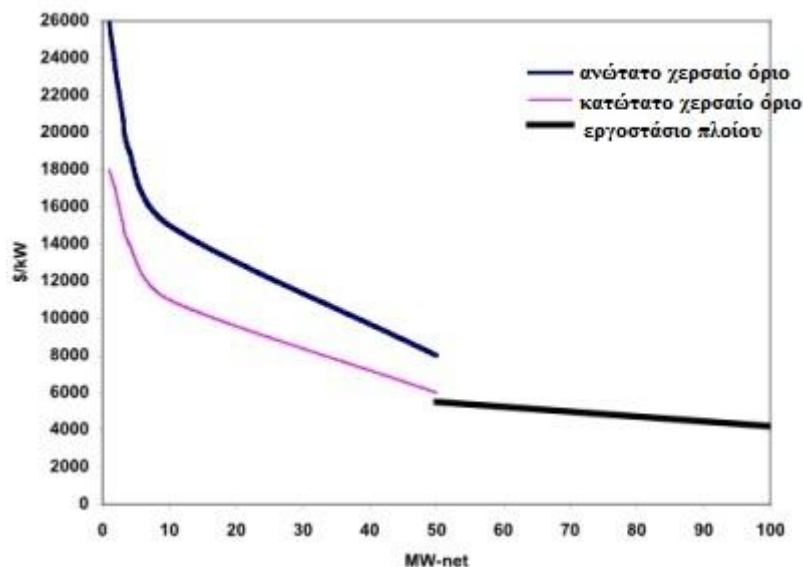
Στην εξέταση των οικονομικών ΟΤΕC, ενδείκνυται να καθοριστεί εάν τα συστήματα πολλαπλών προϊόντων, π.χ. ηλεκτρικής ενέργειας, ασφατωμένης ύδρευσης, υδατοκαλλιέργειας και κλιματισμού (AC) αποδίδουν υψηλότερα με, παραδείγματος χάριν, τη μείωση του ισοδύναμου κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας. Επειδή οι διαδικασίες υδατοκαλλιέργειας, όπως στην περίπτωση των συστημάτων κλιματισμού, μπορούν μόνο να χρησιμοποιήσουν ένα σχετικά μικρό ποσό του νερού της θάλασσας που απαιτείται για τις θερμικές εγκαταστάσεις θα πρέπει να αξιολογούνται ανεξάρτητα από τις εγκαταστάσεις ΟΤΕC. Παραδείγματος χάριν, το κρύο νερό που

είναι διαθέσιμο από εγκαταστάσεις OTEC 1 MW θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τις καθημερινές ανταλλαγές είκοσι πέντε κλωβών υδατοκαλλιέργειας διαστάσεων 100μ. x 100μ. x 1μ., που απαιτούν έκταση περισσότερη από 25 εκτάρια. Επομένως, συνιστάται ότι οι εγκαταστάσεις OTEC να λαμβάνονται υπόψη και οι ενδεχόμενες επιπτώσεις τους στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, της αφαλατωμένης ύδρευσης, της υδατοκαλλιέργειας και των συστημάτων κλιματισμού, που βασίζονται στη χρήση των νερών από τα μεγάλα βάθη των ωκεανών.

Οι εγκαταστάσεις OTEC είναι υψηλής έντασης κεφαλαίου (Σχ. 4.6), και οι πρώτες εγκαταστάσεις ήταν μικρές γιατί απαιτούσαν μια ουσιαστική κύρια επένδυση. Λαμβάνοντας υπόψη το σχετικά χαμηλότερο κόστος του ακατέργαστου πετρελαίου, και των ορυκτών καυσίμων γενικά, η ανάπτυξη των τεχνολογιών OTEC είναι πιθανό να προωθηθεί από τις κυβερνήσεις παρά από την ιδιωτική βιομηχανία. Το κίνητρο των κυβερνήσεων στην επιχορήγηση OTEC μπορεί να ποικίλει πολύ, από την ξένη ενίσχυση στις εσωτερικές ανησυχίες. Για την προηγούμενη περίπτωση, οι ιδανικές δικαιούχες χώρες είναι πιθανό να είναι ανεξάρτητα αναπτυσσόμενα έθνη. Εάν η οικονομική κατάστασή τους είναι πάρα πολύ χαμηλή, εντούτοις, η ανάπτυξη των εγκαταστάσεων OTEC, αντί για άμεση ενίσχυση υπό μορφή χρημάτων και αγαθών, μπορεί να θεωρηθεί ως ανεπαρκής βοήθεια. Επιπλέον, η πολιτική αστάθεια θα μπορούσε να θέσει σε κίνδυνο την καλή θέληση των κρατών για επενδύσεις. Για την τελευταία περίπτωση, οι πιθανές περιοχές ανήκουν, ή εμπίπτουν στην αρμοδιότητα, των αναπτυσσόμενων χωρών.

Η σύγκριση των δαπανών παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας και της αφαλατωμένης ύδρευσης μπορεί να προσδιορίσει τα σενάρια κάτω από τα οποία η τεχνολογία OTEC πρέπει να είναι οικονομική, σχετικά με τις συμβατικές τεχνολογίες. Ο πίνακας 1 συνοψίζει τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται για τις κύριες δαπάνες που δίνονται στο Σχ. 4.6 χρησιμοποιώντας ένα σταθερό ποσοστό 10 τοις εκατό, ένα δάνειο 20 ετών, και τη διαθεσιμότητα εγκαταστάσεων OTEC μόνο 80 τοις εκατό. Υπολογίζονται οι δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης που αντιστοιχούν περίπου στο 1,5% του κύριου κόστους.

Ένα σενάριο αντιστοιχεί στα μικρά έθνη νησιών, όπου το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ντίζελ και του γλυκού νερού είναι τέτοιο που μία μικρή επίγεια εγκατάσταση OTEC ανοικτού κύκλου, ισχύος 1 MW με την παραγωγή νερού, θα ήταν οικονομικά αποδοτική σήμερα. Εντούτοις, μόνο μερικές περιοχές σε όλο τον κόσμο συμβαδίζουν με αυτό το σενάριο. Ένα δεύτερο σενάριο αντιστοιχεί σε συνθήκες που είναι συμβατές σε αρκετά νησιωτικά έθνη όπου οι επίγειες εγκαταστάσεις OTEC ανοικτού κύκλου ισχύος 10 MW θα μπορούσαν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και αφαλατωμένη ύδρευση με ανταγωνιστικό κόστος. Κάποιος μπορεί να προβλέψει ότι σε αυτές τις μικρές εγκαταστάσεις που επεκτείνονται, παραδείγματος χάριν, στα νησιά του Ειρηνικού σε 20 έτη από τώρα θα έχουν εγκατασταθεί συνολικά από 100 έως 300 MW.



Σχήμα 4.6: Εκτιμήσεις του κόστους κεφαλαίου για μονοβάθμιες εγκαταστάσεις OTEC

Ένα τρίτο σενάριο αντιστοιχεί στις επίγειες υβριδικές εγκαταστάσεις OTEC για τις αγορές των βιομηχανικών χωρών που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω ενός κύκλου αμμωνίας και αφαλατωμένο νερό μέσω ενός εξατμιστήρα κενού. Αυτό το σενάριο θα ήταν οικονομικά αποδοτικό στα βιομηχανικά νησιωτικά κράτη με έναν διπλασιασμό του κόστους του πετρελαίου καύσεως ή με έναν διπλασιασμό του κόστους νερού για τις εγκαταστάσεις που εκτιμώνται από 50 MW και πάνω. Το τέταρτο σενάριο είναι για τις επιπλέον εγκαταστάσεις OTEC, που εκτιμώνται σε 100 MW ή μεγαλύτερες, και που στεγάζουν ένα εργοστάσιο ή μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια στην ακτή μέσω ενός υποβρύχιου καλωδίου τροφοδοσίας. Αυτές οι εγκαταστάσεις θα μπορούσαν να επεκταθούν σε πολυάριθμα έθνη και θα μπορούσαν να καλύψουν μια σημαντική αγορά. Οι εκτιμήσεις των κύριων δαπανών και των προκυπτουσών δαπανών της ηλεκτρικής ενέργειας δίνονται στον πίνακα 4.6.1.

Πίνακας 1. Προϋπολογισμοί δαπανών για εγκατάσταση OTEC κλειστού τύπου 100 MW (COE για 10% σταθερό επιτόκιο, 20 ετών, ετήσιο 1% του κύριου κόστους).

Απόσταση από την ακτή, km	Κόστος κεφαλαίου, \$/kW	COE \$/kWh
10	4200	0.07
50	5000	0.08
100	6000	0.10
200	8100	0.13
300	10200	0.17
400	12300	0.22

Πίνακας 2: Πιθανές τοποθεσίες ως συνάρτηση εξόδων καυσίμου και νερού.

ΙΣΧΥΣ	ΤΥΠΟΣ	ΣΕΝΑΡΙΟ	ΠΕΡΙΟΧΕΣ
1 KW	Επίγεια δευτεροβάθμια ΟΤΕC ανοικτού κύκλου για πρόσθετη παραγωγή νερού	Πετρέλαιο: \$45/βαρέλι Νερό: \$1.6/m ³	Παρούσα κατάσταση σε ορισμένα μικρά νησιωτικά κράτη
10 KW	Επίγεια δευτεροβάθμια ΟΤΕC ανοικτού κύκλου για πρόσθετη παραγωγή νερού	Μαζούτ: \$30/βαρέλι Νερό: \$0.9/ m ³	Αμερικάνικες νησιωτικές περιοχές του Ειρηνικού και άλλα νησιωτικά κράτη
50 KW	Επίγεια υβριδικά δευτεροβάθμια ΟΤΕC κλειστού κύκλου	Μαζούτ: \$50/βαρέλι Νερό: \$0.4/ m ³ Ή Μαζούτ: \$30/βαρέλι Νερό: \$0.8/ m ³	Χαβάη Πουέρτο Ρίκο Αν το νερό ή το καύσιμο κοστίζει διπλάσια
50 KW	Επίγεια ΟΤΕC κλειστού κύκλου	Μαζούτ: \$40/βαρέλι	Χαβάη- Πουέρτο Ρίκο Αν το νερό ή το καύσιμο κοστίζει διπλάσια
100 KW	πλωτή εγκατάσταση ΟΤΕC κλειστού κύκλου	Μαζούτ: \$20/βαρέλι	Πολυάριθμες τοποθεσίες

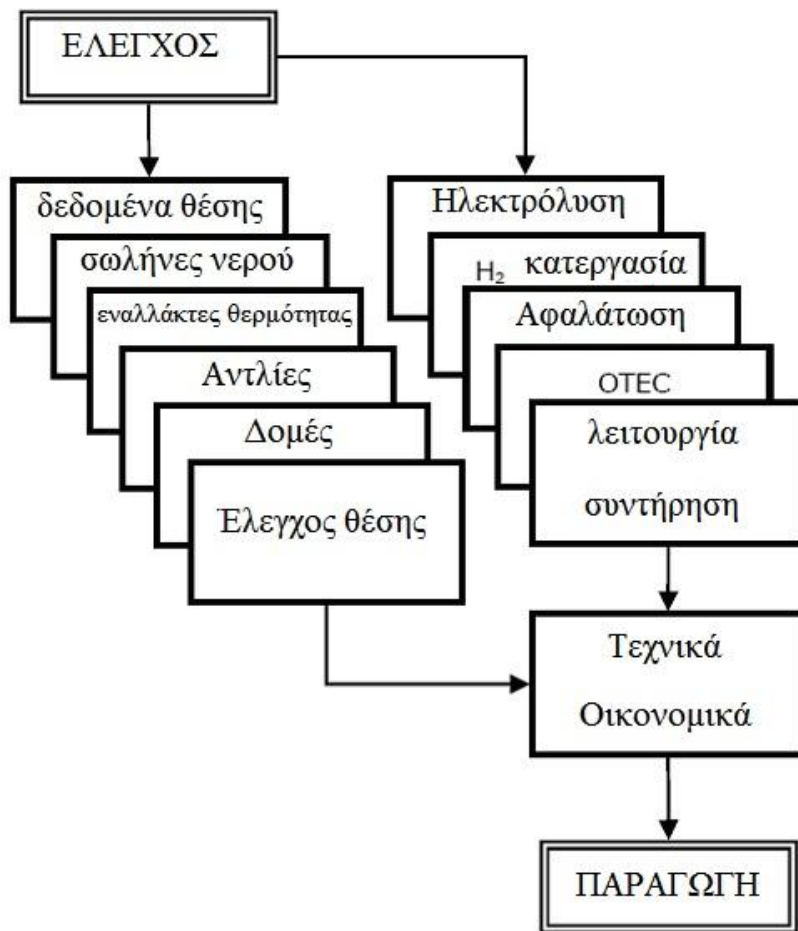
4.7 Οικονομικό και τεχνικό μοντέλο ΟΤΕC

Η Μακai έχει κάνει διάφορα προγράμματα ΟΤΕC κατά τη διάρκεια των τελευταίων 25 ετών, συμπεριλαμβανομένων του Mini-ΟΤΕC με αγωγό πρόσδεσης, της υδροδυναμικής δοκιμής των μεγάλων σωλήνων κρύου νερού, του σχεδιασμού και της διαχείρισης της κατασκευής τεσσάρων σωληνώσεων μεγάλου βάθους που χρησιμοποιούνται για τις δοκιμές ΟΤΕC, της δοκιμής εναλλακτών θερμότητας αργιλίου και των εννοιολογικών σχεδίων των εγκαταστάσεων ΟΤΕC. Έχει εμπορευματοποιηθεί αυτή η ερευνητική εργασία με το σχεδιασμό των σωληνώσεων εισαγωγής κρύου νερού από μεγάλα θαλάσσια βάθη και με την ανάπτυξη ενός παραμετρικού τεχνικού και οικονομικού λογισμικού για να υπολογιστεί η τιμή του κρύου νερού από τα βάθη της θάλασσας χρησιμοποιώντας την οικονομική ανάλυση των κύκλων ζωής. Αυτό το λογισμικό διευκολύνει την σύνδεση των τεχνικών χαρακτηριστικών του συστήματος και τις παραμέτρους χρηματοδότησης για να μεγιστοποιηθεί η αποδοτικότητα.

4.7.1 Περιγραφή του μοντέλου

Η Μακai χρησιμοποίησε τις έννοιες και το υπάρχον λογισμικό για να αναπτύξει μια ολοκληρωμένη ανάλυση δαπανών των κύκλων των τεχνικών και των χρηματοοικονομικών πλευρών των εγκαταστάσεων OTEC. Η ανάλυση αυτή επεκτείνεται για να προσομοιώσει τις πολυάριθμες ίδιες εγκαταστάσεις που λειτουργούν στις περιοχές με ίδιες ωκεάνιες θερμοκρασίας και υλικοτεχνική υποστήριξη και οικονομικές σχέσεις. Το προϊόν των εγκαταστάσεων θα μπορούσε να είναι συμπιεσμένο ή υγρό υδρογόνο, ή άνυδρη αμμωνία (NH₃). Τα πρώτα δύο προϊόντα θα καταναλωθούν άμεσα από μια οικονομία υδρογόνου, ενώ η αμμωνία είναι λιγότερο δαπανηρή για να αποθηκευθεί και να μεταφερθεί οπότε μπορεί να αντικαταστήσει την εισαγόμενη αμμωνία που παράγεται από το φυσικό αέριο.

Το Σχ. 4.7.1 παρουσιάζει μια περίληψη των διάφορων ενοτήτων που αποτελούν το πρότυπο, και τη γενική λογική του λογισμικού. Ακολουθεί μία περιληπτική περιγραφή της κάθε ενότητας.



Σχ.4.7.1 Σχεδιογράφημα της λειτουργίας ενός OTEC – H₂

Μονάδα ελέγχου – αυτό είναι το κύριο σημείο επαφής με τον χρήστη. Ο χρήστης μπορεί να ελέγξει τις μεταβλητές όπως ο τύπος του προϊόντος, ο ρυθμός παραγωγής, ο χρόνος αποθήκευσης, το βάθος εισαγωγής, το υλικό των αγωγών και οι ταχύτητες του νερού.

Δεδομένα θέσης – αυτή η ενότητα είναι υπεύθυνη για να προμηθεύσει το μοντέλο με τα συγκεκριμένα ωκεάνια σχεδιαγράμματα βάθους-θερμοκρασίας της τοποθεσίας. Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει μια γεωγραφική θέση για τις εγκαταστάσεις OTEC, και η ενότητα θα παραπέμψει τα αντίστοιχα αποθηκευμένα στοιχεία του σχεδιαγράμματος θερμοκρασία-βάθους.

Σωλήνες νερού – Απαιτούνται τεράστιοι αγωγοί και μια ουσιαστική προσπάθεια άντλησης στις εγκαταστάσεις OTEC για να χρησιμοποιηθεί η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του κρύου νερού από μεγάλα ωκεάνια θαλάσσια βάθη και του θερμού νερού επιφάνειας. Ο τεράστιος όγκος του κρύου νερού που απαιτείται από το σύστημα OTEC απαιτεί έναν αγωγό μεγάλης διαμέτρου που θα εκτείνεται από την πλατφόρμα, στην επιφάνεια ή κοντά σε αυτή, σε ένα ιδιαίτερο βάθος (~500 έως 1500 μέτρα). Η ενότητα των αγωγών νερού εκτελεί τους υπολογισμούς (βασισμένους στις επιλογές του χρήστη και τα αποθηκευμένα στοιχεία αναφοράς) σχετικά με τα ποσοστά ροής, το μέγεθος του αγωγού και το κόστος τους. Αυτή η ενότητα εκτελεί την εκτίμηση δαπανών βασισμένη στις υλικές δαπάνες, τις δαπάνες κατασκευής και το συνολικό μέγεθος του αγωγού. Οι παράμετροι προέρχονται από τη βασική δομική και υδραυλική ανάλυση που συνδυάζεται με τις ιδιότητες των υλικών, τις υλικές δαπάνες και τα στοιχεία δαπανών από προηγούμενους σωλήνες κρύου νερού και προγράμματα OTEC.

