



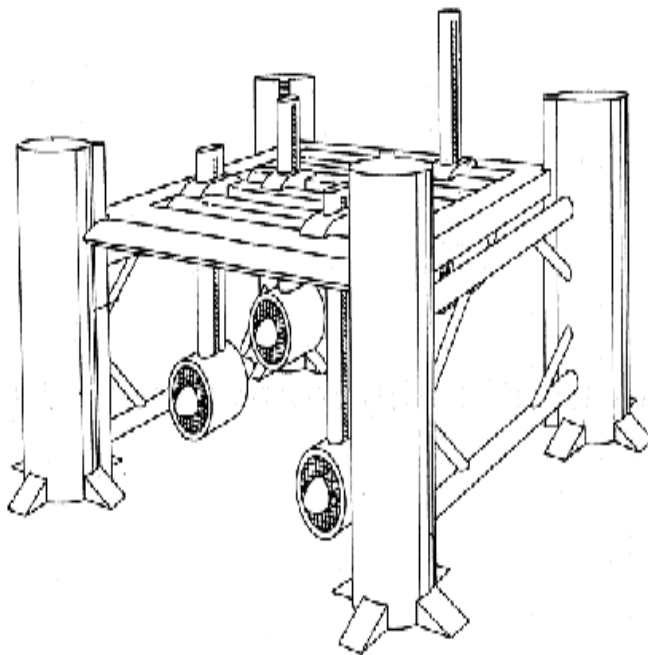
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

# «ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ»



ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΛΑΜΠΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΚΑΘ. ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΧΑΡΙΛΑΟΣ

ΝΑΣΙΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ:</b> Τεχνολογίες ΑΠΕ στην Ευρώπη	σελ 6
1.1 Παρούσα κατάσταση	σελ 6
1.2 Στρατηγικές για τις ΑΠΕ	σελ 7
1.3 Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας	σελ 9
1.4 Θέματα ενσωμάτωσης	σελ 12
1.5 Ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ	σελ 12
1.5.1 Ο διαλείπων χαρακτήρας ορισμένων ΑΠΕ	σελ 12
1.5.2 Ασφάλεια της ζήτησης της ενέργειας και δυναμική συμπεριφορά των υβριδικών συστημάτων	σελ 14
1.5.3 Διαχείριση ενέργειας και φορτίων	σελ 14
1.5.4 Δυνατότητες ενεργειακής αποθήκευσης	σελ 15
<b>2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ:</b> Η ιδέα μας	σελ 16
2.1 Γιατί τα ρεύματα ρέουν;	Σελ 16
2.2 Θεωρία Ekman	σελ 17
2.3 Τα σχέδια των ρευμάτων επιφανείας	σελ 18
2.4 Τα βαθιά ρεύματα	σελ 22
2.5 Ρόλος των μαζών ύδατος	σελ 23
2.6 Ωκεάνια ρεύματα	σελ 26
2.7 Ρεύματα λόγω του ανέμου	σελ 27
2.8 Ρεύματα πυκνότητας	σελ 28
2.9 Κυκλοφορία και ανακύκλωση νερού στους ωκεανούς	σελ 29
2.10 Τα νερά του Ατλαντικού	σελ 30
2.11 Τα νερά του Ειρηνικού ωκεανού (φαινόμενο El ninio και El ninia)	σελ 34
2.12 Τα νερά του Ινδικού ωκεανού	σελ 40
2.13 Τα πολικά ρεύματα	σελ 42
<b>3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ:</b> Ιδιότητες των υποθαλάσσιων ρευμάτων	σελ 46
3.1 Τι είναι τα υπερύγρα;	Σελ 48
3.2 Τι είναι το τριπλό σημείο;	Σελ 50
<b>4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ:</b> Πειραματική διαδικασία	σελ 52
4.1 Παράμετροι και κατασκευή της δεξαμενής	σελ 52
4.2 Καταπόνηση της δεξαμενής	σελ 53
4.3 Επιβολή της δεξαμενής σε κρύες συνθήκες	σελ 53

4.4	Επιβολή της δεξαμενής σε συνθήκες ζέστης	σελ 54
4.5	Μοντέλο παρουσίας (μια πρακτική προσέγγιση της θεωρίας μας)	σελ 57
4.6	Κατασκευή πλανητικού συστήματος και επιλογή γранаζιών	σελ 58
4.7	Πραγματικό μοντέλο	σελ 62
4.8	Κατόψεις μοντέλα και σχέδια λειτουργίας Τρίτωνα	σελ 64
4.9	Τροφοδοσία εσωτερικών συστημάτων λειτουργίας του Τρίτωνα	σελ 65
<b>5<sup>ο</sup></b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ:</b> Περιβαλλοντολογική μελέτη	σελ 67
<b>6<sup>ο</sup></b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ:</b> Δυνάμεις που αναπτύσσονται από κινούμενα υγρά	σελ 69
<b>7<sup>ο</sup></b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ:</b> Μηχανική στροβιλομηχανών	σελ 73
<b>8<sup>ο</sup></b>	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ:</b> Λύση υδραυλικού προβλήματος	σελ 78
	<b>Βιβλιογραφία</b>	σελ 82

## Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή γίνεται αναφορά στην κατάσταση που επικρατεί στην Ευρώπη όσον αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς και τις στρατηγικές που έχουν θεσπιστεί από τα κράτη μέλη για την αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος. Επιπλέον γίνεται μια προσπάθεια, από μέρους μας, να παρουσιάσουμε τη δική μας ιδέα ανανεώσιμης και ανεκμετάλλευτης πηγής ενέργειας με κινητήριο δύναμη τα υποθαλάσσια ρεύματα. Έτσι, γίνεται μια παρουσίαση των ρευμάτων αυτών (ταχύτητες, ιδιότητες, είδη ) και ερχόμαστε σε επαφή με τον όρο του υπερυγρού. Ακόμα, στην πτυχιακή αυτή, γίνεται μια διερεύνηση των παραγόντων που θα επηρεάζουν τον περιβάλλοντα χώρο της μηχανής καθώς και των δυνάμεων που θα αναπτύσσονται πάνω της από τα κινούμενα υγρά. Τέλος γίνεται και αναφορά στην πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για την «απόδειξη» της θεωρίας μας.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι παρακάτω μελέτες , σχεδιασμοί και κατασκευές έγιναν έχοντας υπόψη την κρίση της ενέργειας που υφίσταται σήμερα όχι μόνο στην χώρα μας αλλά και σε ολόκληρο τον κόσμο, η οποία απειλεί ή να αλλάξει την καθημερινότητα μας όπως την γνωρίζουμε ή να οδηγήσει το είδος μας με μαθηματική ακρίβεια στην εξαφάνιση. Η Ευρωπαϊκή Ένωση γνωρίζοντας ότι το σημείο που βρισκόμαστε είναι κρίσιμο αποφάσισε την πραγματοποίηση κάποιων ενεργειών ώστε να αυξηθούν μακροπρόθεσμα οι Α.Π.Ε (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας). Απόσπασμα του σχετικού φυλλαδίου παραθέτουμε παρακάτω.

Στο **πρώτο κεφάλαιο** της πτυχιακής εργασίας γίνεται μια αναφορά στην κατάσταση που επικρατεί στην Ευρώπη αυτή τη στιγμή όσον αφορά τις ΑΠΕ, τις στρατηγικές που έχουν θεσπιστεί από τα κράτη μέλη καθώς και κάποια θέματα τεχνικής υφής για την ηλεκτροπαραγωγή των ΑΠΕ (ασφάλεια, αποθήκευση, διαχείριση ενέργειας)

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** της παρούσης εργασίας γίνεται μια προσπάθεια παρουσίασης της δικής μας ιδέας για ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Δηλαδή ποια είναι η πηγή ενέργειας, πως δημιουργείται αυτή καθώς και περιγραφή των κύριων θαλασσίων ρευμάτων στους ωκεανούς.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται παρουσίαση των ιδιοτήτων των υποθαλασσίων και των ειδών αυτών. Επιπλέον αναφορά στις ταχύτητες κάποιων από αυτών καθώς και στον όρο του υπερυγρού (τρόπος δημιουργίας, ιδιότητες) και του τριπλού σημείου.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** ερχόμαστε σε επαφή με την πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για την «απόδειξη» της πρότασης μας (τεχνικά χαρακτηριστικά, φωτογραφίες, κατόψεις και σχέδια λειτουργίας) καθώς και στοιχεία για το «πραγματικό» μοντέλο.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** εξετάζονται οι παράγοντες που θα παράγονται από τη μηχανή και θα επηρεάζουν τον περιβάλλοντα χώρο της καθώς και τρόποι αντιμετώπισης αυτών των προβλημάτων.

Στο **έκτο** παρουσιάζονται οι δυνάμεις που αναπτύσσονται από κινούμενα υγρά (βασικής αρχής κίνησης της πρότασης μας).

Στο **έβδομο κεφάλαιο** παρουσιάζονται μερικές από τις βασικές αρχές που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή αντλιών, τουρμπινών και προπελών καθώς και υπολογισμός των δυνάμεων που θα αναπτύσσονται πάνω στον «Τρίτωνα»

Στο **όγδοο κεφάλαιο** της πτυχιακής μας εργασίας γίνεται μια προσπάθεια επίλυσης του υδραυλικού προβλήματος που παρουσιάζεται στην μηχανή του «Τρίτωνα» στο θεωρητικό, τουλάχιστον, επίπεδο.

## **Εισαγωγή**

Ο στόχος της ευρωπαϊκής κοινότητας για διπλασιασμό του παρόντος μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέχρι το 2010, φθάνοντας έτσι η συμμετοχή τους στο 12% της πρωτογενούς κατανάλωσης της Ε.Ε., θεωρείται γενικά ως ένας ρεαλιστικός στόχος και ένα αναγκαίο πρώτο βήμα για την εναρμόνιση με τις διεθνείς δεσμεύσεις για την προστασία του περιβάλλοντος. Παρά την αξιόλογη τεχνολογική πρόοδο που έχει επιτευχθεί τελευταία και την αυξανόμενη ανταγωνιστικότητα των τεχνολογιών ΑΠΕ, η ενσωμάτωση σε μεγάλη κλίμακα των ανανεώσιμων πηγών στο Ευρωπαϊκό ενεργειακό σύστημα δεν είναι εύκολη υπόθεση.

Οι διαθέσιμες τεχνικές επιλογές μπορούν να ικανοποιήσουν τις διάφορες φιλοδοξίες μόνο όταν εξετάζονται στα πλαίσια ενός συνολικού σχεδιασμού και χρησιμοποιούνται σε σύνθετα σχήματα που στόχο έχουν τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας. Αυτό σημαίνει ότι, πρέπει να γίνουν σημαντικές αλλαγές στις υπάρχουσες ενεργειακές υποδομές ώστε να εισαχθούν οι ΑΠΕ κατά ένα βέλτιστο τρόπο. Εξάλλου, εάν ο μακροπρόθεσμος στόχος είναι να διαδραματίσουν οι ανανεώσιμες πηγές εξέχοντα ρόλο στη συνολική ενεργειακή τροφοδοσία, πρέπει να λάβει χώρα μια ριζική ανανέωση των ενεργειακών υποδομών.

Κατά βάση, τα διάφορα συστήματα και σχήματα ΑΠΕ είναι θεμιτό να αποτελούνται αποκλειστικά από τεχνολογίες ανανεώσιμων μέχρι και στο 100% της τροφοδοσίας από κεντρικά συστήματα ΑΠΕ, καθώς και η ενσωμάτωση των αποκεντρωμένων σχημάτων ΑΠΕ στα υφιστάμενα ενεργειακά συστήματα. Στην πράξη, η ενεργειακή τροφοδοσία συχνά περιλαμβάνει ενεργειακές πηγές ορυκτών καυσίμων για λόγους υποστήριξης και εφεδρείας, ειδικά όταν τα συστήματα ΑΠΕ εισάγονται σε συστήματα

τροφοδοσίας με υφιστάμενους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ορυκτών καυσίμων. Επίσης, όταν εφαρμόζονται μεμονωμένα οι τεχνολογίες ΑΠΕ μειονεκτούν με την ικανότητα των παραδοσιακών τεχνολογιών παραγωγής με ορυκτά καύσιμα να παρέχουν σταθερή ισχύ με αποδεκτά υψηλές τιμές δυναμικού.

Για το λόγο αυτό, προκειμένου να αξιοποιηθεί πλήρως το δυναμικό των τεχνολογιών ΑΠΕ, θα πρέπει αυτές να χρησιμοποιούνται μαζί κατά ένα ολοκληρωμένο τρόπο που να περιλαμβάνει υβριδικά σχήματα. Αυτά τα **ολοκληρωμένα συστήματα** μπορεί να αποτελούνται από τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες ΑΠΕ, αποθήκευσης ενέργειας ή/και με τεχνολογίες ρύθμισης της ισχύος, και μπορούν να εφαρμόζονται σε διαφορετικές διαμορφώσεις (κεντρικά συστήματα για τοπική τροφοδοσία ηλεκτρισμού ή κατανεμημένα συστήματα για περιφερειακή τροφοδοσία), προσαρμοσμένες στις συνθήκες και στις δυνατότητες της κάθε συγκεκριμένης τοποθεσίας, ώστε να εξασφαλίζουν σταθερή και αξιόπιστη ισχύ.

Εν τέλει, τα συστήματα ΑΠΕ μπορούν να αναπτυχθούν σε βασισμένα αποκλειστικά στις ΑΠΕ σχήματα που περιλαμβάνουν νέους τύπους κοιμιστών ενέργειας, όπως το υδρογόνο, σε συνδυασμό με νέους τρόπους παροχής και διαχείρισης της ζήτησης της ενέργειας από τους τελικούς χρήστες. Τελευταία έχει γίνει ευρέως αποδεκτό ότι είναι μία αναγκαία αλλά όχι ικανή συνθήκη για τη διεύθυνση σε μεγάλη κλίμακα των ΑΠΕ. Όσον αφορά το κόστος των τεχνολογιών ΑΠΕ, οι ατέλειες της υφιστάμενης αγοράς περιορίζουν ακόμα την καθιέρωση δίκαιου ανταγωνισμού με τα συμβατικά συστήματα. Αυτό μπορεί να απειλήσει σοβαρά την περαιτέρω εξέλιξη της ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ στην εσωτερική αγορά ηλεκτρισμού της Ε.Ε. και, έτσι, να υποσκαφθεί η συμμόρφωση με τους στόχους που τέθηκαν στη Λευκή Βίβλο για τις ΑΠΕ και με τις δεσμεύσεις του Κιότο.

Η πρόταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για μία Οδηγία για «την προώθηση του ηλεκτρισμού στην εσωτερική αγορά ηλεκτρισμού» παρέχει ένα ισχυρό πλαίσιο για την ελαχιστοποίηση των σχετικών κινδύνων. Οι πρόσφατες εμπειρίες σε διάφορες χώρες της Ε.Ε. καταδεικνύουν ότι υπάρχουν τρόποι για επιτυχή υλοποίηση των συστημάτων ΑΠΕ, ακόμα και σε μία αγορά που απελευθερώνεται με ταχείς ρυθμούς. Τέλος, οι νέοι περιορισμοί για την προστασία του περιβάλλοντος και την αέναη ανάπτυξη καθιερώνουν

ένα πολύ θετικό πλαίσιο, ευνοώντας την επιλογή των ΑΠΕ έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας.



# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο:ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΕ ΣΤΗΝ** **ΕΥΡΩΠΗ**

## **1.1:ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

Τελευταία παρατηρείται μία σημαντική αύξηση του ενδιαφέροντος που επιδεικνύουν κυβερνήσεις, οι ενεργειακοί σχεδιαστές, εταιρείες ηλεκτρισμού και ιδιώτες επενδυτές για την ένταξη των τεχνολογιών ΑΠΕ στο χαρτοφυλάκιο ενεργειακής τροφοδοσίας. Μακροπρόθεσμος στόχος της Ευρωπαϊκής πολιτικής είναι μία σημαντική συνεισφορά (12% το έτος 2010) από προερχόμενη από την Ευρωπαϊκή ανανεώσιμη ενέργεια, η οποία ειδικά για τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής προγραμματίζεται να ανέλθει στο 22,1% της ακαθάριστης κατανάλωσης ηλεκτρισμού μέχρι το 2010 (12,5% χωρίς τα μεγάλα υδροηλεκτρικά). Ο στόχος αυτός επηρεάζεται από το αυξανόμενο ενδιαφέρον σχετικά με εξωτερικά κόστη (τα σχετικά με τις εκπομπές CO<sub>2</sub> και άλλα)

Οι πιο ελπιδοφόρες, έως σήμερα γνωστές, τεχνολογίες ΑΠΕ βασίζονται στον άνεμο, τη βιομάζα και την ηλιακή ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή αλλά και για παραγωγή θερμότητας. Προς το παρόν οι εφαρμογές των ΑΠΕ αφορούν κυρίως μία τεχνολογία ΑΠΕ κάθε φορά, π.χ. αιολικά πάρκα, φωτοβολταϊκά συστήματα, κλπ. Μέχρι τώρα η Έρευνα και Ανάπτυξη (Ε&Α) διεθνώς γύρω από τα υβριδικά συστήματα ΑΠΕ έχει εστιαστεί κυρίως στα συστήματα αιολικών/ντίζελ, ενώ τα μελλοντικά προγράμματα προβλέπεται να επικεντρωθούν σε συστήματα ΑΠΕ στα οποία θα ενσωματώνονται αρκετές από τις τεχνολογίες αυτές.

Οι προσπάθειες Ε&Α στο πεδίο των ΑΠΕ βρίσκονται σε συμφωνία με τις εθνικές και Ευρωπαϊκές πολιτικές για την ενέργεια, και από το πρόγραμμα Πλαίσιο της Ε.Ε, έχουν διατεθεί σημαντικές χρηματοδοτήσεις για την ανάπτυξη των τεχνολογιών ΑΠΕ, ιδιαίτερα των υβριδικών. Υπάρχουν επίσης συμπληρωματικά εθνικά προγράμματα Ε&Α που εστιάζουν σε διαφορετικούς τομείς των ΑΠΕ, ανάλογα με τους εθνικούς πόρους και προτεραιότητες. Σε καθαρά οικονομική βάση, όταν δηλαδή δεν συνυπολογίζονται τα εξωτερικά κόστη, οι τεχνολογίες των ΑΠΕ δεν είναι ακόμα πλήρως ανταγωνιστικές με τις υπάρχουσες τεχνολογίες ενεργειακής τροφοδοσίας.

Πάντως, προβλέπεται γενικά ότι οι νέες τεχνολογίες ΑΠΕ (αιολικά, φωτοβολταϊκά, θερμικά ηλιακά, βιομάζα κλπ.) θα καταστούν σταδιακά οικονομικώς ανταγωνιστικές προς τις εγκαταστάσεις των πυρηνικών και των ορυκτών καυσίμων, ενώ κάποιες από αυτές, όπως τα αιολικά, θα είναι πλήρως ανταγωνιστικές μέσα σε ένα χρονικό ορίζοντα από 10 έως 20 χρόνια (η τεχνολογία των αιολικών είναι ήδη ανταγωνιστική στις περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό). Σε δεύτερο επίπεδο, η παραπάνω προσπάθεια συμπληρώνεται με δράσεις διάδοσης που στόχο έχουν τη δημιουργία μιας “κρίσιμης μάζας” για τη δυναμική ανάπτυξη της αγοράς.