Εναλλάκτες θερμότητας – η ζήτηση της παραγωγής υδρογόνου, η αποδοτικότητα των μονάδων, το κύριο κόστος, τα βάρη, οι όγκοι και οι περιοχές χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν το κόστος, το μέγεθος και το βάρος αυτού του υποσυστήματος. Οι εκτιμήσεις για την διάβρωση και την βιολογική αγκίστρωση επιδρούν στην διαδικασία επιλογής. Οι μελέτες δείχνουν ότι υπάρχουν διάφορα πιθανά υλικά και διάφορες πιθανές διαμορφώσεις των εναλλακτών θερμότητας κατάλληλα για τις εφαρμογές θαλασσινού νερού.

Οι αντλίες – η γενική διαμόρφωση της υψηλής απόδοσης μιας αντλίας είναι συνάρτηση του σημείου λειτουργίας ροής και ύψους. Ο παρά πολύ μεγάλος ρυθμός ροής του νερού και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των αντλιών OTEC χαμηλού ύψους θαλασσινού νερού οδηγούν άμεσα στην επιλογή μιας μονάδας τύπου έλικα αξονικής ροής ή μιας μονάδας τύπου μικτής ροής.

Δομές – αυτή η ενότητα ασχολείται με την διαμόρφωση των θαλάσσιων κατασκευών με σκοπό να προσαρμοστούν στην λειτουργία OTEC. Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν είναι σχετικά με το κόστος και τη διαμόρφωση των παρόντων μεγάλων φορητών πλοίων, των δεξαμενόπλοιων και των κινητών παράκτιων βάσεων. Ένα πλαίσιο για το κόστος κατασκευής αναπτύσσεται ως συνάρτηση των χρήσιμων βαρών και των όγκων. Τα διάφορα υποσυστήματα των εγκαταστάσεων OTEC θα τοποθετηθούν έπειτα μέσα σε αυτό το πλαίσιο για να αντληθεί κάποιο κόστος. Η πιο πρόσφατη παραγωγή των παράκτιων πλατφορμών κατακόρυφου τύπου έχουν μία αξιοπρόσεκτη ομοιότητα με τις εγκαταστάσεις OTEC.

Έλεγχος θέσης – Οι εγκαταστάσεις πρέπει να βρίσκονται στο βαθύ ωκεανό και μπορεί να υποβληθούν σε ανεπιθύμητες φορτίσεις αέρα και κυμάτων. Το πρότυπο επιτρέπει την επιλογή των λειτουργικών εγκαταστάσεων OTEC ως αγκυροβολημένη πλατφόρμα ή ως εγκατάσταση με δυναμική διατήρηση θέσης. Καθεμία επιλογή χρησιμοποιεί τα κατάλληλα στοιχεία δαπανών που προκύπτουν από τις προηγούμενες οικονομικές μελέτες των συστημάτων OTEC και τα πρόσφατα προγράμματα OTEC. Η άντληση θεωρείται πιο ευέλικτη και δίνει την ελευθερία στις εγκαταστάσεις να περιηγηθούν σε ωκεάνιες θέσεις με καταλληλότερη θερμοκρασία. Από οικονομική πλευρά, η χρήση μιας εγκατάστασης τύπου πλοίου θα μειώσει τις αρχικές κύριες δαπάνες για τον εξοπλισμό πρόσδεσης αλλά παράγει ελαφρώς

λιγότερη καθαρή ισχύς. Αυτή η ανάλυση χρησιμοποιεί την άντληση ως τεχνική ελέγχου θέσης.

Η ηλεκτρόλυση – η ενότητα της ηλεκτρόλυσης μιμείται τις διαδικασίες και τις δαπάνες που συνδέονται με το υδρογόνο που παράγεται με ηλεκτρόλυση. Οι μεγαλύτεροι και πιο δαπανηροί ηλεκτρολύτες που χρησιμοποιούνται αυτήν την περίοδο είναι αλκαλικού διπολικού τύπου. Άλλοι πιθανοί τύποι ηλεκτρολυτών θα ήταν ο μονοπολικός τύπος ή ο τύπος SPE (στερεός πολυμερής ηλεκτρολύτης). Η ενότητα κατασκευάζεται ώστε να επιτρέψει την εκτίμηση των διάφορων σεναρίων όπως τους μελλοντικούς με χαμηλό κόστος SPE έναντι του αλκαλικού διπολικού τύπου.

Κατεργασία H₂ – το χαμηλής πίεσης αέριο υδρογόνο πρέπει είτε να συμπιεστεί είτε να υγροποιηθεί για να δημιουργηθεί ένα καύσιμο με μια επαρκή ενεργειακή πυκνότητα. Και οι δύο διαδικασίες απαιτούν ενέργεια και εξοπλισμό που διαμορφώνονται από αυτήν την ενότητα. Υπολογίζεται ότι η συμπίεση του υδρογόνου έχει μια σχετική ενεργειακή κατανάλωση 4-8% και η ρευστοποίηση έχει μια ενεργειακή κατανάλωση 40%. Η αμμωνία παράγεται με την αντίδραση του υδρογόνου με το άζωτο και λαμβάνεται από μια μονάδα διαχωρισμού αέρα.

Αφαλάτωση - το γλυκό νερό απαιτείται για την ηλεκτρόλυση. Αυτή η ενότητα αναλύει τις απαιτούμενες ροές και καθορίζει τον όγκο και τα βάρη που απαιτούνται.

OTEC – αυτή η ενότητα υπολογίζει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με τη βοήθεια ενός κύκλου Rankine χαμηλής θερμοκρασίας. Ο εξοπλισμός OTEC αποτελείται από τους στροβίλους, το υγρό λειτουργίας, τις αντλίες, τους αγωγούς, τις βαλβίδες, τις δεξαμενές, τις γεννήτριες, τα όργανα μέτρησης και ελέγχου. Μελετήθηκαν οι πτυχές του κύκλου Rankine και των πιο περίπλοκων κύκλων Kalina και Uehara. Οι μεταβλητές για τη μέγιστη παραγωγή ισχύος είναι: οι θερμοκρασίες θερμού και κρύου νερού, τα ποσοστά θερμικής χωρητικότητας θερμού και κρύου νερού (μαζική ροή επί την θερμική χωρητικότητα του νερού) και τα μεγέθη του εξατμιστήρα και του συμπυκνωτή.

Λειτουργία και συντήρηση – αυτή η ενότητα υπολογίζει το κόστος και την υλικοτεχνική υποστήριξη για την λειτουργία της εγκατάστασης OTEC τύπου πλοίου. Χρησιμοποιείται ένας ενιαίος συντελεστής εργασίας \$1200 το άτομο ανά ημέρα.

Τεχνικά και οικονομικά - η οικονομική ενότητα χρησιμοποιεί την αναλυτική διαδικασία που αναπτύσσεται από το Electric Power Research Institute στον τεχνικό οδηγό αξιολόγησής τους (Technical Assessment Guide - TAG). Το μοντέλο TAG είναι μια μέθοδος οικονομικής ανάλυσης με την σύγκριση ενός εναλλακτικού ενεργειακού συστήματος έναντι σε άλλα συμβατικά ενεργειακά συστήματα με τις διαφορετικές, αλλά αποδεδειγμένες, κύριες και λειτουργικές δαπάνες. Το επιπεδοποιημένο κόστος παραγωγής καυσίμων (διάρκειας ζωής) υπολογίζεται από το πρότυπο TAG. Αυτό το πρότυπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει ότι την ίδια επιπεδοποιημένη τιμή για τις ανταγωνιστικές τεχνολογίες και έπειτα μπορεί να γίνει μια δίκαιη σύγκριση των δαπανών.

Μεταφορά και διαχείριση οικονομικών στοιχείων - οι δαπάνες είναι βασισμένες στα ποσοστά της παγκόσμιας ναυτιλίας που χρησιμοποιούν την έρευνα που εκτελείται από την Makai. Το ποσοστά των δεξαμενόπλοιων φυσικού αερίου (LNG) χρησιμοποιείται για το υγρό υδρογόνο, τα νέα δεξαμενόπλοια συμπιεσμένου φυσικού αερίου (CNG) χρησιμοποιούνται για το συμπιεσμένο υδρογόνο, και το ποσοστό των δεξαμενόπλοιων του υγρού πετρελαίου (LPG) χρησιμοποιούνται για την αμμωνία, η οποία είναι η τρέχουσα πρακτική. Υποθέτοντας τις ίδιες σημαντικές ανακαλύψεις της ναυτιλίας υδρογόνου τα έξοδα μεταφοράς αποτελούν ένα μικρό μέρος του συνολικού κόστους συστημάτων του μοντέλου.

4.7.2 Βελτιστοποίηση των διαμορφωμένων εγκαταστάσεων ΟΤΕC

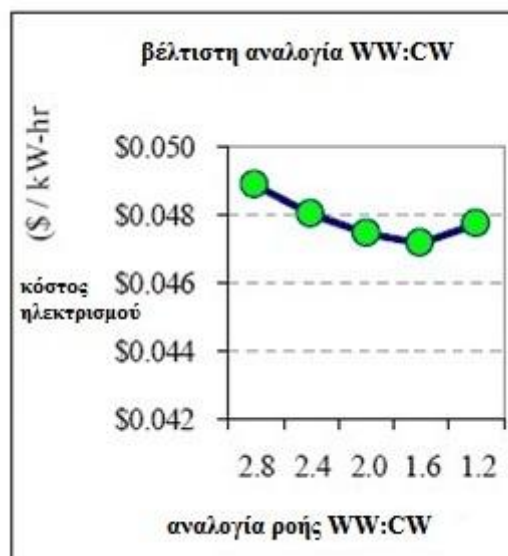
Πολυάριθμες παράμετροι ΟΤΕC είναι εύκολα ελέγξιμες από το χρήστη. Οι παράμετροι που αξιολογούνται συνοψίζονται στον πίνακα 2. Διαμορφώθηκαν διάφορες βασικές παράμετροι για να καθιερωθεί ένα βελτιστοποιημένο βασικό σχέδιο. Οι βασικές παράμετροι που αξιολογήθηκαν πρώτα ήταν η αναλογία ροής κρύου και θερμού θαλάσσιου νερού, το βάθος των σωλήνων εισαγωγής κρύου νερού (CWP) και η ταχύτητα του θαλάσσιου νερού μέσα στον (CWP). Μόλις βελτιστοποιηθούν κατά προσέγγιση αυτές οι βασικές παράμετροι για να χρησιμεύσουν ως ένα βασικό σύστημα ΟΤΕC, οι συνθήκες που αντιπροσωπεύουν τα διάφορα λογικά σενάρια οργανώθηκαν, όπως παρουσιάζονται αργότερα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Βασικές παράμετροι των εγκαταστάσεων ΟΤΕC

Παράμετρος	Διακύμανση	Περιγραφή
CW : WW Λόγος πηγής	1,2 – 2,8	Η αναλογία ζεστού νερού και κρύου νερού επηρεάζει την απόδοση των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής και του κόστους κεφαλαίου
CWP βάθος εισροής	500 – 1500m	βαθύτερα το νερό είναι πιο κρύο, άρα η διαδικασία είναι περισσότερο αποδοτική - αλλά με μεγαλύτερο κόστος CWP
CWP ταχύτητα	2 – 6m/s	Με μεγαλύτερη ταχύτητα στον κρύο σωλήνα εισαγωγής νερού χρησιμοποιείται μικρότερη σωλήνα, αλλά περισσότερη ισχύς
προϊόν	H ₂ (l), H ₂ (g), NH ₃ (l)	Αναλύθηκαν 3 προϊόντα: συμπιεσμένο ή υγρό υδρογόνο και υγρή αμμωνία

Μέγεθος εγκατάστασης	25 – 200tpd	το μέγεθος της εγκατάστασης από άποψη των μετρικών τόνων του υδρογόνου που παράγεται ανά ημέρα
Τοποθεσία	Δ.Ειρηνικός Ωκεανός Α.Ειρηνικός Ωκεανός Δ.Ατλαντικός Ωκεανός	Τοποθεσίες εγκαταστάσεων διέπει το προφίλ των ωκεανών της θερμοκρασίας και έξοδα αποστολής
Χρηματοδότηση	4 – 18%	Η OTEC χρειάζεται μεγάλα κεφάλαια που εξαρτώνται από τα επιτόκια του οικονομικού συστήματος

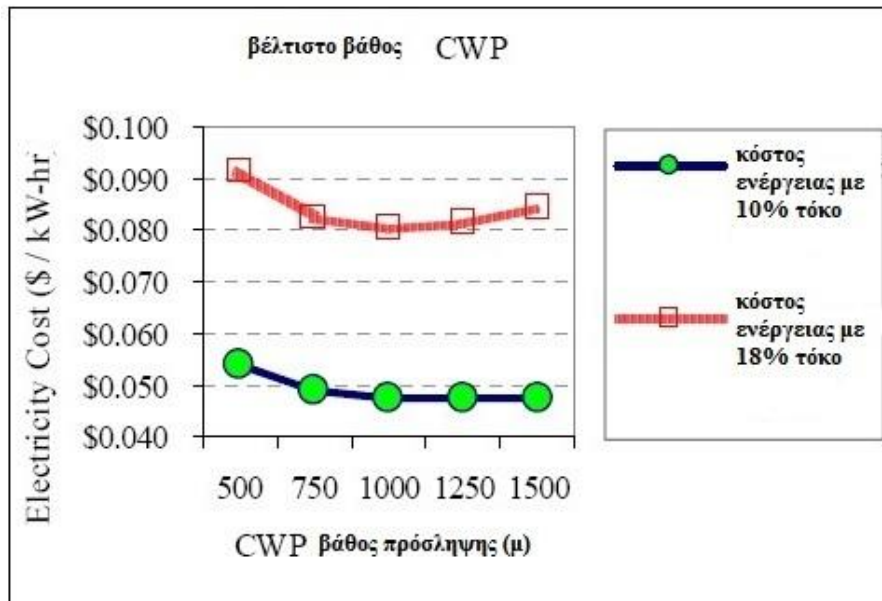
Το Σχ. 4.7.2 δείχνει ότι το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας από εγκαταστάσεις OTEC 100 τόνων ανά ημέρα (tpd) ποικίλλει καθώς η αναλογία του θερμού και κρύου νερού της θάλασσας αλλάζει. Σε καθαρά θερμοδυναμική βάση, οι σχεδόν ίσες ροές νερού της θάλασσας πρέπει να είναι κατάλληλες. Αλλά το υψηλό κόστος του σωλήνα κρύου νερού ευνοεί τη χρησιμοποίηση 1,6 φορές περισσότερου θερμού νερού της θάλασσας (μέσω της σύντομης και ανέξοδης διοχέτευσης με σωλήνες) για να παρέχει τις ίδιες διαφορές θερμοκρασίας. Η ελάχιστη επιλεγμένη τιμή αντιπροσωπεύει τη βέλτιστη διαμόρφωση.



Σχήμα 4.7.2 Η βέλτιστη αναλογία του ζεστού θαλασσινού νερού σε σχέση με κρύο θαλασσινό νερό είναι 1.6

Η ταχύτητα μέσα στο σωλήνα κρύου νερού είναι μια μεταβλητή που μπορεί να βελτιστοποιηθεί. Υψηλότερες ταχύτητες στον CWP σημαίνει ότι ο CWP μπορεί να έχει μικρότερο μέγεθος και να ελαχιστοποιηθεί το κύριο κόστος. Προσδοκείται ότι η κύρια αποταμίευση θα προκαλούσε την ανάγκη για την μεγαλύτερη άντληση

ενέργειας. Αντ' αυτού, το μοντέλο αυτό παρουσιάζει ότι υπάρχει μια σχετικά αδύνατη λειτουργία μεταξύ της ταχύτητας και των απωλειών τριβής του νερού της θάλασσας επειδή οι σωλήνες είναι μεγάλοι σε σύγκριση με τους τυπικούς των αστικών εργασιών. Το μοντέλο πρότεινε ότι η βέλτιστη ταχύτητα του CWP είναι γρηγορότερη από 6 m/s. Καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι άλλοι παράγοντες, όπως το σχεδιάγραμμα πολλαπλών σωληνώσεων, θα ήταν σημαντικοί και χρησιμοποιήθηκε μια μέγιστη ταχύτητα 4 m/s στον CWP.



Σχήμα. 4.7.3

Βέλτιστο βάθος σωλήνα κρού νερού. Για 10% επιτόκιο, το βέλτιστο βάθος CWP είναι 1250μ. Σε επιτόκιο 18% το υψηλότερο κόστος χρηματοδότησης ευνοεί τη λιγότερο δαπανηρή CWP 1000μ.

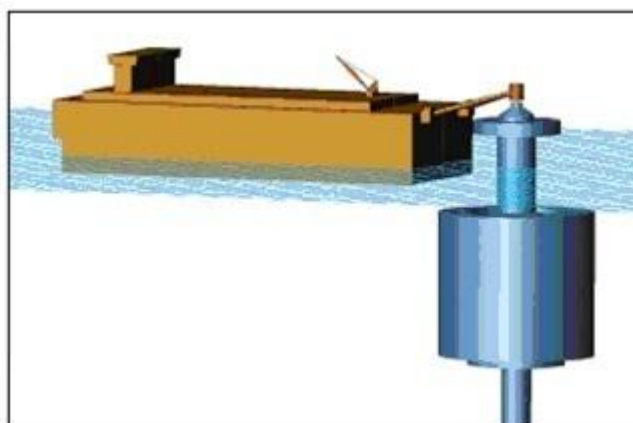
4.8 Αποτελέσματα μοντέλου OTEC

4.8.1 Μελλοντικά οικονομικά OTEC

Επιλέχθηκε μια εγκατάσταση OTEC υγρού υδρογόνου 100 tpd. Τα σημαντικά συστατικά, οι δαπάνες και οι παράμετροι παρουσιάζονται στον πίνακα 4.8.1. Τα υλικά και τα στοιχεία του ενεργειακού ισοζυγίου ελήφθησαν απευθείας από το μοντέλο. Χρειάστηκαν 20 έτη λειτουργίας του σχεδίου για να είναι εφικτή η σύγκριση με τις τεχνολογίες παραγωγής εναλλακτικού υδρογόνου που επίσης χρησιμοποιείται για 20 έτη. Για μία εγκατάσταση OTEC, πιθανώς να είναι μια σχετικά σύντομη ζωή. Ένα επίπεδο παραγωγής ικανότητας 92% υποτίθεται ότι θα επέτρεπε τη συντήρηση, τις επισκευές και τις ακραίες καιρικές συνθήκες. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου συστήματος (που αποτελείται ενδεχομένως από δύο σημαντικά συστατικά έτσι ώστε το είδος του προϊόντος να μπορεί να τροποποιηθεί) παρουσιάζεται στο Σχ. 4.8.2. Πρέπει να σημειωθεί ότι το πρότυπο δαπανών OTEC είναι πραγματικά βασισμένο στην πιο εκτενή βιβλιογραφία που είναι διαθέσιμη για μεγάλες πλωτές εγκαταστάσεις όμοιες με πλοίο.

Πίνακας 4.8.1 Ενδεικτικά 100 τόνοι H₂, ανά ημέρα σε εγκατάσταση OTEC

Παράμετρος	Βασική τιμή	Υποσύστημα	Κόστος (\$εκατομμύρια)
CW:WW	1,6	Ηλεκτρόλυση	\$24M
CWP βάθος	1250m	ρευστοποίηση	\$113M
CWP διάμετρος	10.5m	Σωλήνες Νερού	\$90M
προϊόν	Υγρό H ₂	Αντλίες Νερού	\$57M
Μέγεθος εγκατάστασης	100tpd	Διεργασία OTEC	\$247M
τοποθεσία	A. Ειρηνικός	Κατασκευή	\$174M
χρηματοδότηση	10%	Συνολική	\$708M
Θερμοκρασία WW	28,4°C	Ροή WW	553 m ³ /sec
Θερμοκρασία CW	3,6°C	Ροή CW	346 m ³ /sec
Ισχύς Δικτύου	235MWe	Εκτόπισμα	471.000mT
Κόστος Ηλεκτρικής Ενέργειας	4.6 ¢/kWhr	απόδοση	80%
Τιμή H ₂	1413 m ³ /d	Ηλεκτρόλυση	46.4kWhr/kg H ₂



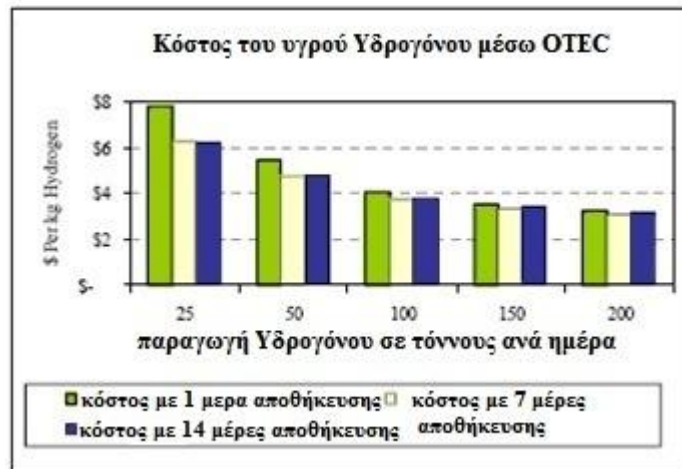
Σχήμα 4.8.2

Σχέδιο από μια ηλεκτρική εγκατάσταση OTEC τύπου-δοκού που προμηθεύει ένα FPSO το οποίο παράγει και αποθηκεύει αμμωνία ή κάποιο άλλο εμπορεύσιμο προϊόν ενέργειας

4.8.2 Εξεταζόμενα σενάρια

Οι προσομοιώσεις οργανώθηκαν σε μια οικογένεια σεναρίων λόγω των πολλών τεχνικών και μεταβλητών χρηματοδότησης που περιλαμβάνονται με τη διαμόρφωση του συστήματος, των διοικητικών μερίμων και της χρηματοδότησης για έναν στόλο OTEC. Στην συγκεκριμένη μελέτη ερευνήθηκαν πέντε σενάρια σχετικά με τον συντελεστή παραγωγής των εγκαταστάσεων, τον τόπο εγκατάστασης, τον τύπο προϊόντος και το ποσοστό χρηματοδότησης.

Συντελεστής παραγωγής της εγκατάστασης – Έχουν διαμορφωθεί μεγέθη εγκαταστάσεων παραγωγής 25, 50, 100, 150 και 200 tpd υδρογόνου. Όπως αναμένεται, η τεχνολογία OTEC εμφανίζει μία σημαντική οικονομία της κλίμακας που παρουσιάζεται στα Σχ. 4.8.2 (α) και (β).



Σχήμα 4.8.2(α) Το κόστος του υγρού υδρογόνου στο μέλλον δείχνει κλιμακωτή οικονομία για τις μεγάλες μονάδες OTEC

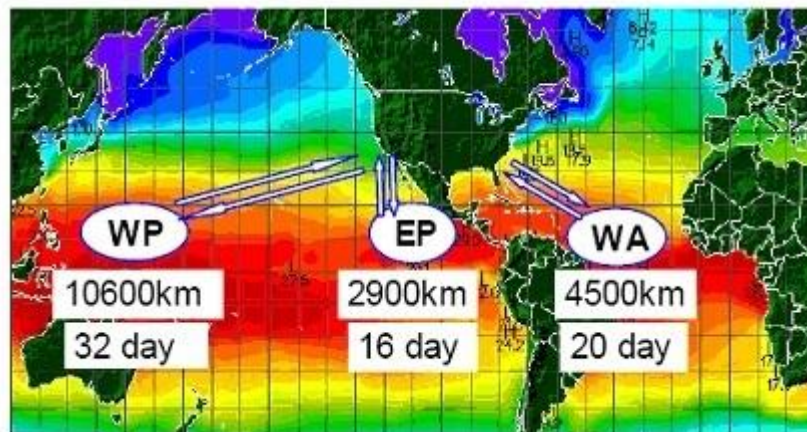


Σχήμα.4.8.2(β) Η γενική τάση των τιμών για τις μελλοντικές μονάδες αμμωνίας OTEC είναι παρεμφερής με τις μονάδες υγρού υδρογόνου, αλλά το συνολικό κόστος είναι μικρότερο.

Παραγόμενο προϊόν – Για τους ίδιους συντελεστές παραγωγής εξετάστηκαν οι εγκαταστάσεις που θα παράγουν το συμπιεσμένο υδρογόνο, το υγρό υδρογόνο και την αμμωνία. Γενικά, οι δαπάνες του υγρού και του συμπιεσμένου υδρογόνου είναι παρόμοιες, με το όφελος του πιο εύκολου στην μεταφορά υγρού υδρογόνου να ισορροπείται από το κόστος και τον όγκο του εξοπλισμού υδροποίησης. Η αποστολή του υδρογόνου στην ακτή ως αμμωνία παρέχει χαμηλότερο κόστος, αλλά η αμμωνία δεν είναι προς το παρόν ένα προϊόν που προβλέπεται για την οικονομία υδρογόνου.

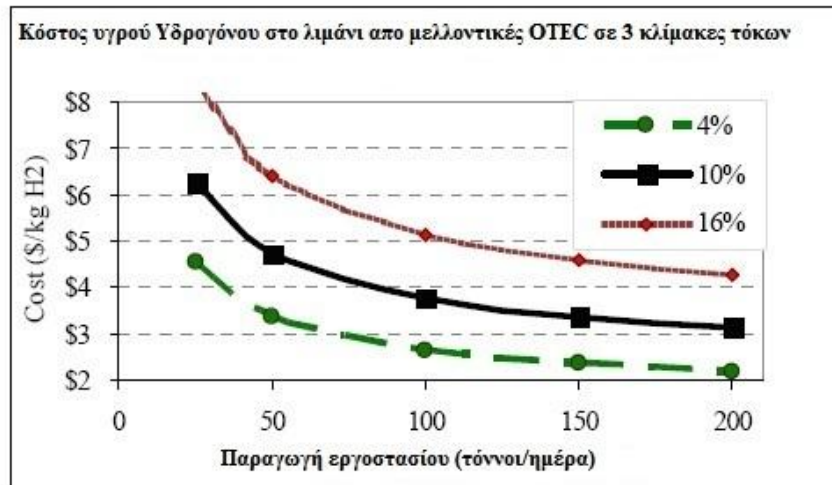
Αποθήκευση – Ερευνήθηκε το όφελος της αποθήκευσης 1, 7 ή 14 ημερών του προϊόντος στην εγκατάσταση πριν από το ξεφόρτωμα στο δεξαμενόπλοιο. Το πιθανό όφελος της πρόσθετης αποθήκευσης είναι λιγότερες διαδικασίες μεταφοράς, ενώ το μειονέκτημα είναι ότι πρέπει να είναι μεγαλύτερη η εγκατάσταση. Η μοντελοποίηση δείχνει ότι οι αποκλίσεις δαπανών μεταξύ 7 και 14 ημερών αποθήκευσης είναι μάλλον μικρές.

Τοποθεσία – Για εγκαταστάσεις υδρογόνου 100 tpd, αξιολογήθηκε το κόστος της αμμωνίας για τρεις διαφορετικές θέσεις συλλογής του στόλου εγκαταστάσεων OTEC. Αυτές οι θέσεις παρουσιάζονται στο σχέδιο 8 και ονομάζονται Δυτικού Ειρηνικού Ωκεανού (που υποτίθεται ότι επικεντρώνεται ανατολικά σε γεωγραφικό πλάτος 139.5° και βόρεια σε γεωγραφικό μήκος 9.5°), Ανατολικού Ειρηνικού Ωκεανού (100.5°Δ, 12.5° Β) και Δυτικού Ατλαντικού Ωκεανού (47.5°Δ, 4.5°Β). Η θερμή και η κωντική στον ανατολικό Ειρηνικό περιοχή εγκατάστασης παρέχει υδρογόνο χαμηλού κόστους (που προέρχεται από την αμμωνία) με κόστος \$3,07 ανά kg H₂. Η θερμότερη αλλά πιο απόμακρη περιοχή εγκατάστασης του Δυτικού Ειρηνικού έχει σχεδόν το ίδιο κόστος, \$3,08 ανά kg H₂ και το κόστος των περιοχών του Δυτικού Ατλαντικού έχουν κόστος 8% περισσότερο.



Σχήμα 4.8.3 Η μονόδρομη απόσταση και ο μετ'επιστροφής χρόνος για τα σκάφη που εξυπηρετούν πολλές εγκαταστάσεις OTEC (το καθένα με 14-ημέρα αποθεματοποίησης) στο Δυτικό Ειρηνικό (WP), Ανατολικό Ειρηνικό (EP) ή Δυτικό Ατλαντικού (WA) Ωκεανό. Η ζεστή επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας εμφανίζεται ως κόκκινο σε αυτήν την εικόνα

Ποσοστό χρηματοδότησης – Χρησιμοποιώντας το μοντέλο, διαφοροποιήθηκε ο χρόνος λειτουργίας και το σταθερό επιτόκιο των εγκαταστάσεων OTEC. Το Σχ. 4.8.4 παρουσιάζει την τιμή του υγρού υδρογόνου από τις εγκαταστάσεις OTEC σε ένα επιτόκιο 4%, 10% ή 16%, υποθέτοντας ως χρόνο λειτουργίας τα 20 έτη. Για λόγους απλούστευσης, οι τιμές για τα ομόλογα και τα κεφάλαια θεωρούνται τα ίδια. Ένα επιτόκιο 4% θα προσδώσει σημαντική κυβερνητική υποστήριξη, το 10% χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση του βασικού σεναρίου, και το 16% θα αποτελούσε μια εξαιρετική απόδοση της επένδυσης. Μεγαλώνοντας τον χρόνο λειτουργίας μειώνεται το κόστος του υδρογόνου αλλά είναι λιγότερο σημαντικό από την μεταβολή του σταθερού επιτοκίου.



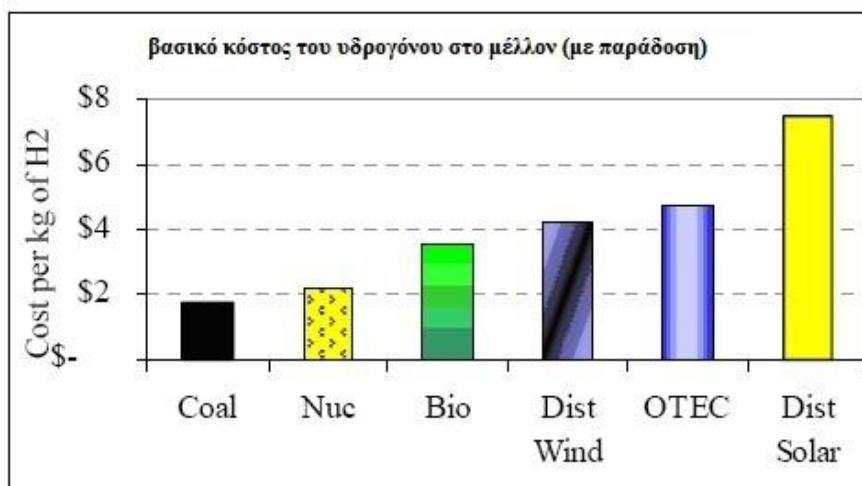
Σχήμα 4.8.4 Το κόστος του υδρογόνου συντίθενται σε μελλοντικές πλωτές εγκαταστάσεις του Ανατολικού Ειρηνικού που χρηματοδοτούνται με τρία διαφορετικά επιτόκια

4.9 ΟΤΕC και άλλες μελλοντικές τεχνολογίες υδρογόνου

4.9.1 Σύγκριση κόστους πηγών υδρογόνου

Το Σχ.4.9.1 παρουσιάζει τις εκτιμώμενες δαπάνες παραγωγής και διανομής σε έναν ονομαστικό σταθμό ανεφοδιασμού υδρογόνου όπου χρησιμοποιούν το υδρογόνο από έξι πιθανές μελλοντικές πηγές. Οι δαπάνες εκτός από ΟΤΕC είναι βασισμένες στο σχήμα 5.3 και έχουν προσαρμοστεί ώστε να συμπεριλάβουν \$1/kg για την διανομή υδρογόνου ή 3¢/kWhr για το κόστος διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για να επιτρέψουν την άμεση σύγκριση.

Το κόστος του υδρογόνου από τον άνθρακα ('Coal') είναι βασισμένο στην αεριοποίηση του άνθρακα με την δέσμευση του CO₂ σε μεγάλες εγκαταστάσεις 1.200 τόνων H₂ ανά ημέρα. Το κόστος του υδρογόνου από την πυρηνική διάσπαση ('Nuc') είναι βασισμένο στην μη αποδεδειγμένη τεχνική πυρηνικής θερμικής διάσπασης για να παραχθεί αποτελεσματικά το αέριο υδρογόνου. Το κόστος του υδρογόνου από την βιομάζα ('Bio') είναι βασισμένο σε μία εγκατάσταση αεριοποίησης παραγωγής 24 τόνων H₂ ανά ημέρα. Το κόστος για το υδρογόνο ηλεκτρόλυσης από τις καταναμημένες ανεμογεννήτριες ('Dist Wind') υποθέτει ηλεκτρική ενέργεια 4¢/kWhr από τις ανεμογεννήτριες συν 3¢/kWhr δαπάνες διανομής που τροφοδοτούν τις χαμηλού κόστους (\$125/kW) μελλοντικές μονάδες ηλεκτρόλυσης που εφοδιάζουν με 1,2 τόνους ανά ημέρα συμπιεσμένου υδρογόνου σε έναν σταθμό ανεφοδιασμού. Το κόστος για το καταναμημένο ηλεκτρολυμένο υδρογόνο από φωτοβολταϊκά ('Dist Solar'), υποθέτει ηλεκτρική ενέργεια 9.8¢/kW-hr από τις ανεμογεννήτριες συν 3¢/kW-hr δαπάνες διανομής που τροφοδοτούν τις χαμηλού κόστους (\$125/kW) μελλοντικές μονάδες ηλεκτρόλυσης που εφοδιάζουν 432 kg ανά ημέρα σε έναν σταθμό ανεφοδιασμού.



Σχήμα 4.9.1 Μελλοντικά κόστη παροχής Υδρογόνου σε πρατήρια καυσίμων

Το κόστος για το υδρογόνο από τις εγκαταστάσεις OTEC είναι βασισμένο στο οικονομικό μοντέλο OTEC Makai για τις εγκαταστάσεις 200 τόνων ανά ημέρα που χρησιμοποιούν οι μελλοντικές μονάδες ηλεκτρόλυσης \$125/kW και την εν πλω αποθήκευση 14 ημερών μεταφοράς του υγρό υδρογόνου στο λιμένα για \$3.74/kg, συν \$1/kg για το κόστος παράδοσης. Ένα σταθερό επιτόκιο 14% και μια απροσδιόριστη (άπειρη) ζωή λειτουργίας χρησιμοποιούνται για να ταιριάξουν με τους υπολογισμούς για το κατανεμημένο αιολικό και ηλιακό. Το μοντέλο προβλέπει ότι αυτές οι μεγάλες εγκαταστάσεις θα εκτοπίσουν 744.000 τόνους με ένα κόστος \$1,2 δισεκατομμυρίων.

4.9.2 Άλλες εκτιμήσεις πηγών υδρογόνου

Το Σχ.4.9.1 δείχνει ότι η οικονομία του υδρογόνου είναι πιθανόν να παρέχεται από την αεριοποίηση του άνθρακα ή την πυρηνική ενέργεια επειδή είναι χαμηλότερο το κόστος. Η μαζική αεριοποίηση του άνθρακα υποθέτει τον κίνδυνο ότι το συνοδευτικό διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να απορροφάται με την περιβαλλοντική ασφάλεια σε ανταγωνιστικό κόστος. Επιπλέον, η μακροπρόθεσμη αποθήκευση των ραδιενεργών πυρηνικών αποβλήτων δημιουργεί μία μόνιμη απειλή για πολλές γενεές. Και οι δύο μέθοδοι παράγουν εκπομπές που πρέπει να παραμείνουν αποθηκευμένες με ασφάλεια για τα χρονικά πλαίσια που υπερβαίνουν αυτά που προβλέπονται για την εγγυημένη διαφύλαξή τους.