Χαρακτηριστικά αυτού του σταδίου είναι οι συνθήκες για ένα σταθερό και ευνοϊκό πλαίσιο που να αντικατοπτρίζει τα κοινωνικά και τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των ΑΠΕ. Τελευταία, τα ήδη εφαρμοζόμενα ή υπό συζήτηση συστήματα διάδοσης δίνουν έμφαση σε στοιχεία της αγοράς (ανταγωνισμός, δημοσιονομικά κίνητρα) και υποδεικνύουν ένα τρίτο επίπεδο διάδοσης. Έτσι, τελευταία έχουν αυξηθεί τα μέτρα “έμμεσης” υποστήριξης, κυρίως ευνοϊκά τιμολόγια πώλησης του ηλεκτρισμού από ΑΠΕ και χαμηλότοκα δάνεια, που σταδιακά καθίστανται πιο σημαντικά από τα εργαλεία “άμεσης” υποστήριξης (επιχορηγήσεις, επιδοτήσεις, κλπ)

Κανονικά, το ποσοστό “υποστήριξης” που περιέχεται στις πληρωμές του ηλεκτρισμού από ΑΠΕ που διοχετεύεται στο δίκτυο είναι το κυριότερο μεμονωμένο υποστηρικτικό μέτρο (965 μύρια κατ’ έτος). Η συνολική ενίσχυση των ΑΠΕ στην Ε.Ε., σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο, είναι στην πραγματικότητα 1,7 δις περίπου, για συνολική δαπάνη (ενίσχυση συν τις αντίστοιχες ιδιωτικές επενδύσεις) της τάξης των 2,9 δις. Οι ετήσιες επενδύσεις που απαιτούνται προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος του μεριδίου 12% των ΑΠΕ στην ενεργειακή τροφοδοσία το 2010 εκτιμώνται στην Λευκή Βίβλο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σε 6,8 δις περίπου. Προφανώς, παρόλη την πρόοδο που έχει επιτευχθεί, στο μέλλον θα χρειαστούν σημαντικές προσπάθειες.

## **1.2:ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΕ**

Η μόνη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που είχε αξιοποιηθεί σε σημαντικό βαθμό πριν το 1990 είναι η υδροηλεκτρική και κυρίως τα μεγάλα

υδροηλεκτρικά. Από τότε υπήρξε σημαντική ανάπτυξη για όλες τις ΑΠΕ, σε ποσοστό 15-30% ετησίως. Η εξέλιξη αυτή οφείλεται σε διάφορα υποστηρικτικά μέτρα τόσο των κυβερνήσεων όσο και της Ευρωπαϊκής Κοινότητας. Πάντως, η συνολική συνεισφορά των ΑΠΕ στην αγορά ηλεκτρισμού της Ε.Ε. παραμένει ακόμα μικρή, γύρω στο 3% εάν εξαιρεθούν τα μεγάλα υδροηλεκτρικά. Εάν οι Ευρωπαϊκές χώρες επιθυμούν να διαδραματίσουν οι ΑΠΕ ένα ουσιαστικό ρόλο στην ενεργειακή τροφοδοσία, χρειάζεται να επενδύσει και η βιομηχανία σε τεχνολογίες ΑΠΕ.

Αυτό θα συμβεί μόνο όταν οι εκπρόσωποι της βιομηχανίας αποκτήσουν εμπιστοσύνη στις συνθήκες ενός αξιόπιστου και ευνοϊκού μακροπρόθεσμου πλαισίου. Συνθήκες αυτού του είδους θα υπάρξουν μόνο εάν οι κυβερνήσεις θέτουν ξεκάθαρους στόχους, αναγνωρίζουν και εξαλείφουν τα μη τεχνικά εμπόδια, και, εν τέλει, εφόσον παρέχουν οικονομική υποστήριξη. Η πλειοψηφία των κυβερνήσεων έχουν υιοθετήσει στρατηγικές προώθησης των ΑΠΕ ως ένα αναπόσπαστο τμήμα της εθνικής τους ενεργειακής πολιτικής. Οι στρατηγικές αυτές έχουν δημοσιευθεί υπό τη μορφή επίσημων κειμένων.

Η Λευκή Βίβλος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής έχει παρακινήσει τις κυβερνήσεις των Κρατών Μελών ώστε να προετοιμάσουν τις αντίστοιχες Πράσινες (Ιρλανδία) ή Λευκές (Ισπανία, Ιταλία) Βίβλους τους. Αυτές συνήθως περιλαμβάνουν στόχους και πολυετή Σχέδια Δράσης που αντιμετωπίζουν θέματα όπως η εγκατάσταση των συστημάτων ΑΠΕ, καθώς επίσης και διοικητικά, νομικά και άλλα μέτρα και δράσεις προώθησης. Από την άλλη, πολλές χώρες (πχ Αυστρία, Φιλανδία, Σουηδία) παραδοσιακά διαθέτουν ένα υψηλό μερίδιο των ΑΠΕ στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, που βασίζεται κυρίως σε μεγάλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς και στη βιομάζα.

Παρόλο που το μερίδιο των ΑΠΕ στις χώρες αυτές είναι σημαντικά μεγαλύτερο από τον υιοθετημένο στόχο της συμμετοχής των ΑΠΕ κατά 21% έως το 2010 σε όλη την Ε.Ε., οι εθνικές τους πολιτικές στοχεύουν στην περαιτέρω αύξηση της συνεισφοράς των ΑΠΕ. Η Δανία, η Ολλανδία, η Ελλάδα και η Ισπανία αποτελούν παραδείγματα χωρών που εκκίνησαν με μικρό μερίδιο ΑΠΕ τη δεκαετία του '70 και στη συνέχεια υιοθέτησαν μεσοπρόθεσμους και μακροπρόθεσμους αντικειμενικούς στόχους και σχέδια δράσης με περιβαλλοντικούς στόχους (μείωση αερίων του θερμοκηπίου). Οι εθνικές εκθέσεις τους αποδεικνύουν ότι τέτοιοι στόχοι, βασιζόμενοι σε μία ευρεία πολιτική συναίνεση και επίπεδο αποδοχής, έχουν προοδευτικές και ενθαρρυντικές επιπτώσεις.

Για παράδειγμα, οι στόχοι της Ισπανίας για το 2008 είχαν υπερκαλυφθεί κατά σχεδόν 200% (περιλαμβανομένων των υπό κατασκευή έργων) ήδη από τα τέλη του 1997. Η Αυστρία δεν έχει εθνικούς στόχους αλλά περιφερειακούς. Μία από τις περιφέρειες, η Άνω Αυστρία, έχει ως τελικό στόχο την τροφοδοσία κατά 100% από ΑΠΕ τα προσεχή χρόνια. Ανάμεσα στις χώρες χωρίς εθνικούς στόχους (τουλάχιστον προς το παρόν) είναι η Γερμανία και η Γαλλία, οι χώρες με τη μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση στην Ε.Ε. Δύο ομοσπονδιακά κρατίδια της Γερμανίας έχουν στόχους που ξεπερνούν αυτούς της Λευκής Βίβλου, η Βαυαρία με 13% της πρωτογενούς ενέργειας μέχρι το 2000, και το Schleswig-Holstein με 25% της τελικής ενέργειας ως το 2010.

### **1.3: Η ΑΓΟΡΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Την 19<sup>η</sup> Φεβρουαρίου του 1997 τέθηκε σε ισχύ η Οδηγία 96/92/EC για την Εσωτερική Αγορά Ηλεκτρισμού. Κάθε χώρα είχε ένα περιθώριο 2 ετών για να προσαρμόσει την εθνική της νομοθεσία. Μετά την Οδηγία για την διαφάνεια των τιμών (90/377/EG από 29/06/1990) για τον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο και αυτήν για τη διακίνηση του ηλεκτρισμού (90/547/EG από 20/10/1990), η εν λόγω Οδηγία αποτελεί το τελευταίο βήμα για την απελευθέρωση του τομέα του ηλεκτρισμού στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η Οδηγία καθιερώνει κοινούς κανόνες για την παραγωγή, μεταφορά και διανομή ηλεκτρισμού. Επίσης, θέτει τους κανόνες που σχετίζονται με την οργάνωση και τη λειτουργία του ηλεκτρικού τομέα. Ειδικότερα:

- Την πρόσβαση στην αγορά
- Τα κριτήρια και τις διαδικασίες που θα εφαρμόζονται για την υποβολή προτάσεων και την εκχώρηση των αδειοδοτήσεων
- Τη λειτουργία των συστημάτων

Η Οδηγία υποδεικνύει τους ελάχιστους στόχους που πρέπει να επιτευχθούν:

- Το μερίδιο των εθνικών αγορών που έπρεπε να είχε απελευθερωθεί μέχρι το Φεβρουάριο του 1999 υπολογίστηκε με βάση το ποσοστό του ηλεκτρισμού που καταναλώνεται στην Ε.Ε. από τους τελικούς πελάτες με κατανάλωση άνω των 40 GWh ανά έτος (βάσει της κατανάλωσης

ανά εγκατάσταση, περιλαμβανομένης της ιδιοπαραγωγής). Κατά μέσο όρο, η προκύπτουσα απελευθέρωση της αγοράς στην Κοινότητα κατά την ημερομηνία αυτή θα έπρεπε να ήταν περίπου 23%

- Το μερίδιο των εθνικών αγορών που απελευθερώνεται θα αυξάνεται σταδιακά σε μία περίοδο έξι ετών. Το 2000, το όριο της Κοινοτικής κατανάλωσης μειώθηκε από τις 40 GWh στις 20 GWh ηλεκτρικής κατανάλωσης, και το 2003 στις 9 GWh.

Τα κράτη μέλη καθορίσουν εντός της επικράτειας τους εκείνους τους καταναλωτές που έχουν το νόμιμο δικαίωμα να συνάπτουν συμβάσεις προμήθειας ηλεκτρισμού, υπό την προϋπόθεση ότι στην παραπάνω κατηγορία πρέπει να περιληφθούν όλοι οι τελικοί χρήστες με κατανάλωση άνω των 100 GWh/έτος (συνολική κατανάλωση της εγκατάστασης, μαζί με την ιδιοπαραγωγή). Αυτοί είναι οι “επιλέξιμοι καταναλωτές”. Οι εταιρείες διανομής, εάν δεν έχουν ήδη χαρακτηριστεί ως επιλέξιμοι καταναλωτές, έχουν τη δυνατότητα να συνάπτουν συμβάσεις για την ποσότητα του ηλεκτρισμού που καταναλώνεται από τους πελάτες τους που έχουν χαρακτηριστεί ως επιλέξιμοι εντός του συστήματος διανομής τους, με σκοπό να τους τροφοδοτούν.