Από τις ανανεώσιμες τεχνολογίες, η βιομάζα έχει το χαμηλότερο κόστος. Εάν το υδρογόνο που θα απαιτηθεί για τα οχήματα το 2050 παρήχθη από τη βιομάζα, η απαίτηση εδάφους θα ήταν 33% των Αμερικάνικων καλλιεργήσιμων εδαφών. Υπάρχουν ακόμα αβεβαιότητες ότι το συνολικό σύστημα παραγωγής βιομάζας μπορεί να αποφέρει σημαντικά περισσότερα από την ενέργεια που χρειάζεται για την καλλιέργεια και την ανάπτυξη των φυτών switchgrass που χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη στην βιομάζα. Η μακρόχρονη κρατική εμπειρία με την επιδοτούμενη αιθανόλη δεν παρουσιάζει ακόμα καμία καθαρή μείωση της εισαγόμενης ενέργειας.

Οι ανεμογεννήτριες, εάν τοποθετηθούν σε ζώνη ανέμων κατηγορίας 3 όπως η Βόρεια Ντακότα, θα απαιτούσαν περίπου 2,3% των περιοχών μέσα στις ηπειρωτικές Ηνωμένες Πολιτείες. Ένας λόγος που οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν

μεγαλύτερες περιοχές εδαφών είναι επειδή ο άνεμος είναι μια διακοπτόμενη πηγή ενέργειας. Ο Πίνακας 4.9.2(α) δείχνει ότι ο συντελεστής ετήσιας παραγωγικής ικανότητας για την αιολική ενέργεια είναι 0,39 έναντι της πυρηνικής ηλεκτρόλυσης. Επίσης, οι κατανεμημένες ανεμογεννήτριες σε όλες τις ΗΠΑ δεν λειτουργούν με τις ιδανικές συνθήκες και θα απαιτηθεί περαιτέρω αύξηση των εδαφών που χρησιμοποιούνται. Το αποτέλεσμα των ευρέως διαδεδομένων ανεμογεννητριών θα ήταν να κυριαρχούν στα τοπία των Αμερικάνικων πόλεων και θα ανταγωνίζονταν με άλλες χρήσεις γης.

Τα φωτοβολταϊκά θα κόστιζαν περισσότερο από τα ΟΤΕC, αλλά μπορεί να είναι χρήσιμα στις περιοχές με μικρό πληθυσμό και υψηλή έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία. Με βάση τον Πίνακα 4.9.2(α), η ετήσια ηλιακή παραγωγική ικανότητα είναι 0,29 σε σχέση με την πυρηνική ηλεκτρόλυση.

Πίνακας 4.9.2(α) Παραγωγή υδρογόνου από εγχώριους πόρους για την παραγωγή 40 εκατομμύρια τόνων καυσίμων υδρογόνου για 150 εκατομμύρια οχήματα

Πόρος	Απαίτηση Υδρογόνου σε ετήσια βάση	Πόρος	Απαιτούμενο αποτύπωμα
Αναμόρφωση και / ή μερική οξείδωση			
Φυσικό Αέριο	95 εκατ. τόνοι	49 χρόνια	400 μονάδες
Άνθρακας	310 εκατ. τόνοι	89 χρόνια	280 μονάδες
Βιομάζα	400-800 εκατ. τόνοι	δεν είναι διαθέσιμο	400-600 μονάδες
Ηλεκτρόλυση νερού ή θερμο-χημική			
Άνεμος	555 GW _e	δεν είναι διαθέσιμο	Βόρεια Ντακότα κατηγορία Ανέμου 3
Ηλιακός	740 GW _e	δεν είναι διαθέσιμο	3750 τετ. μίλια
Πυρηνική (Ηλεκτρόλυση)	216 GW _e	δεν είναι διαθέσιμο	200 μονάδες
Πυρηνική (θερμο-χημική)	300 GW _e	δεν είναι διαθέσιμο	125 μονάδες
ΟΤΕC	216 GW _e	δεν είναι διαθέσιμο	500-1000 μονάδες

Ο πίνακας 4.9.2(β) απεικονίζει αυτές τις διαφορετικές πτυχές των μεθόδων παροχής υδρογόνου. Σε τρεις πρόσθετες κατηγορίες (κινδύνου ρύπανσης, κίνδυνοι τεχνικοί και κόστους, και εξάντληση πόρων) δίνοντας ένα αποτέλεσμα που κυμαίνεται από '1' (καλό) σε '3' (κακό).

Η αεριοποίηση άνθρακα είναι βασισμένη σε έναν πεπερασμένο πόρο και έχει κίνδυνο ρύπανσης, αλλά είναι και λιγότερο ακριβή. Εάν αποδειχθεί ο πυρηνικός θερμοχημικός διαχωρισμός του νερού φαίνεται ελκυστικός εκτός από τους ενδεχομένως καταστροφικούς κινδύνους τους. Η βιομάζα μπορεί να μην είναι μία ρυπογόνος μέθοδος, αλλά είναι μη αποδεδειγμένη. Το κατανεμημένο αιολικό φαίνεται αρκετά ελκυστικός δεδομένου ότι χρησιμοποιεί καλά ανεπτυγμένες και μη

ρυπογόνες τεχνολογίες, αν και τα ζητήματα δαπανών και εδαφών θα είναι μια πρόκληση. Η τεχνολογία OTEC φαίνεται ελκυστική επειδή αν και έχει ελαφρώς υψηλότερο κόστος από τα αιολικά, δεν συναγωνίζεται για το έδαφος. Τα καταναμεμημένα ηλιακά είναι βιώσιμα αλλά κοστίζουν σημαντικά περισσότερο από άλλες μεθόδους.

Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να συγκρίνουν τους ενεργειακούς μεταφορείς, όπως η καθαρή ενεργειακή αποδοτικότητα και η απελευθέρωση του CO₂, δίνουν ευνοϊκά αποτελέσματα στα OTEC.

πίνακας συνολικών πηγών υδρογόνου

κίνδυνος ρύπανσης	3	3	1	1	1	1
τεχνικός κίνδυνος	1	2	2	1	2	2
όρια πόρων	3	1	3	2	1	2
Υδρογόνο τιμή/Κιλό	1.8	2.2	3.6	4.2	4.7	7.5
	Coal	Nuc	Bio	Dist Wind	Otec	Dist Solar

Πίνακας 4.9.2(β)

Ένα ποσό καθαρής ενέργειας μπορεί να παραχθεί για να συγκρίνει την ενέργεια που παράγεται κατά τη διάρκεια λειτουργίας μιας εγκατάστασης υδρογόνου με την ενέργεια που καταναλώνεται από όλες τις διαδικασίες που συνδέονται με την κατασκευή και την λειτουργία της εγκατάστασης (αυτός ο δεύτερος όρος καλείται "ενσωματωμένη ενέργεια"). Η αναλογία της καθαρής ενέργειας για το μεθάνιο που μετατρέπεται σε υδρογόνο είναι 0,7 (λιγότερο από την ενότητα που αντιπροσωπεύει μια απώλεια καθαρής ενέργειας) και για την αιολική/ηλεκτρόλυση είναι 13,2. Η Μακρί υπολόγισε ότι η αναλογία καθαρής ενέργειας για OTEC είναι 38.2. Οι τιμές ρυθμού έκλυσης του CO₂ από τον συνεχή υψηλό ρυθμό έκλυσης των ορυκτών καυσίμων σε άλλες τεχνολογίες όπως οι ανεμογεννήτριες που απελευθερώνουν CO₂ μόνο κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Για OTEC, το θαλάσσιο νερό αντλείται από τα 1250 μέτρα και επιστρέφει στον ωκεανό σε βάθος 100 μέτρα θα επιτύχει μια νέα χημική ισορροπία από την απομάκρυνση ενός μέρους από διαλυμένο CO₂. Η ποσότητα του αερίου που απομακρύνεται από τις εγκαταστάσεις OTEC κλειστού κύκλου αναμένεται να είναι λιγότερο από 0,3% έναντι των σημερινών τεχνικών καύσης της ίδιας ισχύος. Αυτή η μικρή ποσότητα κάνει την OTEC ουσιαστικά μία μη ρυπογόνος τεχνολογία.

4.10 Αμμωνία παραγωγής OTEC που χρησιμοποιεί τις υπάρχουσες επιχορηγήσεις

Ανάλογα με την έκβαση των τεσσάρων κεντρικών ζητημάτων που θέτει το N.A.E. (National Academy of Engineering) θα πρέπει να περάσουν 10-30 έτη (ή ίσως ποτέ) έως ότου αναπτυχθεί η οικονομία υδρογόνου. Μια αρχική μέθοδος με την οποία οι Η.Π.Α. μπορούν να αρχίσουν μια στροφή στην ουδέτερη άνθρακα εσωτερική ενέργεια χρησιμοποιώντας την παρούσα τεχνολογία, είναι να χρησιμοποιηθεί το παραγόμενο, στις εγκαταστάσεις OTEC, υδρογόνο για να παραχθεί αμμωνία. Η αμμωνία OTEC θα ανταγωνιζόταν την αμμωνία που παράγεται από το ξένο φυσικό αέριο, και θα μείωνε την Αμερικανική εξάρτηση στην εισαγόμενη ενέργεια.

Η ενιαία μεγαλύτερη παγκόσμια χρήση υδρογόνου (25 εκατομμύρια τόνοι παγκοσμίως) είναι ένα ενδιάμεσο βήμα στην παραγωγή 140 εκατομμυρίων τόνων αμμωνίας από το φυσικό αέριο. Οι υψηλές τιμές φυσικού αερίου στις ΗΠΑ προκαλούν την αύξηση των εισαγωγών αμμωνίας που συντίθεται από το χαμηλού κόστους ξένο φυσικό αέριο. Το 2004, οι Η.Π.Α. εισήγαγαν 6 εκατομμύρια τόνοι της αμμωνίας, που ισοδυναμούσαν με 1 εκατομμύριο τόνους υδρογόνου, το οποίο αντιπροσωπεύει το ένα όγδοο της Αμερικανικής παραγωγής υδρογόνου. Η αμμωνία μεταφέρεται παγκοσμίως χρησιμοποιώντας τα δεξαμενόπλοια προπανίου, και είναι πολύ απλούστερη από την μεταφορά υδρογόνου.

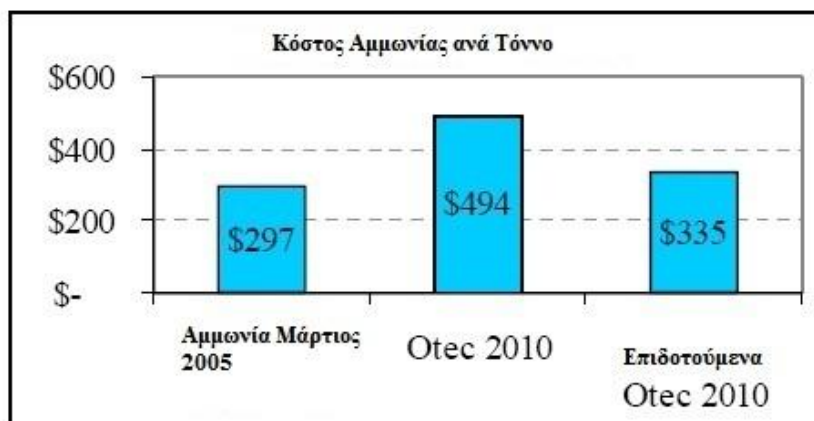
Τροποποιήσαμε το πρότυπο μοντέλο OTEC παραγωγής 100 τόνων ημερησίως για να συμπεριληφθούν και οι δαπάνες των δοχείων αντιδραστήρα σύνθεσης αμμωνίας, της μονάδας διαχωρισμού αέρα αζώτου, και την αποθήκευση 14 ημερών. Το κόστος αγοράς μονάδων ηλεκτρόλυσης αυξήθηκε στην σημερινή αξία \$1000 ανά kW αντί των \$125 ανά kW μελλοντική αξία. Η χρηματοδότηση τροποποιήθηκε με τόκο 5% και διάρκεια λειτουργίας 30 έτη και υποθέτει ότι μέχρι \$1,65 δισεκατομμύρια δολάρια λαμβάνονται από το U.S. OTEC Demonstration Fund. Η κατασκευή μιας τέτοιας εγκατάστασης φαίνεται μέσα στις παρούσες παράκτιες δυνατότητες κατασκευής. Ο Πίνακας 4.10 παρουσιάζει τις δαπάνες των σημαντικότερων υποσυστημάτων αυτών των εγκαταστάσεων.

Κόστος Αμμωνίας σε υποσύστημα πλωτής εγκατάσταση OTEC

Υποσύστημα OTEC	Κόστος εκατ.\$
Ηλεκτρόλυση	193
Παραγωγή Αμμωνίας	61
Σωλήνες νερού	83
Αντλίες νερού	53
Διαδικασία OTEC	230
Κατασκευή	168
Σύνολο	786

Πίνακας 4.10

Το κόστος της αμμωνίας, με αυτές τις παραμέτρους, είναι \$494 ανά τόνο, όπως φαίνεται στο Σχ.4.10. Αυτή η τιμή είναι 66% περισσότερο από την τρέχουσα τιμή για την εισαγόμενη αμμωνία που είναι \$297 ανά τόνο. Είναι κατανοητό ότι σε μια ή δύο δεκαετίες στο μέλλον η αμμωνία από το φυσικό αέριο θα κοστίζει όπως η αμμωνία από OTEC.



Σχήμα 4.10 Παρούσα τιμή αμμωνίας FOB tampra σε σύγκριση με μη επιδοτούμενη και επιδοτούμενη αμμωνία από OTEC χρησιμοποιώντας τις σύγχρονες τεχνολογίες.

Προς το παρόν υπάρχει μια φορολογική έκπτωση 1.9¢ ανά kWhr για την ανανεώσιμη ενεργειακή παραγωγή. Εάν αυτή η φορολογική πίστωση εφαρμοστεί στην παραγωγή αμμωνίας, το κόστος για την επιδοτούμενη αμμωνία OTEC το 2010 γίνεται σχεδόν ανταγωνιστική με \$335 ανά τόνο. Αυτό το επιδοτούμενο κόστος θα ήταν ανταγωνιστικό εάν υπήρχε αύξηση 13% στις δαπάνες φυσικού αερίου.

4.11 Συμπεράσματα

Αυτή η μελέτη ανέπτυξε ένα τεχνικό και οικονομικό μοντέλο για τις ωκεάνιες θερμικές εγκαταστάσεις ενεργειακής μετατροπής που παρέχουν μια διαδεδομένη οικονομία υδρογόνου. Επάνω στη σύγκριση των αποτελεσμάτων με άλλες πιθανές πηγές υδρογόνου, είναι σαφές ότι καμία πηγή δεν είναι ιδανική αλλά η OTEC είναι πιο ελκυστικό συνολικά. Πρέπει να γίνουν σημαντικές επιλογές.

- Απαιτούνται σημαντικές τεχνικές ανακαλύψεις, ειδικά για την αποθήκευση υδρογόνου, για να εξελιχθεί η οικονομία υδρογόνου.
- Με αυτές τις σημαντικές ανακαλύψεις το υδρογόνο OTEC θα κοστίζει ελαφρώς περισσότερο από την αεριοποίηση βιομάζας και την αιολική ηλεκτρόλυση αλλά σημαντικά λιγότερο από την φωτοβολταϊκή ηλεκτρόλυση.
- Η αεριοποίηση του άνθρακα και ο πυρηνικός θερμοχημικός διαχωρισμός με την απομάκρυνση του CO₂ ή των πυρηνικών αποβλήτων θα κοστίζει λιγότερο. Και στους τεχνικούς κινδύνους συνεπάγονται και τα ενδεχομένως καταστροφικά αποθηκευμένα απόβλητα.
- Η μεγάλης κλίμακας βιομάζα και η αιολική ενέργεια θα περιορίσουν τους περιορισμένους πόρους του εδάφους που χρησιμοποιούνται για την διαβίωση και την καλλιέργεια. Η μεγάλης κλίμακας ηλιακή ενέργεια είναι η επιλογή με το υψηλότερο κόστος.
- Η OTEC είναι η πιο βιώσιμη πηγή ενέργειας μεγάλης κλίμακας. Είναι η μόνη πηγή που χρησιμοποιεί την αδιάκοπη ηλιακή ενέργεια, και δεν χρησιμοποιεί το έδαφος.
- Η αμμωνία που παράγεται από τις εγκαταστάσεις OTEC με την παρούσα τεχνολογία θα μπορούσε να μειώσει την ενέργεια που εισάγεται με την μορφή

αμμωνίας. Η αμμωνία ΟΤΕC με τις επιχορηγήσεις είναι μέσα 13% της παρούσας τιμής αγοράς αμμωνίας.

Η ΟΤΕC είναι και τεχνικά και οικονομικά βιώσιμη τεχνολογία παραγωγής υδρογόνου για την παράδοση των μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Έχει ανταγωνιστικό κόστος με άλλες ανανεώσιμες τεχνολογίες και είναι περιβαλλοντικά βιώσιμη. Οι Η.Π.Α. και ο κόσμος είναι σε μια πορεία που βασίζεται στην μη χρησιμοποίηση του πετρελαίου και οι αποφάσεις είναι αρκετά βαρυσήμαντες. Σαν ελάχιστο θεωρείται ότι η τεχνολογία ΟΤΕC, που είναι χαμηλού κινδύνου και περιβαλλοντικά βιώσιμη, πρέπει να αναπτυχθεί παράλληλα με εκείνες τις άλλες τεχνολογίες που εμφανίζονται να είναι οικονομικά ελκυστικές αλλά συνδέονται με σημαντικούς περιβαλλοντικούς κινδύνους. Τεχνικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά η μη μελετημένη τεχνολογία ΟΤΕC είναι ένας κίνδυνος που ο κόσμος δεν μπορεί να αντέξει οικονομικά.