Τον Μάρτιο του 2000, τέσσερα κράτη μέλη, συγκεκριμένα η Σουηδία, η Φιλανδία, η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο, είχαν απελευθερώσει πλήρως την αγορά του ηλεκτρισμού σε αυτά. Η Δανία έχει εξ ολοκλήρου ανοίξει την αγορά της (90%). Στο Βέλγιο, την Ελλάδα και την Ιρλανδία έχει δοθεί, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των ηλεκτρικών τους συστημάτων, μια παράταση 1, 2 και 1 ετών αντίστοιχα για να εφαρμόσουν τις δεσμεύσεις που υποδεικνύονται από την Οδηγία.

Η Ελλάδα άνοιξε την αγορά ηλεκτρισμού της το Φεβρουάριο του 2001 (34,5%) και το Βέλγιο και η Ιρλανδία άρχισαν να ανοίγουν τις αγορές τους στις 19 Φεβρουαρίου του 2000 κατά 33 και 30% αντίστοιχα. Η Γαλλία έχει επιλέξει την ελάχιστη δυνατή απελευθέρωση, και άνοιξε την αγορά της μόλις τον Ιανουάριο του 2000 (με σχεδόν ένα χρόνο καθυστέρηση) σε ποσοστό 30%. Τα άλλα κράτη μέλη έχουν διαφορετικά επίπεδα απελευθέρωσης που κυμαίνονται από 30 έως 45% (Αυστρία 30%, Ιταλία 35%, Πορτογαλία 30% κλπ)

## **Ολοκληρωμένα έργα ΑΠΕ**

Έχει συνειδητοποιηθεί ότι οι τεχνολογίες ΑΠΕ θα πρέπει να εφαρμόζονται σε μεταξύ τους συνδυασμούς, ώστε να αλληλοσυμπληρώνονται και να βελτιώνονται οι τιμές του δυναμικού τους. Προς το παρόν ελάχιστοι κατασκευαστές έχουν ως στόχο ειδικά τα συστήματα, αλλά υπάρχουν προμηθευτές υβριδικών συστημάτων αιολικών/ντίζελ (συστήματα ανεμογεννητριών και ντιζελογεννητριών, μαζί με μία ακόμα τεχνολογία ΑΠΕ, συνήθως φωτοβολταϊκά) με αναπτυξιακές στρατηγικές που στοχεύουν στα ολοκληρωμένα συστήματα ΑΠΕ. Παρόλο που δεν υφίσταται ευρεία εφαρμογή των ολοκληρωμένων συστημάτων ΑΠΕ, έχει ήδη υλοποιηθεί ένας αριθμός από πιλοτικές εγκαταστάσεις και επιδεικτικά έργα, των οποίων η λειτουργία προσθέτει στη συσσώρευση εμπειρίας.

Η ανάπτυξη και εφαρμογή των ολοκληρωμένων συστημάτων ΑΠΕ στοχεύει προς το παρόν στην τροφοδοσία με ηλεκτρισμό των δικτύων, με θερμότητα για χρήση της σε τηλεθέρμανση και ως θερμότητα διεργασιών, και με κομιστές ενέργειας όπως το βιοαέριο και τα βιοκαύσιμα (και στο απώτερο μέλλον υδρογόνο από ηλεκτρόλυση). Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών έχει επίσης διερευνηθεί η ενσωμάτωση των ΑΠΕ στο αστικό περιβάλλον με τη χρήση παθητικών και ενεργητικών συστημάτων. Έχει σχεδιαστεί ένας αριθμός από πιλοτικά έργα για τη σύγχρονη αστικοποίηση (αρχές “ηλιακής πόλης”), στα οποία λαμβάνονται υπόψη οι νέες τεχνικές κλιματισμού με σκοπό να αναπτυχθεί μία νέα ηλιακή και βιοκλιματική αρχιτεκτονική.

Προσοχή έχει επίσης δοθεί στις δυνατότητες παραγωγής νερού από ολοκληρωμένα συστήματα ΑΠΕ, ειδικά σε περιοχές όπως η Μεσόγειος όπου η παροχή φυσικού νερού είναι περιορισμένη. Ήδη διερευνάται μία νέα μέθοδος παραγωγής νερού σε αέναη βάση και με ένα ανεκτό για το ευρύ κοινό κόστος. Ταυτόχρονα αναπτύσσονται διάφορα εργαλεία σχεδίασης για την μοντελοποίηση των συστημάτων σε διάφορα επίπεδα, εκτιμώντας της πηγές και την απόδοσή τους, αλλά πρακτικά δεν έχουν καθιερωθεί κάποια πρότυπα ή συμφωνημένα κριτήρια αξιολόγησης.

## **1.4:ΘΕΜΑΤΑ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ**

Υπάρχει ένας αριθμός από τεχνικές επιλογές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιοποίηση των ΑΠΕ, σύμφωνα με τις ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής και τη διαθεσιμότητα των τοπικών πόρων. Ωστόσο, για την αύξηση της τεχνικής απόδοσης και τη μεγιστοποίηση της διείσδυσης των ΑΠΕ, είναι ανάγκη να προαχθούν νέες αποδοτικές λύσεις που συνίστανται βασικά στην αξιοποίηση των συνεργιών μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών των ΑΠΕ αλλά και μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών των ΑΠΕ αλλά και μεταξύ ανανεώσιμων και συμβατικών, συμπεριλαμβανομένων της διαχείρισης και της αποθήκευσης της ενέργειας ή/και των τεχνολογιών ρύθμισης της ισχύος. Πάντως, η μαζική χρήση των ΑΠΕ σε υφιστάμενες υποδομές, η οποία μπορεί να επιφέρει νη επιθυμητές επιπτώσεις και διατάξεις, θα πρέπει να προσαρμόζεται στις συνθήκες της κάθε συγκεκριμένης θέσης έτσι ώστε να εξασφαλίζεται εγγυημένη και αξιόπιστη τροφοδοσία.

## **1.5:ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΑΠΕ**

Αρκετά θέματα τεχνικής υφής αφορούν την ηλεκτροπαραγωγή με τη χρήση υψηλών επιπέδων διείσδυσης των ΑΠΕ. Αυτά περιγράφονται εν συντομία στα επόμενα.

### **1.5.1:Ο διαλείπων χαρακτήρας ορισμένων ΑΠΕ**

Ως προς τα τεχνικά χαρακτηριστικά, οι μονάδες ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να λειτουργούν είτε συνεχώς είτε διακοπτόμενα. Οι αιολικές και ηλιακές εφαρμογές καθώς και αυτές των θαλασσίων κυμάτων δημιουργούν μία αρκετά διακοπτόμενη ενεργειακή παραγωγή, ενώ οι μονάδες βιομάζας, υδροηλεκτρικών και οι συμβατικές μπορούν να λειτουργούν συνεχώς. Προφανώς οι διαλείπουσες πηγές δεν μπορούν να καλύπτουν αξιόπιστα τις αιχμές, εκτός εάν η παραγόμενη ενέργεια αποθηκεύεται σε κάποιο σύστημα αποθήκευσης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, οι εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής με βιομάζα λειτουργούν όπως οι συμβατικές μονάδες και έτσι η ενσωμάτωση τους δεν επηρεάζει την σταθερότητα του ηλεκτρικού συστήματος.

Αντίθετα, για την εισαγωγή ενός υψηλού δυναμικού αιολικών πάρκων και ηλιακών θερμικών σταθμών σ' ένα ηλεκτρικό σύστημα προαπαιτείται η διενέργεια κατάλληλων μελετών, τόσο για τη μόνιμη εγκατάσταση όσο και για τη δυναμική συμπεριφορά το συστήματος. Το επίπεδο διαλειπτότητας ποικίλλει μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών ΑΠΕ. Επίσης, είναι σημαντικό να τονιστεί η διαφορά ανάμεσα στην προβλεψιμότητα και τη διαλειπτότητα. Κάποιες ΑΠΕ, όπως η παλιρροιακή, είναι διαλείπουσες αλλά προβλέψιμες. Η ηλιακή από φωτοβολταϊκά είναι διαλείπουσα αλλά προβλέψιμη σε κάποιο βαθμό. Και οι δύο αυτές πηγές είναι πιο διαλείπτουσες από τον άνεμο αφού η μεταβλητότητα της παραγωγής τους είναι μεγαλύτερη. Ενώ υπάρχουν (προβλέψιμες) περίοδοι όπου τόσο η ηλιακή όσο και η παλιρροιακή ενέργεια μηδενίζονται.

Παρότι η παραγόμενη ισχύς από μεμονωμένες ανεμογεννήτριες παρουσιάζει σημαντική βραχυχρόνια μεταβλητότητα, όταν αυτές ομαδοποιούνται εντός ενός αιολικού πάρκου- ακόμα καλύτερα όταν πολλά αιολικά πάρκα αναπτύσσονται σε μία ευρεία έκταση- η συνδυασμένη δράση τους είναι πολύ πιο ομαλή. Η συνολική παραγωγή των αιολικών σπάνια μεταβάλλεται αρκετά γρήγορα ώστε να προκαλέσει πρόβλημα σε ένα σύστημα που πρέπει να είναι ικανό να αντιπαρέρχεται απότομες και σημαντικές απώλειες ισχύος, όπως περιγράφηκε ανωτέρω. Ο ρυθμός μεταβολής της αιολικής παραγωγής είναι πολύ μικρότερος από το εγκατεστημένο δυναμικό, και πραγματικά πολύ μικρός εντός μιας βραχυχρόνιας κλίμακας.

Από γερμανικά δεδομένα προερχόμενα από 1500 ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 350 MW περίπου, προέκυψε ότι ο μέσος ωριαίος ρυθμός μεταβολής ήταν  $\pm 1\%$  του εγκατεστημένου δυναμικού. Οι μέγιστες μεταβολές που παρατηρήθηκαν σε μία ώρα ήταν μία μείωση κατά 23% και μία αύξηση 14%. Σε 4ωρα διαστήματα οι μέγιστες μεταβολές ήταν μεγαλύτερες, στο  $\pm 50\%$ . Ανάλογα αποτελέσματα προέκυψαν από τη μελέτη έξι αιολικών πάρκων στη βόρεια Ιρλανδία. Το μέγεθος της διακύμανσης της αιολικά παραγόμενης ισχύος σε μισάωρα διαστήματα παρουσιάστηκε να είναι κυρίως εντός ενός εύρους 0-10%, και πολύ σπάνια να ξεπερνά το 20%. Ακόμα μεγαλύτερη προσοχή στην πρόβλεψη της παραγόμενης αιολικής ενέργειας έχει δοθεί στη Δανία.