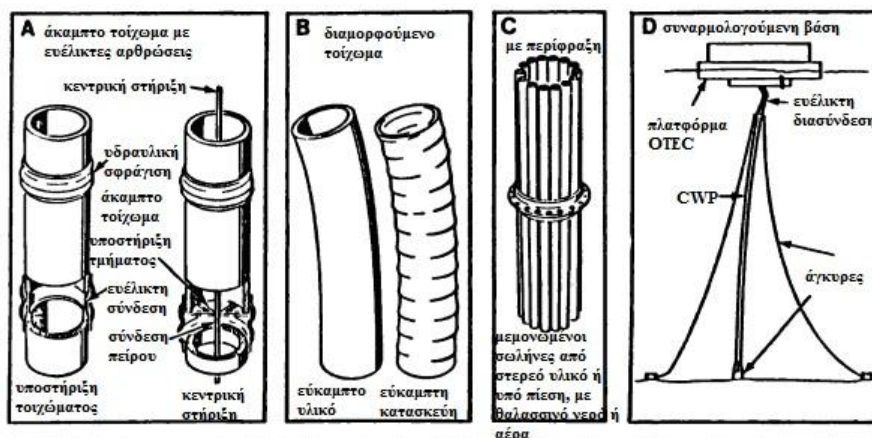
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Τεχνικοί περιορισμοί

Η απόδοση των κύκλων παραγωγής ενέργειας της τεχνολογίας OTEC αξιολογείται με τις ίδιες στοιχειώδεις έννοιες της θερμοδυναμικής που χρησιμοποιούνται για τις συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας ατμού. Η σημαντικότερη διαφορά προκύπτει από τις μεγάλες ποσότητες θερμού και κρύου νερού της θάλασσας που απαιτείται για τις διαδικασίες μεταφοράς θερμότητας, με συνέπεια την κατανάλωση 20 έως 30 τοις εκατό της ισχύος που παράγεται από την στροβιλογεννήτρια στη λειτουργία των αντλιών. Η ισχύς που απαιτείται για την άντληση του νερού της θάλασσας προσδιορίζεται από τις απώλειες τριβής στον σωλήνα άντλησης και στην περίπτωση του ψυχρού θαλασσινού νερού από την πυκνότητα κεφαλής, δηλαδή την βαρυτική ενέργεια λόγω των διαφορών στην πυκνότητα μεταξύ του βαρύτερου (πιο κρύου) νερού μέσα στο σωλήνα και της περιβάλλουσας υδάτινης στήλης.

Η ιδανική ενεργειακή μετατροπή για 26°C και 4°C θερμών και κρύων νερών της θάλασσας είναι 8 τοις εκατό. Μία εγκατάσταση OTEC θα μεταφέρει τη θερμότητα αμετάτρεπτα και θα παράγει εντροπία σε διάφορα σημεία στον κύκλο που θα αποφέρει μια ενεργειακή μετατροπή από 3 έως 4 τοις εκατό. Αυτές οι τιμές είναι μικρές σε σύγκριση με τις αποδόσεις που προκύπτουν για τις συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, εντούτοις η τεχνολογία OTEC χρησιμοποιεί μία πηγή που ανανεώνεται συνεχώς από τον ήλιο. Λαμβάνοντας υπόψη τα πρακτικά μεγέθη για το σωλήνα κρύου νερού οι εγκαταστάσεις OTEC περιορίζονται προς το παρόν σε μεγέθη που δεν υπερβαίνουν τα 100 MW. Στην περίπτωση του ανοικτού κύκλου, λόγω του χαμηλής πίεσης ατμού, ο στρόβιλος περιορίζεται προς το παρόν στα μεγέθη που δεν υπερβαίνουν τα 2,5 MW. Η θερμική απόδοση των εγκαταστάσεων OTEC ανοικτού και κλειστού κύκλου είναι συγκρίσιμη.

Έχουν σχεδιαστεί πλωτά σκάφη, που πλησιάζουν τις διαστάσεις υπέρ-τάνκερ, τα οποία στεγάζουν τις εγκαταστάσεις OTEC που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ή που μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια στην ακτή μέσω των υποβρύχιων καλωδίων δύναμης. Οι σωλήνες μεγάλων διαμέτρων που βρίσκονται στις πλωτές εγκαταστάσεις, επεκτείνονται σε βάθη 1000 μέτρων και είναι απαραίτητοι για να μεταφέρουν το νερό από τα βάθη των ωκεανών στους εναλλάκτες θερμότητας στα πλοία. Ο σχεδιασμός και η λειτουργία αυτών των σωλήνων ψυχρού νερού είναι σημαντικά ζητήματα που έχουν επιλυθεί από τους ερευνητές και τους μηχανικούς στις ΗΠΑ.



Σχήμα 5.1: Σωλήνες κρύου νερού της θάλασσας

Έχει καθοριστεί ότι περίπου $4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ του θερμού νερού της θάλασσας και $2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ του κρύου νερού της θάλασσας (αναλογία 2:1), με μια ονομαστική διαφορά θερμοκρασίας $20 \text{ }^\circ\text{C}$, απαιτούνται ανά MW της παραγόμενης ή καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας. Για να διατηρηθούν οι απώλειες άντλησης νερού από 20 έως 30 τοις εκατό της ακαθάριστης ισχύος, απαιτείται μια μέση ταχύτητα λιγότερη από $2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ για το νερό της θάλασσας που ρέει στους σωλήνες και μεταφέρεται στις εγκαταστάσεις OTEC. Επομένως, μία εγκατάσταση 100 MW θα χρησιμοποιούσε $400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ του νερού θερμοκρασίας 26°C που ρέει μέσα σε σωλήνα με διάμετρο 16 μέτρα εκτεινόμενο σε ένα βάθος 20 μέτρων και $200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ του νερού θερμοκρασίας $4 \text{ }^\circ\text{C}$ που ρέει μέσα σε σωλήνα, με διάμετρο 11 μέτρα, που επεκτείνεται σε βάθος 1000 μέτρων. Χρησιμοποιώντας παρόμοια επιχειρήματα, ένας σωλήνας διαμέτρου 20 μέτρων απαιτείται για τη μικτή επιστροφή νερού. Για να ελαχιστοποιήσουν την περιβαλλοντική επίδραση λόγω της επιστροφής του επεξεργασμένου νερού στον ωκεανό (συνήθως αλλαγές στη θερμοκρασία), ένα βάθος απαλλαγής στα 60 μέτρα είναι επαρκές για τις περισσότερες περιοχές που θεωρούνται κατάλληλες, με συνέπεια έναν σωλήνα εκτεινόμενο σε βάθος 60 μέτρων.

Το ποσό της συνολικής παγκόσμιας ενέργειας που θα μπορούσε να παραχθεί από τις εγκαταστάσεις OTEC πρέπει να ισορροπηθεί με τον αντίκτυπο στο θαλάσσιο περιβάλλον που θα προκληθεί από τα σχετικά μεγάλα ποσά θαλασσινού νερού που απαιτούνται για να λειτουργήσουν τα εργοστάσια OTEC. Το νερό απαλλαγής από εγκαταστάσεις 100 MW θα ήταν ισοδύναμο με την ονομαστική ροή του ποταμού του Κολοράντο στον Ειρηνικό ωκεανό (1/10 του Δούναβη, ή 1/30 του Μισισσιπή, ή 1/5 του Νείλου στον Ατλαντικό). Η ροή απαλλαγής από 60.000 MW (0,6 τοις εκατό της παρούσας παγκόσμιας κατανάλωσης) των εγκαταστάσεων OTEC θα ήταν ισοδύναμη με τη συνδυασμένη απαλλαγή από όλους τους ποταμούς που ρέουν στον Ατλαντικό και Ειρηνικό ($361.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

Υπάρχουν πολυάριθμες χώρες που θα μπορούσαν σε όλο τον κόσμο να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία OTEC ως συνιστώσα της ενεργειακής εξίσωσής τους με τη σχετικά ελάχιστη περιβαλλοντική επίδραση. Οι τροπικές και υποτροπικές νησιωτικές περιοχές θα μπορούσαν να γίνουν ανεξάρτητες από τα συμβατικά καύσιμα για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και της αφαλατωμένης ύδρευσης με τη χρησιμοποίηση εγκαταστάσεων OTEC κατάλληλου μεγέθους.

Το μεγαλύτερο ζήτημα της τεχνολογίας OTEC ως σημαντικού προμηθευτή ενέργειας για τον κόσμο δεν μπορεί να εκτιμηθεί, πέρα από το στάδιο των πειραματικών εγκαταστάσεων, έως ότου παρέχεται κάποιο στοιχείο λειτουργικής και

περιβαλλοντικής επίδρασης μέσω της κατασκευής και της λειτουργίας των προ-εμπορικών εγκαταστάσεων.

5.2 Τεχνικές δυσκολίες

5.2.1 Υποβάθμιση της απόδοσης του εναλλάκτη θερμότητας λόγω διαλυμένων αερίων.

Ένα πολύ σημαντικό τεχνικό ζήτημα σχετικά με τον κύκλο Claude είναι η απόδοση των εναλλακτών θερμότητας άμεσης επαφής που λειτουργούν στις χαρακτηριστικές οριακές συνθήκες ΟΤΕC. Πολλά πρόωρα σχέδια του κύκλου Claude χρησιμοποιούν έναν συμπτυκνωτή επιφάνειας, δεδομένου ότι η απόδοσή τους είναι αρκετά κατανοητή. Εντούτοις, οι συμπτυκνωτές άμεσης επαφής προσφέρουν και σημαντικά μειονεκτήματα. Καθώς το θερμό νερό της θάλασσας αυξάνει στους σωλήνες εισαγωγής, η πίεση μειώνεται στο σημείο όπου το αέριο αρχίζει να αναπτύσσεται. Εάν ένα σημαντικό ποσό αερίου παραχθεί από τη διάλυση, δικαιολογώντας έτσι την δημιουργία μιας παγίδας αερίου πριν από τους εναλλάκτες θερμότητας άμεσης επαφής.

Τα πειράματα προσομοίωσης των συνθηκών στον σωλήνα εισαγωγής θερμού νερού έδειξαν ότι περίπου 30% των διαλυμένων αερίων αναπτύσσονται στην κορυφή του 8,5 μέτρων αγωγού. Η ανταλλαγή μεταξύ της προεξέρωσης του θαλάσσιου νερού και της αποβολής όλων των μη συμπτυκνώσιμων αερίων από το συμπτυκνωτή εξαρτάται από τη δυναμική εξέλιξη του αερίου, την απόδοση των εξαεριστήρων, το ύψος των απωλειών, την απόδοση εξαερισμού του συμπτυκνωτή και την παρασιτική δύναμη. Τα πειραματικά αποτελέσματα έχουν δείξει ότι οι συμπτυκνωτές κάθετου στομίου αποδίδουν περίπου 30% καλύτερα από τους τύπους μειωμένου στομίου.

5.2.2 Μείωση της απόδοσης των εναλλακτών θερμότητας λόγω της μικροβιακής επίστρωσης

Επειδή το ακατέργαστο νερό της θάλασσας πρέπει να περάσει μέσα από τους εναλλάκτες θερμότητας πρέπει να ληφθούν μέτρα για να την διατήρηση της καλής θερμικής αγωγιμότητας. Λεπτά στρώματα μικροβιακής αγκίστρωσης, πάχους από 25 έως 50 μm μπορούν να μειώσουν την απόδοση των εναλλακτών θερμότητας τουλάχιστον κατά 50%. Μια μελέτη του 1977, στην οποία οι εναλλάκτες θερμότητας εκτέθηκαν στο νερό της θάλασσας για δέκα εβδομάδες, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι αν και το επίπεδο μικροβιακής αγκίστρωσης ήταν χαμηλό, η θερμική αγωγιμότητα του συστήματος ήταν σημαντικά εξασθενημένη. Η εμφανής διαφορά μεταξύ του βαθμού αγκίστρωσης και της εξασθένησης της μεταφοράς θερμότητας είναι το αποτέλεσμα ενός λεπτού στρώματος νερού που παγιδεύεται από τη μικροβιακή αύξηση στην επιφάνεια του εναλλάκτη θερμότητας.

Μια άλλη μελέτη, που πραγματοποιήθηκε το 1985 στο Keahole Point στην Χαβάη, κατέληξε επίσης στο συμπέρασμα ότι η μικροβιακή αγκίστρωση υποβιβάζει την απόδοση κατά τη διάρκεια του χρόνου, καθώς επίσης μελετά και τα πιθανά αντίμετρα στην υποβάθμιση. Η μελέτη καθόρισε ότι αν και το κανονικό 'βούρτσισμα' ήταν σε θέση να αφαιρέσει το μεγαλύτερο μέρος του μικροβιακού στρώματος, κατά τη διάρκεια μεγαλύτερων χρονικών περιόδων θα σχηματιζόταν ένα σκληρό στρώμα

στην επιφάνεια του εναλλάκτη που δεν θα μπορούσε να αφαιρεθεί μέσω του απλού 'βουρτσίσματος'. Επιπλέον η μελέτη πραγματοποίησε δοκιμές διάβασης σφαιρών από σπογγοειδές ελαστικό μέσω του συστήματος. Και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι αν και η διάβαση των σφαιρών μείωνε το ποσοστό της επίστρωσης που εμφανίζεται, χωρίς όμως αυτό να είναι αρκετό για να σταματήσει εντελώς την αύξηση ενώ και το βούρτσισμα ήταν περιστασιακά απαραίτητο για να αποκαταστήσει την πλήρη ικανότητα μεταφοράς θερμότητας. Επιπλέον, τα μικρόβια άρχισαν να αναπτύσσονται περισσότερο γρήγορα αργότερα στο πείραμα (δηλ. το 'βούρτσισμα' έγινε συχνότερα απαραίτητο). Ο λόγος για το αυξανόμενο ποσοστό ανάπτυξης μετά από τους συνεχόμενους καθαρισμούς εμφανίζεται να είναι το αποτέλεσμα της πίεσης επιλογής που ασκείται στην αποικία των μικροβίων.

Εκτός από τις φυσικές μεθόδους καθαρισμού εξετάστηκε και η χλωρίωση. Μελετήθηκαν και η συνεχής χρήση μια ώρα ανά ημέρα και οι διακοπόμενες περίοδοι ελεύθερης επίστρωσης και έπειτα περίοδοι χλωρίωσης (πάλι μία ώρα ανά ημέρα). Όπως και με τις λαστιχένιες σφαίρες έτσι και με την χλωρίωση δεν σταμάτησε εντελώς η μικροβιακή αύξηση αλλά την επιβράδυνε μόνο. Εν τούτοις τα επίπεδα χλωρίωσης, χρησιμοποιήθηκε 1 mg ανά λίτρο για 1 ώρα ανά ημέρα, επιβράδυναν αρκετά την μικροβιακή αύξηση και μπορούν να αποδειχθούν αποτελεσματικά στη μακροπρόθεσμη λειτουργία των εγκαταστάσεων. Τελικά η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι αν και η μικροβιακή επίστρωση ήταν ένα ζήτημα για τον εναλλάκτη θερμότητας θερμού νερού επιφάνειας, ο εναλλάκτης θερμότητας κρύου νερού επηρεάζεται ελάχιστα ή καθόλου και μόνο από το ελάχιστο ανόργανο λέρωμα.

Εκτός από τη θερμοκρασία νερού, η μικροβιακή επίστρωση εξαρτάται επίσης και από διάφορους άλλους παράγοντες. Ο σημαντικότερος παράγοντας στη μικροβιακή αύξηση είναι τα θρεπτικά επίπεδα, με την αύξηση να εμφανίζεται γρηγορότερα σε πιο πλούσιο θρεπτικά νερό. Το ποσοστό επίστρωσης εξαρτάται επίσης από το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο εναλλάκτης θερμότητας. Η σωλήνωση αλουμινίου επιβραδύνει την αύξηση της μικροβιακής ζωής, εντούτοις το στρώμα οξειδίων που διαμορφώνει στο εσωτερικό των σωλήνων κάνει τον καθαρισμό τους δυσκολότερο και οδηγεί σε υψηλότερες απώλειες απόδοσης. Αντίθετα, η σωλήνωση τιτανίου επιτρέπει να εμφανίζεται γρηγορότερα η μικροβιακή επίστρωση αλλά ο καθαρισμός είναι αποτελεσματικότερος απ' ό,τι με το αλουμίνιο.

5.2.3 Εσφαλμένη σφράγιση

Ο ατμοποιητής, ο στρόβιλος, και ο συμπυκνωτής λειτουργούν στο μερικό κενό που κυμαίνεται από 1 έως 3% της ατμοσφαιρικής πίεσης. Αυτό δημιουργεί διάφορα πρακτικά προβλήματα. Κατ' αρχάς, το σύστημα πρέπει να στεγανοποιηθεί προσεκτικά για να εμποδίσει την διαρροή του ατμοσφαιρικού αέρα που μπορεί να υποβιβάσει σοβαρά ή ακόμα και να διακόψει τη λειτουργία. Δεύτερον, ο συγκεκριμένος όγκος του ατμού χαμηλής πίεσης είναι πολύ μεγάλος σε σύγκριση με την διατηρημένη σταθερή ατμοσφαιρική πίεση του υγρού λειτουργίας που χρησιμοποιείται στην περίπτωση ενός κλειστού κύκλου ΟΤΕC. Αυτό σημαίνει ότι τα συστατικά πρέπει να έχουν μεγάλες περιοχές ροής που εξασφαλίζουν ότι ο ατμός δεν θα επιτυγχάνει υπερβολικά υψηλές τιμές ταχύτητας.

5.2.4 Παρασιτική κατανάλωση ισχύος από το συμπιεστή εξάτμισης

Μια προσέγγιση για τη μείωση των απωλειών παρασιτικής ισχύος του συμπιεστή εξάτμισης είναι η ακόλουθη. Αφότου έχει συμπυκνωθεί ο μεγαλύτερος μέρος του ατμού από τους συμπυκνωτές, το μη συμπυκνώσιμο μίγμα ατμού αερίου περνά μέσα από μία περιοχή αντίθετης ροής που αυξάνει την αντίδραση ατμού-αερίου με παράγοντα πέντε. Το αποτέλεσμα είναι μια μείωση 80% των απαιτήσεων ισχύος για την άντληση των καυσαερίων.

5.3 Επιπτώσεις στο περιβάλλον και στο προσωπικό

Η τεχνολογία OTEC είναι από τις πιο ευνοϊκές ως προς το περιβάλλον τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, δεδομένου ότι η διαχείριση επικίνδυνων ουσιών περιορίζεται στο υγρό λειτουργίας (π.χ., αμμωνία), και δεν παράγεται κανένα επιβλαβές υποπροϊόν. Η τεχνολογία OTEC απαιτεί την άντληση θαλασσινού νερού από το μικτό στρώμα και το βαθύ ωκεανό και την επιστροφή του στο μικτό στρώμα, κοντά στο θερμοκλινές, το οποίο θα μπορούσε να ολοκληρωθεί με την ελάχιστη περιβαλλοντική επίδραση. Το διοξείδιο του άνθρακα που απελευθερώνεται από το νερό της θάλασσας, που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων OTEC ανοικτού κύκλου είναι λιγότερο από 1 τοις εκατό των περίπου 700 γραμμαρίων ανά kWh που αποδεδμεύεται από τις εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν πετρέλαιο ως καύσιμο. Η τιμή είναι ακόμα χαμηλότερη στην περίπτωση εγκαταστάσεων OTEC κλειστού κύκλου.

Μια συνεχής ροή του κρύου, πλούσιου θρεπτικά και χωρίς βακτήρια, νερού των μεγάλων ωκεάνιων βαθών θα μπορούσε να προκαλέσει ανωμαλίες στη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας και βιοδιέγερση εάν ο χρόνος παραμονής στο μικτό στρώμα και τη ευφωτική ζώνη είναι αντίστοιχα αρκετά μεγάλος (δηλ. ανέβασμα των νερών). Η ευφωτική ζώνη είναι το ανώτερο στρώμα του ωκεανού στο οποίο υπάρχει ικανοποιητικό φως για τη φωτοσύνθεση. Αυτό σημαίνει το 1% σε βάθος ελαφριάς διείσδυσης (π.χ., 120 μ. στα νερά της Χαβάης). Αυτό είναι υπερβολικά συντηρητικό, επειδή η περισσότερη βιολογική δραστηριότητα απαιτεί τα επίπεδα ακτινοβολίας τουλάχιστον 10 τοις εκατό της επιφάνειας της θάλασσας. Δεδομένου ότι η ελαφριά ένταση μειώνεται εκθετικά με το βάθος, το 10% σε βάθος ελαφριάς διείσδυσης αντιστοιχεί, παραδείγματος χάριν, σε 60 μ. στα νερά της Χαβάης.



Σχήμα 5.3: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την λειτουργία εγκατάστασης OTEC

Οι αναλύσεις των σχεδίων ΟΤΕC δείχνουν ότι το μικτό νερό της θάλασσας που επιστρέφεται σε βάθη 60 μέτρων έχει ως αποτέλεσμα την αραίωση σε έναν συντελεστή διαλύσεων 4 (δηλ., ένα μέρος απόβλητα ΟΤΕC αναμειγμένο με 3 μέρη του περιβάλλοντος νερού της θάλασσας) και τα βάθη ισορροπίας (ουδέτερη πλευστότητα) κάτω από το μικτό στρώμα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αυτό το βάθος του νερού επιστροφής προβλέπει επίσης τον κάθετο διαχωρισμό, από την εισαγωγή θερμού νερού, σε περίπου 20 μ, που απαιτείται για την αποφυγή της επαναρρόφησης στις εγκαταστάσεις. Αυτή η τιμή θα ποικίλει ανάλογα με τις συνθήκες των ωκεανών. Επομένως η θαλάσσια τροφική αλυσίδα θα πρέπει να επηρεαστεί ελάχιστα και δεν πρέπει να προκληθούν επίμονες ανωμαλίες θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας. Αυτά τα συμπεράσματα πρέπει να επιβεβαιωθούν με τις πραγματικές μετρήσεις τομέων που θα μπορούσαν να εκτελεστούν με τις προ-εμπορικές εγκαταστάσεις.

Για να έχει αποτελεσματική μεταφορά θερμότητας είναι απαραίτητο να προστατευθούν οι εναλλάκτες θερμότητας από την βιολογική αγκίστρωση. Έχει καθοριστεί ότι εμφανίζεται μόνο στους εναλλάκτες θερμότητας που εκτίθενται στο νερό της επιφάνειας της θάλασσας. Επομένως, είναι απαραίτητο να προστατευθούν οι ατμοποιητές των εγκαταστάσεων ΟΤΕC κλειστού κύκλου. Το χλώριο (Cl_2) έχει προταθεί μαζί με διάφορα μηχανικά μέσα. Ανάλογα με τον τύπο ατμοποιητή, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και χημικά και μηχανικά μέσα. Για να προστατευθεί η θαλάσσια ζωή, το υπουργείο Προστασίας του Περιβάλλοντος (ΕΡΑ) στις Η.Π.Α. επιτρέπει σε μια μέγιστη απαλλαγή χλωρίου $0,5 \text{ mg l}^{-1}$ και έναν μέσο όρο $0,1 \text{ mg l}^{-1}$. Οι εγκαταστάσεις ΟΤΕC κλειστού κύκλου πρέπει να χρησιμοποιήσουν τα επίπεδα χλωρίου σε λιγότερο από 10% των ορίων ΕΡΑ. Τα τμήματα των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας θα απελευθερώσουν μικρές ποσότητες του υγρού λειτουργίας κατά τη διάρκεια των διαδικασιών. Οι θαλάσσιες απαλλαγές θα εξαρτηθούν από το υγρό λειτουργίας, τα βιοκτόνα, το βάθος της εισαγωγής και η απαλλαγή που έχει επιλεγεί.

Άλλες ενδεχομένως σημαντικές ανησυχίες σχετίζονται με τη φάση κατασκευής. Αυτές είναι παρόμοιες με εκείνες που συνδέονται με την κατασκευή οποιωνδήποτε εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας, τη ναυπηγική και την κατασκευή των παράκτιων πλατφόρμων. Αυτό που είναι μοναδικό στις εγκαταστάσεις ΟΤΕC είναι η μετακίνηση των ρευμάτων νερού της θάλασσας με τα ποσοστά ροής να συγκρίνονται με εκείνα των ποταμών και την επίδραση της ροής τέτοιων ρευμάτων μέσω των συστατικών της εγκατάστασης ΟΤΕC πριν τα επιστρέψουν στον ωκεανό.

Η χρήση των βιοκτόνων και η αμμωνία είναι παρόμοιες με άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες. Εάν η υγιεινή της εργασίας και οι κανονισμοί για την ασφάλεια ακολουθούνται, οι εκπομπές του υγρού λειτουργίας και βιοκτόνων (πιθανότατα της άνυδρης αμμωνίας και του χλωρίου) από τις εγκαταστάσεις πρέπει να είναι πάρα πολύ χαμηλές για να ανιχνευτούν έξω από τις περιοχές εγκαταστάσεων. Μια σημαντική απελευθέρωση του υγρού λειτουργίας ή του βιοκτόνου θα ήταν επικίνδυνη στους εργαζομένους των εγκαταστάσεων, και ενδεχομένως επικίνδυνη στους κατοίκους των τριγύρω περιοχών, ανάλογα με την εγγύτητά τους. Και η αμμωνία και το χλώριο μπορούν να βλάψουν τα μάτια, το δέρμα, και τις βλεννώδεις μεμβράνες, και μπορούν να εμποδίσουν την αναπνοή. Εάν συμβεί ένα ατύχημα σε οποιοδήποτε σύστημα, οι κίνδυνοι είναι παρόμοιοι με εκείνους για άλλες βιομηχανικές εφαρμογές που περιλαμβάνουν αυτές τις χημικές ουσίες. Η αμμωνία χρησιμοποιείται ως λίπασμα και στα συστήματα ψύξης αιθουσών παγοδρομίας. Το χλώριο χρησιμοποιείται στις δημοτικές εγκαταστάσεις κατεργασίας νερού και στις

εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας ατμού. Το χλώριο μπορεί να παραχθεί επί τόπου επομένως η αποθήκευση των μεγάλων ποσοτήτων χλωρίου δεν συστήνεται.

Οι οργανισμοί που προσκρούουν στις εγκαταστάσεις ΟΤΕC πιάνονται στα προπετάσματα που προστατεύουν τις εισαγωγές. Η πρόσκρουση είναι μοιραία για τον οργανισμό. Ένας παρασυρόμενος οργανισμός απορροφείται και περνά μέσα στην εγκατάσταση. Οι παρασυρόμενοι οργανισμοί μπορούν να εκτεθούν στα βιοκτόνα, και στην αιφνίδια μεταβολή της θερμοκρασίας και της πίεσης. Οι παρασυρμένοι οργανισμοί μπορούν επίσης να εκτεθούν στα συστατικά του υγρού λειτουργίας και στα ιχνοστοιχεία (ίχνη μετάλλων, πετρέλαιο ή λίπος). Οι εισαγωγές πρέπει να σχεδιαστούν για να περιορίσουν την ταχύτητα ροής εισόδου για να ελαχιστοποιήσουν την διοχέτευση και τη πρόσπτωση. Οι αγωγοί εισόδου πρέπει να προσαρμοστούν υδροδυναμικά έτσι ώστε η εν λόγω ανάκλαση να μην οδηγήσει σε αναταραχή ή επανακυκλοφορία στο άμεσο περιβάλλον των εγκαταστάσεων. Πολλοί οργανισμοί, εάν όχι όλοι, που προσκρούουν ή που παρασύρονται από τα νερά εισαγωγής μπορούν να τραυματιστούν ή να σκοτωθούν.

Αν και τα πειράματα δείχνουν ότι τα ποσοστά θνησιμότητας για το φυτοπλαγκτόν και ζωοπλαγκτόν που παρασύρονται από το θερμό νερό εισαγωγής μπορούν να είναι λιγότερο από 100 τοις εκατό, στην πραγματικότητα μόνο ένα μέρος του φυτοπλαγκτόν από την επιφάνεια μπορεί να σκοτωθεί από την διοχέτευση. Η σύνεση προτείνει ότι με σκοπό την αξιολόγηση, για 100 τοις εκατό σύλληψη πρέπει να θεωρηθεί και 100 τοις εκατό θνησιμότητα κατά την σύλληψη εκτός αν τα περαιτέρω στοιχεία αποδεικνύουν το αντίθετο.

Τα μεταλλικά δομικά στοιχεία (π.χ., εναλλάκτες θερμότητας, στροφεία αντλιών, μεταλλική σωλήνωση) που διαβρώνονται ή που θα διαβρώνονται από το νερό της θάλασσας θα προσθέσουν ιχνοστοιχεία στα απόβλητα της αποχέτευσης. Είναι δύσκολο να προβλεφθεί εάν τα μέταλλα που απελευθερώνονται από τις εγκαταστάσεις έχουν επιπτώσεις στον τοπικό βιότοπο. Τα ιχνοστοιχεία διαφέρουν στην τοξικότητα και στην αντίστασή τους στη διάβρωση. Επιπλέον, τα μεταλλικά ιχνοστοιχεία που απελευθερώνονται από τις εγκαταστάσεις ΟΤΕC θα αραιωθούν γρήγορα από τους μεγάλους όγκους νερού που περνά μέσα σε αυτές. Ωστόσο, το ίδιο το μέγεθος του συστήματος κυκλοφορίας των εγκαταστάσεων ΟΤΕC δείχνει ότι το σύνολο των ιχνοστοιχείων που απελευθερώθηκαν από τις εγκαταστάσεις ή που ανακατανεμήθηκαν από τις φυσικές πηγές θα μπορούσε να έχει μακροπρόθεσμη σημασία για μερικούς οργανισμούς.

Η κατασκευή εγκαταστάσεων ΟΤΕC και η λειτουργία τους μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην αλιεία. Τα ψάρια θα προσελκυστούν στις εγκαταστάσεις, αυξάνοντας ενδεχομένως την αλιεία στην περιοχή. Η ενισχυμένη παραγωγικότητα λόγω της ανακατανομής των θρεπτικών ουσιών μπορεί να βελτιώσει την αλιεία. Εντούτοις, οι απώλειες των αυγών των ψαριών, των προνυμφών, καθώς επίσης και των νεανικών ψαριών, λόγω της σύγκρουσης, της διοχέτευσης και της απαλλαγής των βιοκτόνων μπορούν να μειώσουν τους πληθυσμούς ψαριών. Η καθαρή επίδραση της λειτουργίας ΟΤΕC στην υδρόβια ζωή θα εξαρτηθεί από την ισορροπία που επιτυγχάνεται μεταξύ αυτών των δύο αποτελεσμάτων.

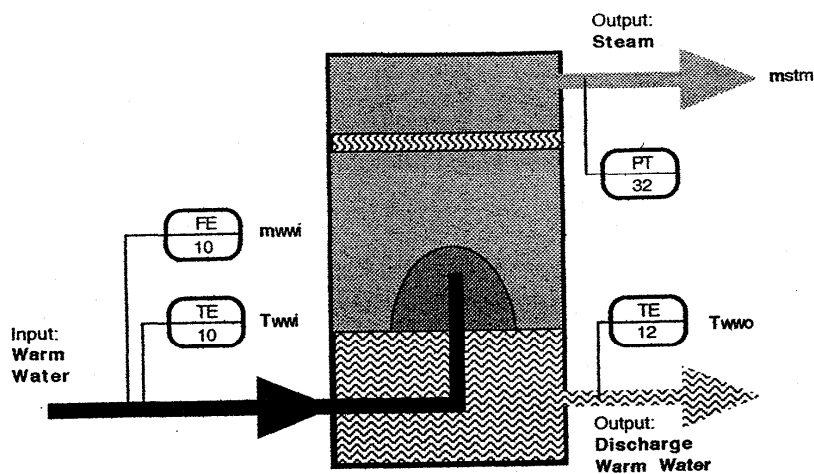
Άλλοι κίνδυνοι που συνδέονται με το σύστημα ΟΤΕC είναι τα ζητήματα ασφάλειας που συνδέονται με τις ατμοηλεκτρικές εγκαταστάσεις: ηλεκτρικοί κίνδυνοι, περιστρεφόμενα μηχανήματα, χρήση συμπιεσμένων αερίων, βαρύς εξοπλισμός χειρισμού και κίνδυνοι εργαστηρίων και συντήρησης. Επειδή οι εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας ΟΤΕC κλειστού κύκλου λειτουργούν ως κύκλος Rankine χαμηλής θερμοκρασίας και χαμηλής πίεσης, θέτουν το λιγότερο κίνδυνο στο

προσωπικό λειτουργίας και τον τοπικό πληθυσμό από τις συμβατικές εγκαταστάσεις ορυκτών καυσίμων. Είναι σημαντικό όλες οι ενδεχομένως σημαντικές ανησυχίες που εξετάζονται και αξιολογούνται για κάθε περιοχή και για κάθε σχέδιο να βεβαιώσουν ότι η τεχνολογία ΟΤΕC είναι μια περιβαλλοντικά καλοκάγαθη και ασφαλής εναλλακτική λύση στη συμβατική ηλεκτρική παραγωγή. Όλοι οι ερευνητές συμφωνούν ότι τα ενδεχομένως καταστρεπτικά αποτελέσματα των εγκαταστάσεων ΟΤΕC στο περιβάλλον μπορούν να αποφευχθούν ή να μετριαστούν με τον κατάλληλο σχεδιασμό.