Προς το παρόν οι εταιρείες ηλεκτρισμού της Δανίας χρησιμοποιούν δύο μοντέλα για το σκοπό αυτό, αλλά τον Απρίλιο του 2000 επρόκειτο να



συγκωνευθούν αυτά ώστε να προκύψει μία ανώτερη μέθοδος που θα βρίσκει εφαρμογή από όλες τις εταιρείες. Ορισμένοι άνεμοι, όπως οι θαλάσσιες αύρες ή άλλο άνεμοι που προκαλούνται από θερμικά φαινόμενα, έχουν διάρθρωση που συμπίπτει αρκετά με τις φυσικές αιχμές της ζήτησης, για παράδειγμα όταν δυναμώνει ο άνεμος κατά τη δύση του ηλίου. Στα θερμά κλίματα μια ανάλογη κατάσταση προκύπτει με τα φωτοβολταϊκά, καθώς στην υψηλότερη ηλιακή ακτινοβολία ανακύπτει και η μέγιστη ζήτηση για κλιματισμό. Στα ψυχρότερα κλίματα το αντίθετο, δηλαδή η μεγαλύτερη ζήτηση είναι τα χειμώνα, περίπου στις 5:30 μ.μ. όταν έχει δύσει ο ήλιος.

### **1.5.2: Ασφάλεια της ζήτησης της ενέργειας και δυναμική συμπεριφορά των υβριδικών συστημάτων**

Τα τυπικά υβριδικά συστήματα αποτελούνται από μία γεννήτρια ντίζελ, μία γεννήτρια φωτοβολταϊκών και πιθανά από άλλες γεννήτριες, όπως ανεμογεννήτριες, υδροστροβίλους, κλπ, που αλληλοσυμπληρώνονται μεταξύ τους για την τροφοδοσία με ηλεκτρισμό. Μία συστοιχία μπαταριών, πιθανώς και άλλες μονάδες βραχυχρόνιας αποθήκευσης της ενέργειας, εξασφαλίζουν τη διαθεσιμότητα της ισχύος ανά πάσα χρονική στιγμή. Η ισχύς διανέμεται στα φορτία με τάση EP της συνήθους συχνότητας και εύρους.

Η ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων με χρήση αποκλειστικά ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτεί περαιτέρω δυναμικότητες αποθήκευσης. Προκειμένου η εν λόγω τεχνολογία να ανταπεξέλθει στην πληθώρα των εφαρμογών και των διαφορετικών απαιτήσεων σε ισχύ, έχει ιδιαίτερη σημασία η βελτίωση της αξιοπιστίας και της προσαρμοστικότητας της για την προώθηση της ευρείας εφαρμογής των υβριδικών συστημάτων που χρησιμοποιούν μεγάλες ποσότητες ΑΠΕ.

### **1.5.3: Διαχείριση ενέργειας και φορτίων**

Η λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων με αυξημένη διεύθυνση των ΑΠΕ μπορεί να επιτευχθεί εφαρμόζοντας εξελιγμένους αλγορίθμους, ικανούς να προβλέψουν τα φορτία και την ανανεώσιμη ισχύ. Ο απώτερος σκοπός πρέπει να είναι η διατήρηση υψηλού επιπέδου αξιοπιστίας και ασφάλειας του συστήματος έναντι των δυναμικών διαταραχών. Έτσι, είναι αναγκαία η ανάπτυξη ενός ευπροσάρμοστου προηγμένου συστήματος ελέγχου που θα επιτυγχάνει τη βέλτιστη χρησιμοποίηση πολλαπλών ΑΠΕ, συμβουλευοντας τους χειριστές για τις πιθανές επιδράσεις.

Οι τεχνικοί περιορισμοί που επιβάλλονται από τη διαθεσιμότητα και τη μεταβλητότητα των ΑΠΕ, καθώς επίσης και από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των θερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής θα ελαττωθούν με την ανάπτυξη ενός προηγμένου συστήματος ελέγχου, το οποίο θα διασφαλίζει την ευστάθεια του ηλεκτρικού συστήματος. Αντί να επιχειρείται η προσαρμογή της ηλεκτροπαραγωγής στη ζήτηση των καταναλωτών, η φιλοσοφία της “διαχείρισης των φορτίων” περιλαμβάνει μια αντίστροφη προσέγγιση και την ανάληψη δράσης για την τροποποίηση του φορτίου ώστε να αναγκασθεί να προσαρμοστεί στην διαθέσιμη ισχύ.

Όταν αξιολογείται η δυνατότητα εφαρμογής του ελέγχου των φορτίων θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η συμπεριφορά των καταναλωτών. Αυτοί θα πρέπει να υπομείνουν μια σύνθετη δομή τιμολόγησης και να συνεργαστούν για την χρονική κλιμάκωση των φορτίων τους. Το κίνητρο πάντοτε είναι η εξαιρετικά φθηνή ηλεκτρική ενέργεια για τους καταναλωτές κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης και το αποτέλεσμα μπορεί να είναι η εξομάλυνση της ημερήσιας καμπύλης της ισχύος, το χαμηλό κόστος παραγωγής της ενέργειας, οι περιορισμένες απαιτήσεις για αποθήκευση και η χρήση ενός πολύ μεγάλου ποσοστού παραγόμενης ενέργειας.

#### **1.5.4: Δυνατότητες ενεργειακής αποθήκευσης**

Η φύση του ηλεκτρικού φορτίου, η μεταβλητότητα των ΑΠΕ και τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού δικτύου εισάγουν την αναγκαιότητα για αποθήκευση της ενέργειας. Οι διατάξεις που εφαρμόζονται για αποθήκευση της ενέργειας παρουσιάζουν την ίδια ποικιλία με τις τεχνολογίες άμεσης χρήσης της. Η ενεργειακή αποθήκευση διακρίνεται σε βραχείες, μέσης και μακράς περιόδου. Από τεχνικής πλευράς, οι τεχνολογίες αποθήκευσης μπορούν να ομαδοποιηθούν με βάση τις μορφές της αποθηκευόμενης ενέργειας, δηλαδή μηχανική, θερμική, ή ηλεκτρική. Στις κυριότερες διαθέσιμες επιλογές περιλαμβάνονται οι μπαταρίες, οι υδραυλικοί ή πνευματικοί συσσωρευτές, οι σφόνδυλοι και η αποθήκευση με άντληση. Κάποιες ειδικές εφαρμογές, όπως είναι η αφαλάτωση του νερού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έμμεση αποθήκευση.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: Η ΙΔΕΑ ΜΑΣ**

Η ιδέα μας γεννήθηκε μέσα στα εργαστήρια της υδραυλικής και των υδροδυναμικών και αντιπλημμυρικών έργων, όπου παρατηρώντας την ροή του νερού να αλλάζει στις στενώσεις από στρωτή σε χειμαρρώδη και την ταχύτητα αυτού να αυξάνεται από την μια πλευρά, και από την άλλη την παραγωγή ενέργειας σε ταμιευτήρες χρησιμοποιώντας απλά το ύψος πτώσης του νερού σε υδροστρόβιλους. Έτσι φτάσαμε να αναρωτηθούμε «τι θα γινόταν εάν τοποθετούσαμε ένα είδος υδροστρόβιλου μέσα σε ένα υποθαλάσσιο ρεύμα?». Έχοντας λοιπόν υπόψη τις παραπάνω ενέργειες της ΕΕ αλλά και την θετική αντιμετώπιση των καθηγητών μας επάνω σε αυτό το θέμα, τα οποία λειτούργησαν ως θετικός γνώμονας και ως κινητήριο δύναμη στην εκπόνηση των μελετών και σχεδιασμών και κατασκευών τα οποία παραθέτουμε παρακάτω.

### **2.1: ΓΙΑΤΙ ΤΑ ΡΕΥΜΑΤΑ ΡΕΟΥΝ;**

Τα ρεύματα υπάρχουν σε όλα τα βάθη στον ωκεανό και σε μερικές περιοχές, δύο ή περισσότερα ρεύματα ρέουν στις διαφορετικές κατευθύνσεις στα διαφορετικά βάθη. Αν και το τρέχον σύστημα είναι σύνθετο, τα ωκεάνια ρεύματα οδηγούνται από δύο δυνάμεις: τον ήλιο και την περιστροφή της γης.

Το ρεύμα του Περσικού Κόλπου είναι ένα από τα ισχυρά ωκεάνια ρεύματα που φέρνει το θερμό ύδωρ από τους τροπικούς κύκλους στα υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη. Σε αντίθεση με τις εμπειρικές μεθόδους που χρησιμοποιούνταν για να παραγάγουν τους πρόωρους χάρτες του ρεύματος του Περσικού Κόλπου, η σημερινή τεχνολογία τηλεπισκόπησης στους δορυφόρους επιτρέπει στους επιστήμονες για να σκιαγραφήσει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του ρεύματος και να ακολουθήσει τις αλλαγές στη θέση της. (Δείτε «τις τεχνολογίες Geospatial» για μια δορυφορική εικόνα του ρεύματος του Περσικού Κόλπου.)

Ο ήλιος έχει επιπτώσεις στον ωκεανό με δύο τρόπους. Κατ' αρχάς, θερμαίνει την ατμόσφαιρα, που δημιουργεί τους ανέμους και που κινεί την επιφάνεια θάλασσας μέσω της τριβής. Αυτό τείνει να σύρει την επιφάνεια

ύδατος εμπρός όπως ο αέρας φυσά πέρα από την. Αν και ο αέρας έχει επιπτώσεις έντονα στο στρώμα επιφάνειας, η επιρροή της δεν επεκτείνεται πολύ κάτω από περίπου 100 μέτρα (325 πόδια) σε βάθος.

Η δεύτερη επίδραση του ήλιου είναι να αλλαχτεί η πυκνότητα του ωκεάνιου ύδατος επιφάνειας άμεσα με την αλλαγή της θερμοκρασίας της ή/και της αλατότητας της. Εάν το ύδωρ δροσίζεται ή γίνεται πιο αλμυρό μέσω της εξάτμισης, γίνεται πυκνότερο. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην υδάτινη στήλη που γίνεται ασταθή, πυκνότητα-εξαρτώμενα ρεύματα καθιέρωσης, επίσης γνωστά ως κυκλοφορία thermohaline.

Η περιστροφή της γης έχει επιπτώσεις επίσης στα ρεύματα μέσω της δύναμης Coriolis. Αυτή η δύναμη αναγκάζει το ύδωρ να κινηθεί προς το δεξιό μέρος στο βόρειο ημισφαίριο και προς το αριστερό στο νότιο ημισφαίριο. Επειδή το κινούμενο ωκεάνιο ύδωρ επηρεάζεται από την τριβή με τη γη μόνο στο θαλάσσιο πυθμένα, και επειδή η ανατολική γραμμική ταχύτητα της γης μειώνεται από ένα μέγιστο στον ισημερινό σε μηδέν στους πόλους (η περιστροφική ταχύτητα, εντούτοις, δεν αλλάζει) ένα μέρος του ύδατος στον ισημερινό κινείται με την ίδια ταχύτητα με τη γη. Εάν αρχίζει να κινείται στο Βορρά, χωρίς την τριβή, πηγαίνει έπειτα γρηγορότερα από τη γη κάτω από αυτόν. Για να συντηρήσει την ορμή (το προϊόν της μάζας και της ταχύτητας), κινεί συνεπώς περισσότερο προς την ανατολή όπως περνά μακρύτερα από τον ισημερινό. Η δύναμη Coriolis επομένως αυξάνεται μακριά από τον ισημερινό.

## **2.2:ΘΕΩΡΙΑ EKMAN**

Η πρώτη λογική θεωρία για το πώς ο αέρας έχει επιπτώσεις στα ρεύματα επιφάνειας παρήχθη από Σουηδούς ωκεανογράφους και το μαθηματικό Valfrid Ekman το 1890. Ο Ekman εξέτασε έναν απείρως ευρύ και βαθύ ωκεανό της σταθερής πυκνότητας, που διαιρέθηκε σε άπειρο αριθμό οριζόντιων στρωμάτων. Το κορυφαίο στρώμα επηρεάζεται από τον αέρα και από την τριβή με το στρώμα κάτω από αυτό. Το δεύτερο στρώμα επηρεάζεται επίσης από την τριβή στην κορυφή έως και το κατώτατο σημείο. Η δύναμη Coriolis έχει επιπτώσεις επίσης στα στρώματα επειδή κινούνται.

Η εξισορρόπηση της τριβής και της δύναμης Coriolis οδήγησε τον Ekman να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι τα προκύπτοντα ρεύματα

μειώνονται εκθετικά με το βάθος, το οποίο το ρεύμα επιφάνειας κίνησε με μια γωνία 45 μοιρών προς την κατεύθυνση αέρα, και που οι αποκλίσεις από την επιφάνεια αυξήθηκαν με το βάθος, που διαμορφώνει μια σπείρα (για να γίνει γνωστός ως σπείρα Ekman). Η προσθήκη των βαθών μετακίνησης δίνει ένα μέσο ρεύμα που κινείται κάθετα στην κατεύθυνση αέρα, στο δεξιά στο βόρειο ημισφαίριο, και στα αριστερά στο νότιο ημισφαίριο. Τέτοιες σπείρες Ekman είναι σπάνιες, αλλά έχουν παρατηρηθεί στον ωκεανό.

Επειδή οι ωκεανοί δεν είναι ούτε απείρως ευρέως ούτε σταθερής πυκνότητας, ως Ekman υποτιθέμενο, οι περιπλοκές προκύπτουν στα όρια, όπου το ύδωρ τείνει «να συσσωρευτεί προς τα επάνω.» Η επιφάνεια του ωκεανού δεν είναι, έπειτα, επίπεδη, αλλά έχει μια κλίση, η οποία δημιουργεί μια οριζόντια κλίση πίεσης. Ο συνδυασμός της δύναμης Coriolis και της οριζόντιας κλίσης πίεσης παράγει ένα ρεύμα που ρέει κάθετα στην κλίση πίεσης όταν οι δύο δυνάμεις είναι ίσες (αυτό είναι γνωστό ως geotropic ρεύμα). Όλα τα σημαντικά τρέχοντα συστήματα στον ωκεανό μπορούν ουσιαστικά να θεωρηθούν geotropic(γεωτροπικά).

Επειδή η πυκνότητα του ωκεανού ποικίλλει και οριζόντια και κάθετα, οι επιστήμονες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη δομή πυκνότητας του ωκεανού για να υπολογίσουν τον τομέα πίεσης και ως εκ τούτου την κλίση πίεσης. Το αποτέλεσμα είναι ένας χάρτης που επιδεικνύει πώς το ύψος της επιφάνειας θάλασσας σε οποιοδήποτε δεδομένο σημείο ποικίλλει σχετικά με ένα ιδιαίτερο επίπεδο πίεσης. Οι σχετικές αλλαγές σε αυτά τα δυναμικά ύψη χρησιμοποιούνται επειδή ο θαλάσσιος πυθμένας δεν είναι ούτε επίπεδος ούτε σταθερού βάθους. Αυτοί οι χάρτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρουσιάσουν προς τα που τα ρεύματα ρέουν (όσο πιο απότομη η κλίση, τόσο γρηγορότερο το ρεύμα). Οι επιστήμονες μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν την παρατηρηθείσα διανομή πυκνότητας στον ωκεανό για να υπολογίσουν τις τρέχουσες ταχύτητες.

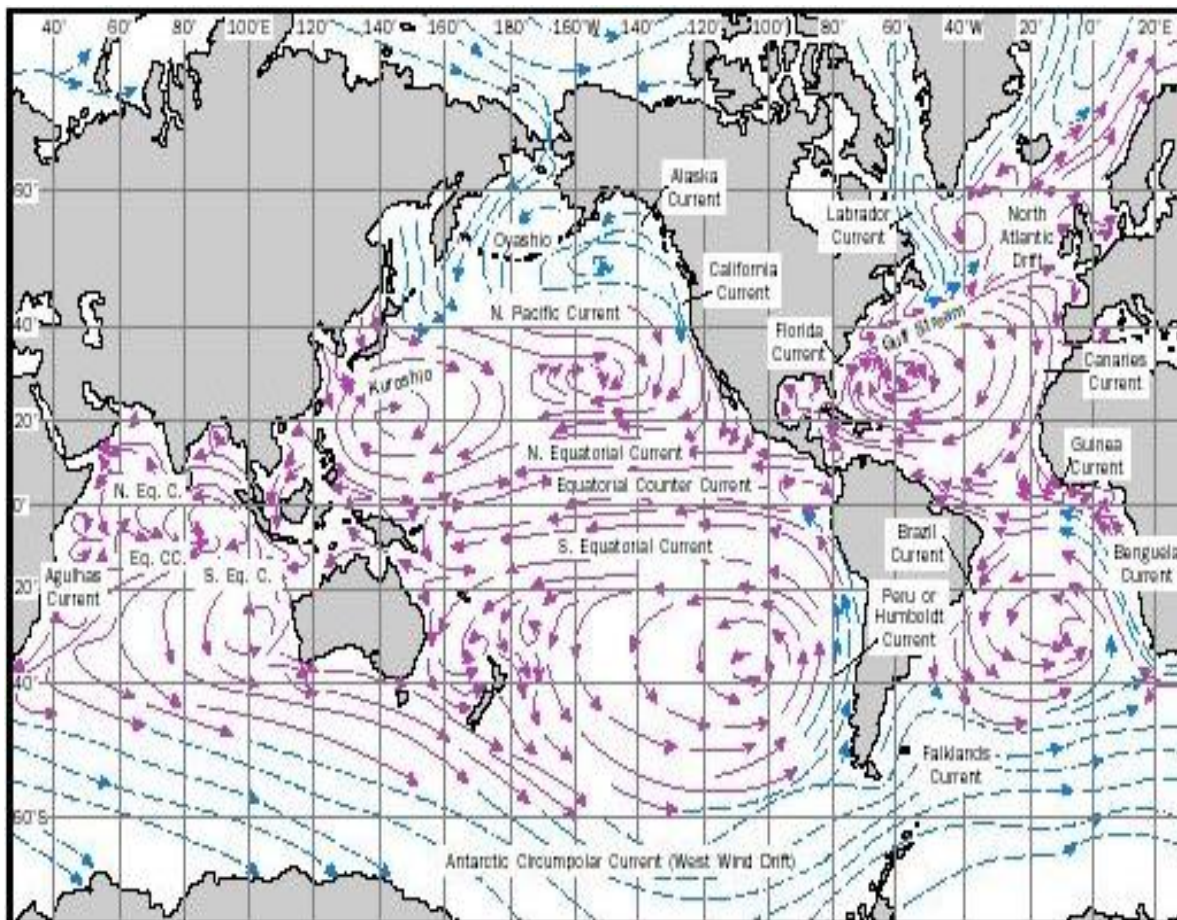
### **2.3:ΤΑ ΣΧΕΔΙΑ ΤΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ**

Το γενικό σχέδιο των ρευμάτων επιφάνειας στον ωκεανό παρουσιάζονται στο σχήμα 1. Αυτό παρουσιάζει μια σειρά σχεδόν κυκλικά

(ελλειπτικά) gyres, ή μεγάλους στροβίλους, σε κάθε ωκεάνια λεκάνη. Οι gyres τείνουν να προκαταληφθούν προς τη δυτική πλευρά της λεκάνης, όπου οι ισχυρές, στενές ροές βρίσκονται στο ρεύμα του Περσικού Κόλπου, Kuroshio, Agulhas, Βραζιλία, και τα ανατολικά αυστραλιανά ρεύματα, που ρέουν επιταχύνονται σε 2.5 μέτρα ανά δευτερόλεπτο (6 μίλια ανά ώρα). Οι όγκοι που περιλαμβάνονται σε αυτά τα δυτικά ρεύματα είναι μεγάλοι. Το ρεύμα Agulhas, για παράδειγμα, φέρνει περίπου 80 Sverdrups του ύδατος στα ανώτερα 1.000 μέτρα (περίπου 0.6 μίλια). Οι τρέχουσες ταχύτητες μακριά από τα δυτικά όρια των gyres είναι γενικά πολύ χαμηλότερες, και τα ρεύματα στα ανατολικά όρια των ωκεάνιων λεκανών είναι πολύ ευρύτερα.