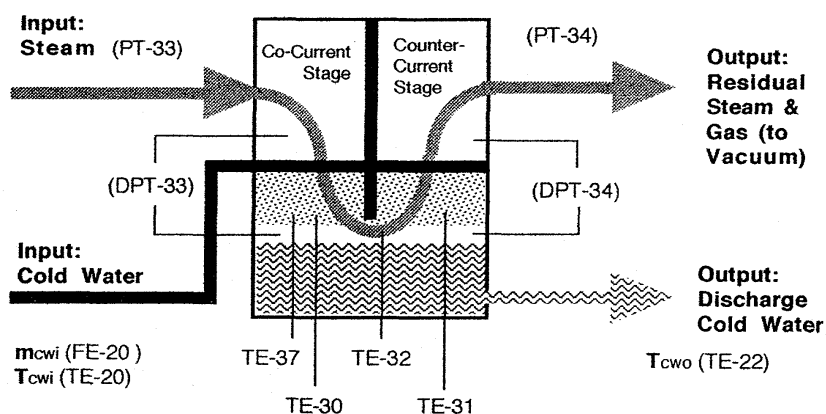
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρακάτω παρουσιάζονται οι παράμετροι που λαμβάνονται από ένα πείραμα ΟΤΕC ανοικτού κύκλου ισχύος 210 kW. Οι παράμετροι υπολογίζονται με απόκλιση που παρουσιάζεται παρακάτω:

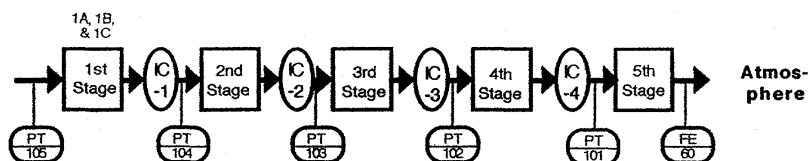
θερμοκρασία ± 0.05 °C
 πιέσεις ατμού ± 5 Pa
 ποσοστό ροής νερού ± 100 grm
 ποσοστό ροής μάζας ± 1 g/s
 ισχύς ± 1 kW



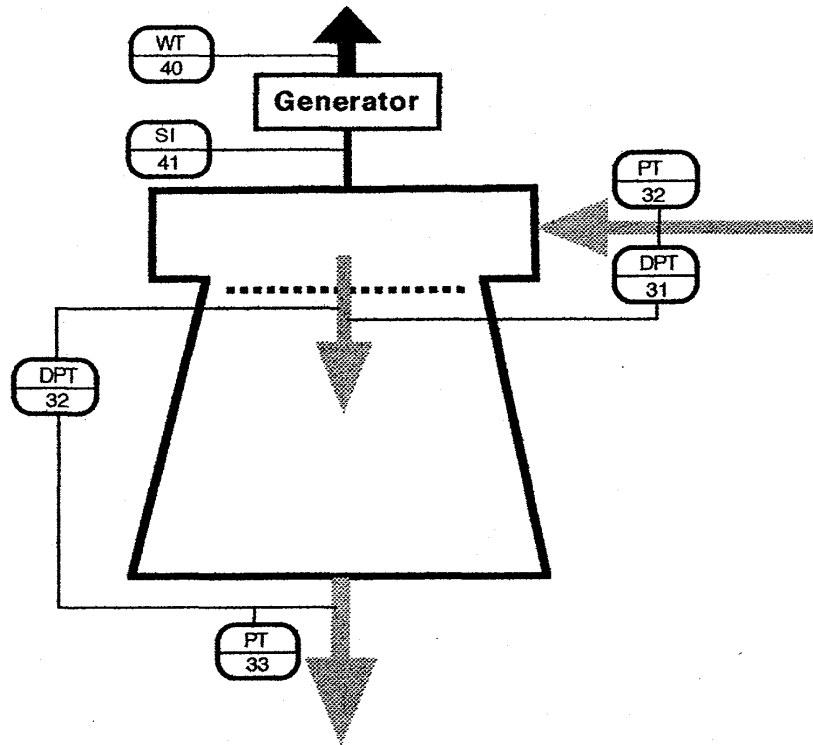
Σχήμα 1: Όργανα ατμοποιητή



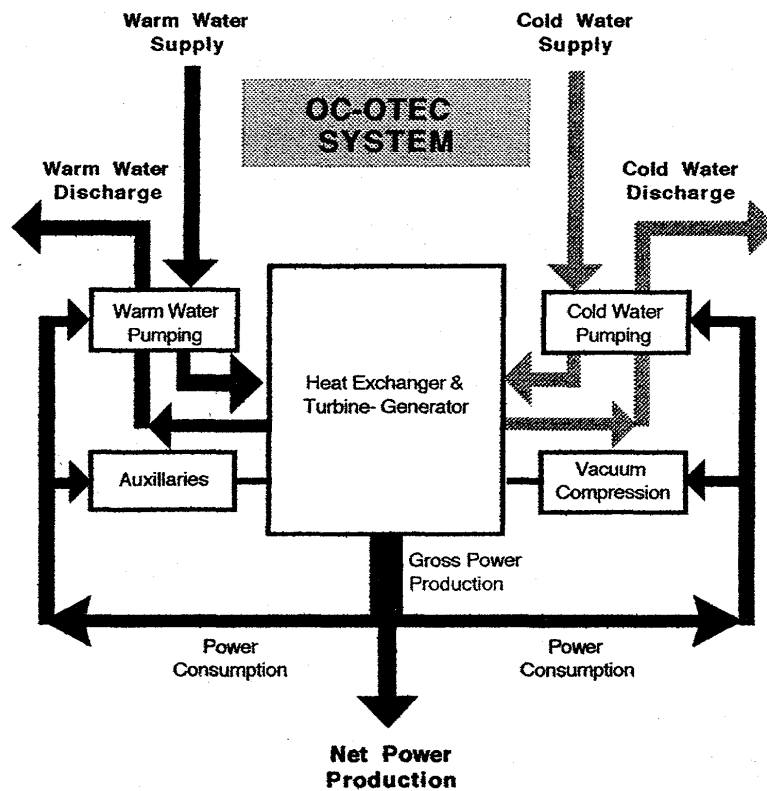
Σχήμα 2: Όργανα συμπυκνωτή άμεσης επαφής



Σχήμα 3: Υποσύστημα οργάνων συμπιεστή κενού



Σχήμα 4: Όργανα στροβιλογεννήτριας



Σχήμα 5: Σύστημα ανοικτού κύκλου που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα

Αποτελεσματικότητα εξατμιστήρα:

Ως αποτελεσματικότητα εξατμιστήρα ορίζουμε:

$$\varepsilon = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} - \{T_{sat}(p_{ev})+0.31\}}$$

όπου $T_{in} = 26^\circ\text{C}$, $T_{out} = 22.5^\circ\text{C}$, $p_{ev} = 2620 \text{ Pa}$ και το T_{sat} το βρίσκουμε σε $^\circ\text{C}$ από την εξίσωση:

$$T_{sat}(p_{ev}) = \frac{4026.9759}{-\text{Log}\left\{\frac{p_{ev} - 3.74}{161.7574}\right\} + 18.4779} - 234.7384$$

και έχουμε $T_{sat}(p_{ev}) = 21.85 \text{ }^\circ\text{C}$ και $\varepsilon = 0.91$.

Υπάρχουν δύο εναλλακτικοί τρόποι για να υπολογίσουμε το ε , και οι δύο χρησιμοποιούν τις μετρήσεις της πίεσης p_{ev} και μια διαφορική μέτρηση της θερμοκρασιακής διαφοράς $\Delta T_{ev} = T_{in} - T_{out}$, η θερμοκρασία του νερού εισαγωγής, εντούτοις μπορεί να αποκτηθεί είτε α) άμεσα είτε β) προσθέτοντας το ΔT_{ev} στο T_{out} .

$$\alpha) \quad \varepsilon = \frac{\Delta T_{ev}}{T_{in} - \{T_{sat}(p_{ev})+0.31\}}$$

θα πρέπει να εξεταστούν οι ακόλουθοι συντελεστές ευαισθησίας:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial T_{in}} = - \frac{\Delta T_{ev}}{(T_{in} - \{T_{sat}(p_{ev})+0.31\})^2} = - \frac{\varepsilon^2}{\Delta T_{ev}} \approx -0.237 \text{ K}^{-1}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \Delta T_{ev}} = \frac{1}{T_{in} - \{T_{sat}(p_{ev})+0.31\}} = \frac{\varepsilon}{\Delta T_{ev}} \approx 0.260 \text{ K}^{-1}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial p_{ev}} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial T_{sat}} \frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{ev}} \approx 0.001481 \text{ Pa}^{-1}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial T_{sat}} = - \frac{\partial \varepsilon}{\partial T_{in}} \approx 0.237 \text{ K}^{-1}$$

$$\frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{ev}} = \frac{4026.9759 \left\{ \frac{1}{p_{ev} - 3.74} \right\}}{\left\{ -\text{Log} \frac{p_{ev} - 3.74}{161.7574} + 18.4779 \right\}^2} = 0.00625 \text{ K/Pa}$$

και

$$\delta \varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial T_{in}} \delta T_{in} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \Delta T_{ev}} \delta \Delta T_{ev} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial p_{ev}} \delta p_{ev} \right)^2}$$

επιπλέον

όπου $\delta T_{in} = 0.05^\circ\text{C}$ (TE-10), $\delta \Delta T_{ev} = 0.02^\circ\text{C}$ (TdT-11) και $\delta p_{ev} = 5.4 \text{ Pa}$ (PT-30) και έχουμε $\delta \varepsilon = 0.015$

δηλαδή $\delta \varepsilon / \varepsilon = 1.7\%$

$$\beta) \quad \varepsilon = \frac{\Delta T_{ev}}{T_{out} + \Delta T_{ev} - \{T_{sat}(p_{ev}) + 0.31\}}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial T_{out}} = -\frac{\varepsilon^2}{\Delta T_{ev}} \approx -0.237 \text{ K}^{-1}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \Delta T_{ev}} = \frac{T_{out} - \{T_{sat}(p_{ev}) + 0.31\}}{(T_{in} - \{T_{sat}(p_{ev}) + 0.31\})^2} = \frac{\varepsilon - \varepsilon^2}{\Delta T_{ev}} \approx 0.023 \text{ K}^{-1}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial p_{ev}} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial T_{sat}} \frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{ev}} \approx 0.001481 \text{ Pa}^{-1}$$

$$\varepsilon_{\text{πιπλέον}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial T_{out}} \delta T_{out}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \Delta T_{ev}} \delta \Delta T_{ev}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial p_{ev}} \delta p_{ev}\right)^2}$$

όπου $\delta T_{out} = 0.05^\circ\text{C}$ (TE-12), $\delta \Delta T_{ev} = 0.02^\circ\text{C}$ (TdT-11) και $\delta p_{ev} = 5.4 \text{ Pa}$ (PT-30) και έχουμε $\delta \varepsilon = 0.014$

δηλαδή, $\delta \varepsilon / \varepsilon = 1.6\%$.

Αποτελεσματικότητα συμπυκνωτή άμεσης επαφής:

Η αποτελεσματικότητα του DCC ορίζεται ως

$$\varepsilon_{DCC} = \frac{T_{out} - T_{in}}{\{T_{sat}(p_{steam}) + 0.28\} - T_{in}}$$

όπου p_{steam} είναι η μερική πίεση του ατμού στην είσοδο του συμπυκνωτή.

Όλες οι μετρήσεις του θαλασσινού νερού γίνονται απευθείας για τα δύο επίπεδα του συμπυκνωτή (T-30 και T-31) αλλά η θερμοκρασία αυξάνει γύρω από την περιοχή του θερμικού εναλλάκτη, όπου παίρνουμε μετρήσεις θερμοκρασιακής διαφοράς ΔT_{DCC} (TdT-21). Επομένως έχουμε:

$$\varepsilon_{DCC} = \frac{\Delta T_{DCC}}{\{T_{sat}(p_{inlet}) + 0.28\} + \Delta T_{DCC} - T_{out}}$$

Για το πρώτο επίπεδο και πέρα από τον DCC, η ποσότητα των μη συμπυκνωμένων στην είσοδο είναι αμελητέα και η **psteam** μετριέται ως **pinlet** (P-33 σε αυτή την περίπτωση). Η άμεση μέτρηση θερμοκρασίας για την φάση ατμού ανάμεσα στα δύο επίπεδα του DCC, η μερική πίεση της εισόδου στο δεύτερο επίπεδο απαιτεί προσεκτικό υπολογισμό και ονομάζεται συνολική πίεση μεταξύ των επιπέδων ($p-\Delta p$), διαφορά μεταξύ PT-33 και PdT-33. Η αναλογία $p_{\text{steam}}/(p-\Delta p)$ είναι ίση με την αναλογία του ρυθμού μοριακής ροής του ατμού προς τον ολικό ρυθμό μοριακής ροής.

$$p_{\text{steam}} = \frac{(p - \Delta p)}{1 + \frac{18}{29} \frac{m_{\text{nc1}}}{m_{\text{steam}}}}$$

Επομένως,

το **mnc1** αντιπροσωπεύει την μαζική ροή των μη συμπυκνώσιμων μεταξύ των επιπέδων του DCC, η οποία είναι

$$m_{\text{nc1}} = m_{\text{nc}} - f_{\text{cw}} \rho_{\text{cw}} Q_{\text{cw}} R_{2t}$$

όπου **f_{cw}** είναι μία σταθερά (18.22×10^{-6} kg/kg), **ρ_{cw}** είναι η πυκνότητα του κρύου θαλάσσιου νερού, **Q_{cw}** ο ρυθμός ροής του κρύου θαλάσσιου νερού (FE-20), ενώ η αναλογία διανομής του κρύου θαλάσσιου νερού στο δεύτερο επίπεδο **R_{2t}** είναι $(T_{\text{cw1}} - T_{\text{cwo}}) / (T_{\text{cw1}} - T_{\text{cw2}})$ και περιέχει την θερμοκρασία του θαλάσσιου νερού στην έξοδο του DCC **T_{cw1}** για το πρώτο επίπεδο και **T_{cw2} = T_{out}** για το δεύτερο επίπεδο, **T_{cwo}** η ολική, αντίστοιχα TE-30, TE-31 και TE-22. Επαληθεύεται ότι η **mnc1** έχει βασική τιμή 19.86 g/s.

Το **msteam** αντιπροσωπεύει ότι δεν έχει συμπυκνωθεί μέσω του πρώτου επιπέδου DCC, αυτό είναι **x_{ms} (1-F₁)**, όπου **x_{ms}** το συνολικό ποσοστό μαζικής ροής του ατμού εισαγωγής στον DCC, επιπλέον έχουμε:

$$x_{\text{ms}} F_1 = \frac{c_p \rho_{\text{cw}} Q_{\text{cw}} (T_{\text{cw1}} - T_{\text{in}})(T_{\text{cwo}} - T_{\text{out}})}{h_{\text{fg}}(T_{\text{cw1}} - T_{\text{out}})},$$

όπου η μόνη πρόσθετη μέτρηση θερμοκρασίας είναι αυτή του κρύου θαλάσσιου νερού εισαγωγής **T_{in}**, από το TE-20.

Για το δεύτερο επίπεδο, οι βασικές τιμές του **psteam** και του (**p-Δp**) είναι αντίστοιχα 1328 Pa και 1353 Pa.

Οι βασικές τιμές των κύριων όρων στον τύπο της θερμικής αποτελεσματικότητας δίνονται ως:

	T _{sat}	T _{in}	T _{out}	ΔT _{DCC}	ε _{DCC}
First-stage	11.8°C	6.1°C	11.4°C		0.89
Second-stage	11.1°C	6.1°C	10.5°C		0.83
Overall	11.8°C		11.2°C	5.1°C	0.85

Για το πρώτο στάδιο και γενικά για τον DCC, οι σχετικοί συντελεστές ευαισθησίας λαμβάνονται εύκολα:

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial T_{in}} = \frac{T_{out} - \{T_{sat}(p_{steam}) + 0.28\}}{(\{T_{sat}(p_{steam}) + 0.28\} - T_{in})^2} = -\frac{\epsilon - \epsilon^2}{T_{out} - T_{in}}$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial T_{out}} = \frac{\epsilon}{T_{out} - T_{in}} \quad \text{για το πρώτο επίπεδο}$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial T_{out}} = \frac{\epsilon^2}{T_{out} - T_{in}} \quad \text{για όλο τον DCC}$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial p_{inlet}} = \frac{\partial \epsilon}{\partial T_{sat}} \frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{inlet}} = -\frac{\epsilon^2}{T_{out} - T_{in}} \frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{inlet}},$$

$$\text{με } \frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{inlet}}(1383 \text{ Pa}) = 0.01094 \text{ K/Pa},$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial \Delta T_{DCC}} = \frac{\{T_{sat}(p_{inlet}) + 0.28\} - T_{out}}{(\{T_{sat}(p_{inlet}) + 0.28\} - T_{in})^2} = \frac{\epsilon - \epsilon^2}{T_{out} - T_{in}}.$$

Οι αριθμητικές τιμές αυτών των συντελεστών παρουσιάζονται κατωτέρω καθώς επίσης και η προκύπτουσα αβεβαιότητα της αποτελεσματικότητας του DCC, βασισμένη σε μια ακρίβεια μέτρησης θερμοκρασίας 0,05 °C (TE-20 και TE-30), το $\delta p_{inlet} = 3 \text{ Pa}$ (PT-33) και $\delta \Delta T_{DCC} = 0,02 \text{ °C}$ (TdT-21):

	$\frac{\partial \epsilon}{\partial T_{in}}$	$\frac{\partial \epsilon}{\partial \Delta T_{DCC}}$	$\frac{\partial \epsilon}{\partial T_{out}}$	$\frac{\partial \epsilon}{\partial p_{inlet}}$	$\delta \epsilon$	$\frac{\delta \epsilon}{\epsilon}$
πρώτο επίπεδο	0.019		0.168	1.635×10^{-3}	9.8×10^{-3}	1.1%
ολικό		0.025	0.142	1.553×10^{-3}	8.5×10^{-3}	1%

Όπως έχει συζητηθεί, η ανάλυση για το δεύτερο στάδιο περιπλέκεται από το δύσκολο προσδιορισμό της μερικής πίεσης εισαγωγής **psteam**.