Οι Gyres περιστρέφονται δεξιόστροφα στο βόρειο ημισφαίριο και αντίθετα προς τη φορά των δεικτών του ρολογιού στο νότιο ημισφαίριο λόγω της δύναμης Coriolis. Σε αυτό ακολουθούν τα σχέδια επικρατούντος αέρα. Ο βόρειος Ινδικός Ωκεανός είναι μια εξαίρεση λόγω του έντονου ατμοσφαιρικού συστήματος μουσώνα που αλλάζει την κατεύθυνσή του δύο φορές το χρόνο, αλλά ένα έντονο κυκλικό τρέχον σύστημα, ή μεγάλη περιστροφή, αναπτύσσεται από τη Σομαλία κατά τη διάρκεια του νοτιοδυτικού (καλοκαίρι) μουσώνα.

**Σχήμα 2.3.1** Αυτός ο χάρτης παρουσιάζει στη σφαιρική επιφάνεια το τρέχον σύστημα υπό τους μέσους όρους για τους χειμωνιάτικους μήνες στο βόρειο ημισφαίριο. Τα θερμά ρεύματα παρουσιάζονται ως στερεά κόκκινα βέλη, και τα κρύα ρεύματα ως ορμώμενα μπλε βέλη.



Οι gyres και στον ωκεανό και στην ατμόσφαιρα συμβάλουν στην απομάκρυνση της θερμότητας μακριά από τον ισημερινό προς τους πόλους (το ρεύμα του Κόλπου κρατά την βόρεια Ευρώπη αρκετά θερμότερη από το γεωγραφικό της πλάτος). Αυτή η βόρεια ροή του θερμού ύδατος στο Βόρειο Ατλαντικό είναι εν μέρει ισορροπημένη από μια νότια κίνηση στην δυτική Γροιλανδία και στα ρεύματα του Λαμπραντόρ καθώς και στο Oyashio αντίστοιχα, ενώ πρόσθετη νότια ροή εμφανίζεται σε μεγαλύτερα βάθη.

Η ροή επιφάνειας είναι ίδια με αυτή του ισημερινού κατά μήκος των ανατολικών ακρών των gyres και είναι επίσης αρκετά πιο δροσερή από τη ροή προς τους πόλους της γης που βρίσκεται στα δυτικά όρια. Αυτό προκύπτει από το οδηγούμενο από τον άνεμο ανέβασμα των νερών, και η τάση εκπίεσεως της ροής προς τον ισημερινό που προκαλείται από ένα

σύστημα συνεργασίας ανέμων τείνει να «ωθεί» το θερμό ύδωρ μακριά από την ακτή και το πιο δροσερό ύδωρ που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια προς τα επάνω για να το αντικαταστήσει.

Σε δύο περιοχές της σφαίρας τα ρεύματα επιφάνειας δεν διαμορφώνουν gyres. Ο νότιος ωκεανός είναι μια περιοχή των συνεχών δυτικών ανέμων και είναι η μόνη θέση στη σφαίρα όπου ένα συνεχές ρεύμα (το ανταρκτικό περιπόλιο ρεύμα) μπορεί να διαμορφώσει gyres . Αυτό το ρεύμα επομένως είναι μια σημαντική περιοχή για τη μίξη του ύδατος μεταξύ των διαφορετικών ωκεάνιων λεκανών. Είναι το μεγαλύτερο ρεύμα στη γη, που έχει μια συνολική ροή όγκου τουλάχιστον 120 SV.

Η κίνηση των gyres είναι επίσης απύσχα όσο η απόσταση γίνεται πιο κοντινή στον ισημερινό. Τα ισημερινά ρεύματα οδηγούνται επίσης από τον αέρα, και ιδιαίτερα από τα βορειοανατολικά προς το βόρειο ημισφαίριο. Εντούτοις, η δύναμη Coriolis είναι εδώ μηδέν, ακόμα κι αν παρατηρείται μια σημαντική αύξηση της σε κάποιο βαθμό στο Βορρά ή στο νότο(άλμα) . Το όριο μεταξύ των δύο συνόλων συνεργαζόμενων ανέμων είναι συνήθως ελαφρώς βόρεια του ισημερινού. Οι συνεργαζόμενοι άνεμοι οργανώνονται σε δύο δυτικούς ρέοντα ρεύματα στα βόρεια του ισημερινού και νότια του ισημερινού (ισημερινά ρεύματα του Βορρά και νότου), αλλά λόγω των νοτιοανατολικών συνεργαζόμενων αέριων μαζών πέρα από τον ισημερινό προκαλείται μια απόκλιση (ανέβασμα των νερών) κατά μήκος του ίδιου του ισημερινού λόγω της αλλαγής στην κατεύθυνση της δράσης της δύναμης Coriolis.

Μεταξύ του δύο συνεργαζόμενων μαζών αέρα οι ζώνες είναι μια περιοχή των γενικά ελαφριών ανέμων, γνωστή ως «μελαγχολίες» ή Doldrums. Αυτό επιτρέπει στο ύδωρ, που ειδάλλως θα συσσωρευόταν επάνω ενάντια στο δυτικό όριο του ωκεανού στα ισημερινά ρεύματα, να ρεύσει πίσω προς ανατολάς στο ισημερινό αντίρροπο ρεύμα επιφάνειας. Υπάρχει επίσης ένα ανατολικά-ρέοντας ισημερινό υπόγειο ρεύμα, το οποίο διαμορφώνει ένα πίδακα (jet) μέσα στο thermocline, που οδηγείται από την οριζόντια κλίση πίεσης. Αυτό το σύστημα των ανατολικά-και δυτικός-ρέοντας ρευμάτων βρίσκεται στα ανώτερα 200 μέτρα (650 πόδια) και στους τρεις ωκεανούς, αν και η διανομή τους μπορεί να αλλάξει εποχιακά ανάλογα με τον καταναγκασμό που επιβάλλεται από τον αέρα. Τα ισημερινά υπόγεια ρεύματα είναι πολύ ισχυρότερα από τα ρεύματα επιφάνειας στον ισημερινό, και μπορούν να έχουν ροές περισσότερο από 50 SV.



## **2.4:ΤΑ ΒΑΘΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ**

Ρεύματα στο βαθύ ωκεανό υπάρχουν λόγω των αλλαγών στην πυκνότητα του θαλάσσιου νερού που εμφανίζεται στην επιφάνεια. Αυτές οι αλλαγές πυκνότητας δίνουνε αφορμή για τις συγκεκριμένες μάζες ύδατος, οι οποίες έχουν καθορισμένα με σαφήνεια χαρακτηριστικά θερμοκρασίας και αλατότητας, και που μπορούν να επισημανθούν για τις μεγάλες αποστάσεις στον ωκεανό.

Όταν το θαλάσσιο νερό παγώνει, ένα μεγάλο μέρος του άλατος που περιέχει είναι παγωμένο έξω, έτσι ώστε δημιουργείται ένα στρώμα των κρύων μορφών άλμης στην ωκεάνια επιφάνεια. Όντας πυκνότερη από το ύδωρ κατάντη, η άλμη καθιζάνει, παρασύροντας το ύδωρ με την καθοδική της πορεία, έως ότου φθάνει σε ένα επίπεδο όπου έχει την ίδια πυκνότητα με το περιβάλλον θαλάσσιο νερό. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται σε διάφορες περιοχές των παγκόσμιων ωκεανών, τη σημαντικότερη ύπαρξη στη Γροιλανδία, νορβηγικά, και τις θάλασσες του Λαμπραντόρ στο βόρειο ημισφαίριο, και κοντά στην ανταρκτική ήπειρο στο Weddell και το Ross Seas στο νότο.

Είναι τα πυκνά ύδατα που διαμορφώνονται με αυτήν την διαδικασία που οργανώνουν τα βαθιά ωκεάνια τρέχοντα σχέδια. Το ύδωρ που διαμορφώνεται στο Weddell και το Ross Seas διαδίδει προς ανατολάς και προς τον βορρά γύρω από την Ανταρκτική υπό την επήρεια που το Coriolis αναγκάζει. Όπως συμβαίνει με τα ύδατα επιφάνειας, η μεγαλύτερη μέρος της ροής συγκεντρώνεται στις δυτικές πλευρές των ωκεάνιων λεκανών, αλλά σε αυτήν την περίπτωση η μετακίνηση είναι προς το Βορρά. Στο νότιο Ατλαντικό Ωκεανό, για παράδειγμα, το κατώτατο ύδωρ από τη θάλασσα Weddell μπορεί να προσδιοριστεί διατρέχοντας των λεκανών της Αργεντινής και της Βραζιλίας κάτω από 4.000 μέτρα (2.5 μίλια) σε βάθος και διασχίζει τελικά τον ισημερινό στο Βόρειο Ατλαντικό από την ακτή της Βραζιλίας. παρόμοια αποτελέσματα βρίσκονται και στον νότιο ινδικό και νοτιοειρηνικό ωκεανό, με τα κατώτατα ύδατα που αναγκάζονται να ακολουθήσουν την κατώτατη τοπογραφία.

Μάζες ύδατος που διαμορφώνονται στο βόρειο ημισφαίριο ομοίως ρέουν και νότια. Τα βαθιά ύδατα από τη Γροιλανδία και τις νορβηγικές θάλασσες γεμίζουν επάνω αυτές τις λεκάνες έως ότου ανατρέπουν πέρα από

τις κορυφογραμμές μεταξύ της Γροιλανδίας, της Ισλανδίας, και της Σκωτίας. Από εδώ αναγκάζονται να στραφούν δεξιά από τη δύναμη Coriolis και ακολουθούν την τοπογραφία γύρω από την ακτή της νότιας Γροιλανδίας και της θάλασσας του Λαμπραντόρ, περνώντας τελικά κάτω από το ρεύμα του Περσικού Κόλπου που ρέει νότια κατά μήκος της ανατολικής ακτής των ΗΠΑ. σε βάθη μεταξύ περίπου 2.000 έως 4.000 μέτρων (1.3-2.5 μίλια). Αυτό το ρεύμα, γνωστό ως βαθιά ύδατα του Βόρειου Ατλαντικού (NADW), συνεχίζει προς το νότο έως ότου ενώνεται με το ανταρκτικό περιπόλιο ρεύμα, από όπου παρέχει ένα μεγάλο μέρος του άλατος στα μεγάλα θαλάσσια βάθη του νότιου ημισφαιρίου.