Πρέπει να εξεταστούν οι παρακάτω συντελεστές ευαισθησίας:

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial T_{in}} = -\frac{\epsilon - \epsilon^2}{T_{out} - T_{in}} - \frac{\epsilon^2}{T_{out} - T_{in}} \frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{steam}} \frac{\partial p_{steam}}{\partial T_{in}} = 1.503 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1},$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial T_{out}} = \frac{\epsilon}{T_{out} - T_{in}} - \frac{\epsilon^2}{T_{out} - T_{in}} \frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{steam}} \frac{\partial p_{steam}}{\partial T_{out}} = 0.24935 \text{ K}^{-1},$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial T_{cw1}} = -\frac{\epsilon^2}{T_{out} - T_{in}} \frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{steam}} \frac{\partial p_{steam}}{\partial T_{cw1}} = 0.17787 \text{ K}^{-1},$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial T_{cwo}} = -\frac{\epsilon^2}{T_{out} - T_{in}} \frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{steam}} \frac{\partial p_{steam}}{\partial T_{cwo}} = -0.27154 \text{ K}^{-1},$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial p} = -\frac{\epsilon^2}{T_{out} - T_{in}} \frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{steam}} \frac{\partial p_{steam}}{\partial p} = -1.743 \times 10^{-3} \text{ Pa}^{-1},$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial \Delta p} = -\frac{\epsilon^2}{T_{out} - T_{in}} \frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{steam}} \frac{\partial p_{steam}}{\partial \Delta p} = 1.743 \times 10^{-3} \text{ Pa}^{-1},$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial m_{nc}} = -\frac{\epsilon^2}{T_{out} - T_{in}} \frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{steam}} \frac{\partial p_{steam}}{\partial m_{nc}} = -2.1572 \times 10^{-3} \text{ (g/s)}^{-1},$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial Q_{cw}} = -\frac{\epsilon^2}{T_{out} - T_{in}} \frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{steam}} \frac{\partial p_{steam}}{\partial Q_{cw}} = -0.4376 \text{ (m}^3/\text{s)}^{-1},$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial \chi_{ms}} = -\frac{\epsilon^2}{T_{out} - T_{in}} \frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{steam}} \frac{\partial p_{steam}}{\partial \chi_{ms}} = 0.06434 \text{ (kg/s)}^{-1}.$$

Οι ανωτέρω αριθμητικές τιμές λήφθηκαν με

$$\frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{steam}} (1328.4) = 0.01134 \text{ K/Pa.}$$

Οι λεπτομέρειες των απλών, αν και κουραστικών, αλγεβρικών βημάτων που απαιτήθηκαν για τον υπολογισμό των διάφορων μερικών παραγώγων του **psteam** αφήνονται έξω. Με μια αβεβαιότητα 0,05°C και όλες τις μετρήσεις θερμοκρασιών, **δmnc** = 1,6 g/s, **δp** = 3 Pa, **δΔp** = 2,4 Pa, **δQcw** = 0.0061 m³/s και **δχms** = **χδms** = 0.0555 kg/s, η αβεβαιότητα για την αποτελεσματικότητα του δεύτερου σταδίου DCC είναι

$$\delta \epsilon = 0.0223, \text{ i.e. } \frac{\partial \epsilon}{\epsilon} = 2.7\%.$$

Ποσοστό ροής μάζας ατμού:

Το ποσοστό ροής της μάζας ατμού, σε kg/s, δίνεται από τον τύπο

$$m_s = \frac{\rho_w c_p Q_{ww} \Delta T_{ev}}{h_{fg}}$$

Το ποσοστό ροής του όγκου του θερμού νερού της θάλασσας **Qww** μετριέται άμεσα, καθώς επίσης και η θερμοκρασιακή διαφορά **ΔTev** πέρα από τον ατμοποιητή. Οι άλλες παράμετροι, εντούτοις, καθορίζονται από τις κατάλληλες καμπύλες των εξισώσεων $T_{avg} = (T_{in} - T_{out})/2$ και $T_{sat}(p_{ev})$, και τα δύο εκφράζονται σε °C.

$$\rho_w = 1027.7154 - 0.04992 T_{avg} - 0.006773 T_{avg}^2 + 4.766 \times 10^{-5} T_{avg}^3$$

$$c_p = 3.9867 + 4.773 \times 10^{-4} T_{avg}$$

$$h_{fg} = 2501.6 + (1.86 - c_p) \{T_{sat}(p_{ev}) + 0.31\}$$

Με $T_{in} = 26^\circ\text{C}$ και $T_{sat} (2620) = 21,85^\circ\text{C}$, οι τιμές των τριών ανωτέρω παραμέτρων είναι, αντίστοιχα, 1023.20 kg/m^3 , 3.998 kJ/kg-K και 2454.2 kJ/s .

Εξετάστηκαν οι παρακάτω συντελεστές ευαισθησίας:

$$\frac{\partial m_s}{\partial Q_{ww}} = \frac{\rho_w c_p \Delta T_{ev}}{h_{fg}} = \frac{m_s}{Q_{ww}} \approx 5.8377\text{ kg/m}^3$$

$$\frac{\partial m_s}{\partial \Delta T_{ev}} = \frac{\rho_w c_p Q_{ww}}{h_{fg}} = \frac{m_s}{\Delta T_{ev}} \approx 1.0114\text{ kg/s-K}$$

$$\frac{\partial m_s}{\partial p_{ev}} = \frac{\partial m_s}{\partial h_{fg}} \frac{\partial h_{fg}}{\partial T_{sat}} \frac{\partial T_{sat}}{\partial p_{ev}} = -\frac{(1.86 - c_p)m_s \partial T_{sat}}{h_{fg} \partial p_{ev}} \approx 1.93 \times 10^{-5}\text{ kg/s-Pa}$$

$$\frac{\partial m_s}{\partial T_{in}} = \frac{\partial m_s}{\partial T_{out}} = 0.5 \frac{\partial m_s}{\partial T_{avg}} \approx -0.0005\text{ kg/s-K}$$

$$\mu\epsilon \quad \frac{\partial m_s}{\partial T_{avg}} = \frac{\partial m_s}{\partial \rho_w} \frac{\partial \rho_w}{\partial T_{avg}} + \frac{\partial m_s}{\partial c_p} \frac{\partial c_p}{\partial T_{avg}}$$

$$= \frac{m_s}{\rho_w} \frac{\partial \rho_w}{\partial T_{avg}} + \frac{h_{fg} + c_p \{T_{sat}(p_{ev}) + 0.31\}}{h_{fg}^2} \frac{\partial c_p}{\partial T_{avg}}$$

με $\delta Q_{ww} = 0.0091\text{ m}^3/\text{s}$ (FE-10), $\delta \Delta T_{ev} = 0.02^\circ\text{C}$ (TdT-11), $\delta p_{ev} = 5.4\text{ Pa}$ (PT-30), $\delta T_{in} = \delta T_{out} = 0.05^\circ\text{C}$ (TE-10 και TE-11) και οι συντελεστές ευαισθησίας είναι προφανές ότι το T_{in} , T_{out} και το p_{ev} στο δm_s είναι αμελητέοι. Συνεπώς

$$\delta m_s \approx \sqrt{\left(\frac{\partial m_s}{\partial Q_{ww}} \delta Q_{ww}\right)^2 + \left(\frac{\partial m_s}{\partial \Delta T_{ev}} \delta \Delta T_{ev}\right)^2} \approx 0.057\text{ kg/s}$$

με

$$\frac{\delta m_s}{m_s} \approx 1.6\%$$

Ισεντροπική δύναμη του στροβίλου

Η ισεντροπική δύναμη στο στρόβιλο, σε όλη την διαδρομή προς την έξοδο διάχυσης ορίζεται ως $P_{ise} = m_s \Delta h_{ise}$. Το P_{ise} είναι μια αφαίρεση που χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση της απόδοσης του στροβίλου, μέσω της αποτελεσματικότητας του.

Ενώ οι πληροφορίες για το ποσοστό μαζικής ροής του ατμού ειπώθηκαν ανωτέρω, η ονομαστική αξία της ισεντροπικής πτώσης ενθαλπίας Δh_{ise} είναι $83,84\text{ kJ/kg}$, που αντιστοιχεί στις πιέσεις εισόδου και εξόδου του στροβίλου 2611 και 1383 Pa , αντίστοιχα, και οι γραμμικές θερμοδυναμικές ιδιότητες από τους πίνακες ατμού ASME. Κατά συνέπεια, η τιμή P_{ise} είναι 296.45 kW . Πιο συγκεκριμένα, έχουμε:

$$\Delta h_{ise} = h_1 - \left\{ h_{f2} + \frac{s_1 - s_{f2}}{s_{fg2}} h_{fg2} \right\}$$

Στον ανωτέρω τύπο, οι υπογεγραμμένοι 1 και 2 καθορίζουν την είσοδο του στροβίλου (διαποτισμένος ατμός) και την έξοδο διάχυσης (διφασικό μίγμα), αντίστοιχα. Η ισεντροπική Δh_{ise} απεικονίζεται παρουσία του s_1 (αντί του άγνωστου s_2) στην ποιότητα ατμού $x_{ise} = (s_1 - s_{f2})/s_{fg2}$.

Οι δηλωμένες μεταβλητές 1 εξαρτώνται από τη μέτρηση της πίεσης εισόδου το στροβίλου p_1 , ενώ οι δηλωμένες μεταβλητές 2 είναι συναρτήσεως της πίεσης εξόδου στροβίλων p_2 . Όπως αναφέρεται ανωτέρω, όλα τα συστατικά Δh_{ise} διαβάζονται, παραδείγματος χάριν, από τους πίνακες ατμού ASME, με την κατάλληλη πίεση εισόδου. Κατά συνέπεια έχουμε:

h_1 (kJ/kg)	s_1 (kJ/kg-K)	s_{fg2} (kJ/kg-K)	s_{f2} (kJ/kg-K)	h_{fg2} (kJ/kg)	h_{f2} (kJ/kg)
2541.43	8.628	8.681	0.1775	2473.66	49.51

Παραμελώντας τις επιδράσεις του p_{ev} , του T_{in} και του T_{out} εκ του m_s , που αποδείχθηκαν αμελητέες, οι δύο μετρημένες ποσότητες που έχουν επιπτώσεις στο P_{ise} μέσω της m_s είναι το Q_{ww} και το ΔT_{ev} :

$$\frac{\partial P_{ise}}{\partial \Delta T_{ev}} = \frac{\partial P_{ise}}{\partial m_s} \frac{\partial m_s}{\partial \Delta T_{ev}} = \Delta h_{ise} \frac{\partial m_s}{\partial \Delta T_{ev}} \approx 84.796 \text{ kW/K}$$

$$\frac{\partial P_{ise}}{\partial Q_{ww}} = \frac{\partial P_{ise}}{\partial m_s} \frac{\partial m_s}{\partial Q_{ww}} = \Delta h_{ise} \frac{\partial m_s}{\partial Q_{ww}} \approx 489.43 \text{ kJ/m}^3$$

Επιπλέον, οι άλλες δύο μετρήσιμες παράμετροι που χρησιμοποιούνται στον προσδιορισμό του Δh_{ise} είναι το p_1 και το p_2 . Από τους πίνακες ατμού του ASME, λαμβάνουμε (σε μονάδες SI):

$\frac{\partial h_1}{\partial p_1}$	$\frac{\partial s_1}{\partial p_1}$	$\frac{\partial s_{f2}}{\partial p_2}$	$\frac{\partial s_{fg2}}{\partial p_2}$	$\frac{\partial h_{f2}}{\partial p_2}$	$\frac{\partial h_{fg2}}{\partial p_2}$
1.15×10^{-2}	-1.33×10^{-4}	1.65×10^{-4}	-4.34×10^{-4}	4.69×10^{-2}	-2.70×10^{-2}

Οι ανωτέρω τιμές είναι γραμμικοί συντελεστές μεταξύ 2600 και 2800 Pa για τις παραμέτρους 1 και μεταξύ 1300 και 1400 Pa για τις παραμέτρους 2.

Αφετέρου έχουμε:

$$\frac{\partial P_{ise}}{\partial p_1} = \frac{\partial P_{ise}}{\partial \Delta h_{ise}} \frac{\partial \Delta h_{ise}}{\partial p_1} = m_s \left\{ \frac{\partial h_1}{\partial p_1} - \frac{h_{fg2}}{s_{fg2}} \frac{\partial s_1}{\partial p_1} \right\} \approx 0.1747 \text{ kW/Pa}$$

$$\frac{\partial P_{ise}}{\partial p_2} = \frac{\partial P_{ise}}{\partial \Delta h_{ise}} \frac{\partial \Delta h_{ise}}{\partial p_2}$$

$$= m_s \left\{ \frac{\partial h_{f2}}{\partial p_2} + \frac{s_{fg2} \left\{ (s_{f2} - s_1) \frac{\partial h_{fg2}}{\partial p_2} + h_{fg2} \frac{\partial s_{f2}}{\partial p_2} \right\} + \left\{ h_{fg2} (s_{f2} - s_1) \right\} \frac{\partial s_{fg2}}{\partial p_2}}{s_{fg2}^2} \right\}$$

$$\approx -0.3323 \text{ kW/Pa}$$

με $\delta Q_{ww} = 0.0091 \text{ m}^3/\text{s}$ (FE-10), $\delta \Delta T_{ev} = 0.02 \text{ }^\circ\text{C}$ (TdT-11), $\delta p_1 = 5.4 \text{ Pa}$ (PT-32), $\delta p_2 = 3 \text{ Pa}$ (PT-33) και από τους ανωτέρους συντελεστές ευαισθησίας έχουμε:

$$\delta P_{ise} = \sqrt{\left(\frac{\partial P_{ise}}{\partial Q_{ww}} \delta Q_{ww} \right)^2 + \left(\frac{\partial P_{ise}}{\partial \Delta T_{ev}} \delta \Delta T_{ev} \right)^2 + \left(\frac{\partial P_{ise}}{\partial p_1} \delta p_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial P_{ise}}{\partial p_2} \delta p_2 \right)^2}$$

$$\delta P_{ise} \approx 4.96 \text{ kW and } \frac{\delta P_{ise}}{P_{ise}} \approx 1.7 \%$$

Ολικό κλάσμα του ατμού που συμπυκνώνεται:

Ο τύπος για την ποσότητα του ατμού που συμπυκνώνεται από το συμπυκνωτή άμεσης επαφής (DCC) είναι:

$$F = \frac{\rho_w c_p Q_{cw} \Delta T_{DCC}}{h_{fg}} \frac{1}{\chi m_s}$$

Το **F** έχει μια ονομαστική αξία 0,99, **Q_{ww}** είναι το ογκομετρικό ποσοστό ροής κρύου νερού της θάλασσας στον DCC, και έχει τιμή 0.4031 m³/s, ενώ το ονομαστικό κρύο νερό της θάλασσας πρέπει να αξιολογηθεί σε μια μέση θερμοκρασία πέρα από το DCC. Αυτή η αναλογία, εντούτοις, είναι τυπικά παρόμοια με την έκφραση για το **m_s**, που διευκρινίζεται παραπάνω (ασχολούμαστε απλά εδώ με το DCC αντί για τον εξαμιστήρα). Αποδείχθηκε ότι μόνο η μέτρηση **Q_{ww}** και **ΔT_{ev}** επηρέασε την αβεβαιότητα της παραγόμενης παραμέτρου **m_s**. Ομοίως, είναι σαφές ότι μόνο **Q_{cw}** και **ΔT_{DCC}** έχουν επιπτώσεις ουσιαστικά στην πρώτη αναλογία στον καθορισμό του **F**. Επομένως, έχουμε:

$$\frac{\partial F}{\partial Q_{ww}} = -\frac{F}{Q_{ww}} \approx -1.62 \text{ s/m}^3$$

$$\frac{\partial F}{\partial \Delta T_{ev}} = -\frac{F}{\Delta T_{ev}} \approx -0.281 \text{ K}^{-1}$$

$$\frac{\partial F}{\partial Q_{cw}} = \frac{F}{Q_{cw}} \approx 2.46 \text{ s/m}^3$$

$$\frac{\partial F}{\partial \Delta T_{DCC}} = \frac{F}{\Delta T_{DCC}} \approx 0.186 \text{ K}^{-1}$$

Αφ' ετέρου, το χ είναι συναρτήσεως των πιέσεων εισόδου και εξόδου στον στρόβιλο:

$$\chi = \frac{s_2 - s_{f2}}{s_{fg2}}$$

Δεδομένου ότι η εντροπία s_2 είναι άγνωστη, το χ υπολογίζεται με τη βοήθεια της απόδοσης του στροβίλου η_t , άρα:

$$\eta_t = \frac{h_1 - \{h_{f2} + \chi h_{fg2}\}}{h_1 - \{h_{f2} + \frac{s_1 - s_{f2}}{s_{fg2}} h_{fg2}\}}$$

επομένως

$$\chi = \frac{h_1 - h_{f2}}{h_{fg2}} (1 - \eta_t) + \eta_t \frac{s_1 - s_{f2}}{s_{fg2}}$$

Οι βασικές τιμές για το χ και η_t είναι 0,98 και 0,84 αντίστοιχα. Η αξιολόγηση της ευαισθησίας του F στο p_1 και στο p_2 , μέσω του χ , δεν είναι εύκολη επειδή το η_t επίσης εξαρτάται από αυτές τις πιέσεις με έναν μη απλό τρόπο. Εντούτοις, θεωρώντας ότι το χ μπορεί να αντικατασταθεί από το χ_{ise} , στον υπολογισμό των μερικών παραγώγων της ποιότητας ατμού πάνω στις πιέσεις εισόδου και εξόδου του στροβίλου, δείχνει ότι το μέγεθος του $\partial F / \partial p_1$ και του $\partial F / \partial p_2$ πιθανώς να είναι πάρα πολύ μικρό, της τάξης του 10^{-5} Pa^{-1} , για να έχει επιπτώσεις στην αβεβαιότητα του F . Επομένως, με τις προηγουμένως χρησιμοποιημένες αβεβαιότητες οργάνων και $\delta Q_{cw} = 0.0061 \text{ m}^3/\text{s}$ (FE-20):

$$\frac{\delta F}{F} = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial Q_{ww}} \delta Q_{ww}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial \Delta T_{ev}} \delta T_{ev}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial Q_{cw}} \delta Q_{cw}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial \Delta T_{DCC}} \delta T_{DCC}\right)^2}$$

$$\frac{\delta F}{F} \approx 2.2\%$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

http://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_thermal_energy_conversion

<http://www.nrel.gov/otec/>

<http://www.lockheedmartin.com/products/OTEC/index.html>

www.youtube.com

www.otecnews.org

www.nelha.org

www.ocees.com

'Use of mixtures as working fluids in Ocean Thermal Energy Conversion cycles' Khan Zafar Iqbal – Kenneth Starling

'Renewable ocean energy sources: PART 1 – Ocean Thermal Energy Conversion'

'Thermal efficiency enhancement of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) using Solar Thermal Energy' Yamada – Hoshi – Ikegami

'The hydrogen economy of 2050: OTEC driven' J. Van Ryzin – P. Grandelli – D. Lipp – R. Argall

'Ocean Thermal Energy Conversion' Solar Energy Research Institute (SERI)

'Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC): Electricity and desalinated water production' L.A. Vega

'Conceptual Design Of An Open Cycle Ocean Thermal Energy Conversion Net Power – Producing Experiment (OC-OTEC NPPE)' SERI 1990

'OCEAN ENERGIES: Environmental, economic and technological aspects of alternative power sources' R.H. Charlier – J.R. Justus

'Renewable energy from the ocean: a guide to OTEC' W. Avery – Chih Wu