Η θάλασσα του Λαμπραντόρ είναι επίσης μια πηγή πυκνού ύδατος. Δεδομένου ότι, εντούτοις, οι χειμερινοί συνθήκες δεν είναι τόσο αυστηρές εδώ όσο στη Γροιλανδία και τις νορβηγικές θάλασσες, η άλμη παραχθείσα είναι λιγότερο πυκνή και δεν καθιζάνει τόσο όσο η άλμη των υδάτων της Γροιλανδίας (μόνο 1.500-2.000 μέτρα, ή 0.9-1.3 μίλια). Εντούτοις, το θαλάσσιο νερό του Λαμπραντόρ μπορεί να επισημανθεί νότια από τον Βόρειο Ατλαντικό καθόσον και τον ισημερινό και πάνω από το στρώμα NADW.

## **2.5: ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΜΑΖΩΝ ΥΔΑΤΟΣ**

Όλες αυτές οι μάζες ύδατος βοηθούν να μεταφέρεται το οξυγόνο από την ατμόσφαιρα στο βαθύ ωκεανό. Το βυθιζόμενο ύδωρ είναι πολύ κρύο και περιέχει τις υψηλές συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου που αποκτιούνται στην επιφάνεια, επειδή το κρύο νερό μπορεί να κρατήσει περισσότερο οξυγόνο από το θερμό ύδωρ. Κατά τη διάρκεια της ροής τους, αναμιγνύουν με το «παλαιότερο» ύδωρ που ήταν μακριά από την επιφάνεια για έναν πιο μακροχρόνιο χρόνο, εξασφαλίζοντας κατά συνέπεια ότι τα κατώτατα ύδατα του ωκεανού παρέχονται το οξυγόνο. Το πρόσθετο οξυγόνο παρέχεται στο νότιο ημισφαίριο από το ανταρκτικό ενδιάμεσο ύδωρ, που διαμορφώνεται σε μια ζώνη κοντά σε  $50^{\circ}$  S στο γεωγραφικό πλάτος  $55^{\circ}$  S. Σε αυτήν την περιοχή, το ύδωρ δεν παγώνει το χειμώνα, αλλά δροσίζει τη διαμόρφωση ενός στρώματος χαμηλής αλατότητας που βυθίζεται σε περίπου 1.000 μέτρα (0.6 μίλια) βάθους και κινείται Βόρεια και στους τρεις ωκεανούς.

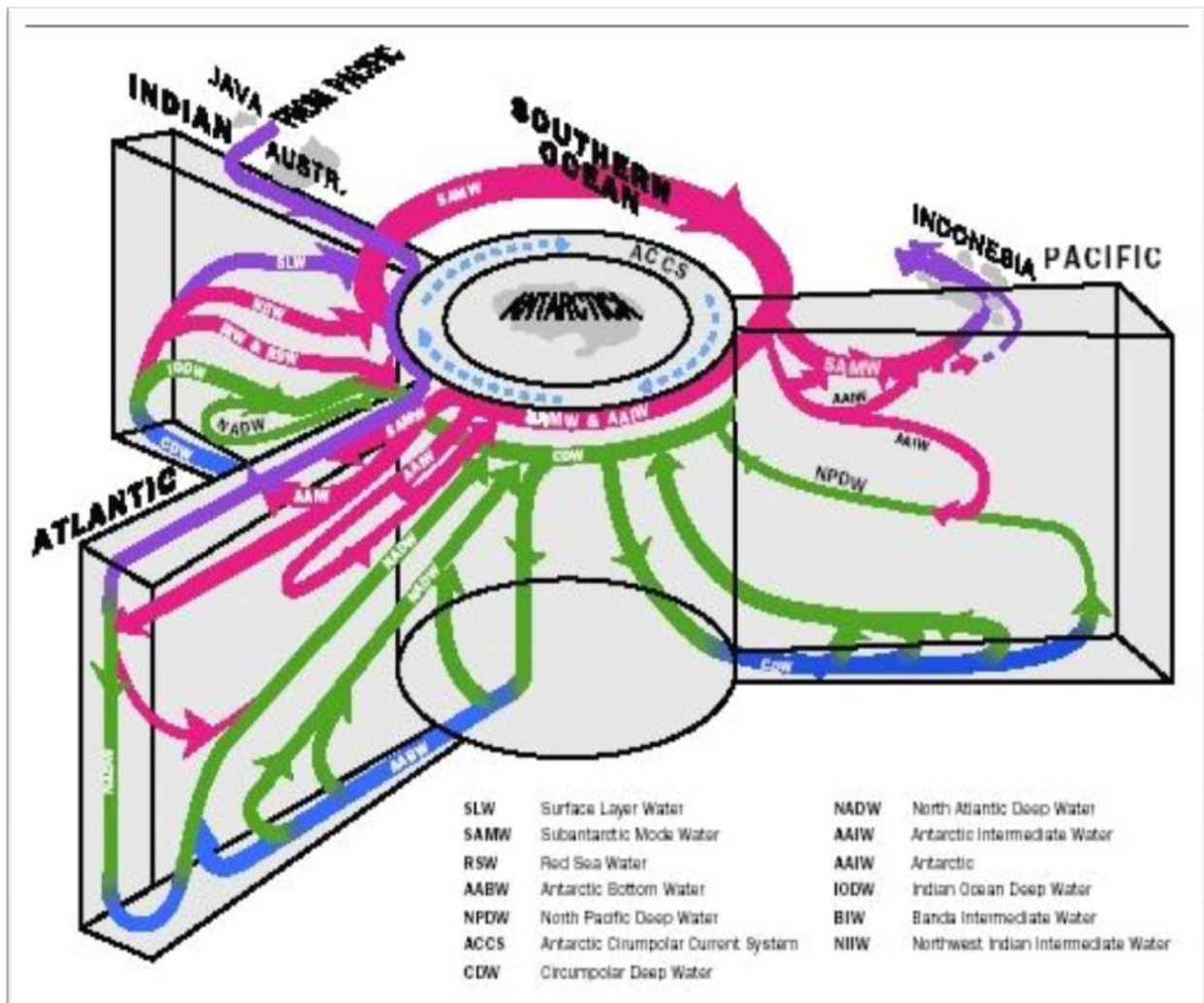
Το ύδωρ δεν χρειάζεται να δροσιστεί για να αλλάξει την πυκνότητά του. Οι μεγάλες αλλαγές πυκνότητας μπορούν επίσης να παραχθούν στις περιοχές όπου η εξάτμιση είναι σημαντικότερη από την καθίζηση. Τα παραδείγματα των περιοχών όπου αυτό εμφανίζεται είναι η Μεσόγειος, η κόκκινη θάλασσα, και ο Περσικός Κόλπος. Αν και τα ύδατα είναι εδώ θερμά (στον Περσικό Κόλπο οι θερμοκρασίες μπορούν να υπερβούν 30°C, ή 86°F), η πυκνότητα μπορεί να αυξηθεί έτσι ώστε το ύδωρ που αφήνει αυτές τις εσωκλειόμενες λεκάνες καθιζάνει καθώς αναμιγνύεται με το περιβάλλον ύδωρ. Το μεσογειακό ύδωρ μπορεί να επισημανθεί πέρα από το Βόρειο Ατλαντικό λόγω της υψηλής αλατότητας του, ενώ το νερό το οποίο εκρέει από την κόκκινη θάλασσα μπορεί να είναι βρεθεί κινούμενο νότια κατά μήκος της ανατολικής ακτής της Αφρικής προς το ρεύμα Agulhas.

Μια εξιδανικευμένη έκδοση των τρεχόντων σχεδίων σε όλο τον ωκεανό παρουσιάζεται στο σχήμα 2. Αυτό παρουσιάζει σαφώς ότι αν και η επιφανειακά και τα βαθιά τρέχοντα σχέδια (θαλάσσια μοτίβα) μπορεί να φαίνονται εκ πρώτης όψεως ασύνδετα, συνδέονται πραγματικά στενά. Τα ψυχρά ύδατα που καθιζάνουν στο βόρειο Βόριο Ατλαντικό ωκεανό αντικαθίστανται στην επιφάνεια από θερμότερο ύδωρ το οποίο προέρχεται από τον ισημερινό. Ομοίως, το πυκνό ύδωρ που διαμορφώνεται από την Ανταρκτική αντικαθίσταται από το ανέβασμα των νερών που βρίσκονται σε μεγάλα βάθη (πυκνότερα ύδατα) που προέρχονται αρχικά από το Βόρειο Ατλαντικό. Κατά συνέπεια, υπάρχει μια σφαιρική θερμική κυκλοφορία (thermohaline circulation) που μετατρέπει τα ύδατα της επιφάνειας στα υψηλά γεωγραφικά πλάτη σε ύδατα μεγάλων βαθών που απομακρύνονται από την πηγή τους, αναμιγνύοντας με το ύδωρ στο οποίο ρέει.

Αυτή η ροή μπορεί να επισημανθεί από το βόρειο Βόριο Ατλαντικό, μέσω του νότιου Ατλαντικού στο παράπλευρο ρεύμα, και έπειτα πίσω πάλι μέσω του ανεβάσματος των νερών στους ειρηνικούς και ινδικούς ωκεανούς στα στρώματα επιφάνειας. Οι ροές του νερού από τον Ειρηνικό στον Ινδικό Ωκεανό μέσω των ινδονησιακών μεταβάσεων, και το κύκλωμα ολοκληρώνονται από το θερμό ύδωρ στον τρέχοντα νότο Agulhas της Αφρικής, ο οποίος μπαίνει στο νότιο Ατλαντικό και κινείται προς το βορρά, διασχίζοντας τον ισημερινό πάλι και που συγχωνεύεται στο ρεύμα του Περσικού Κόλπου. Αν και αυτή η διάβαση μπορεί να επισημανθεί στο σχήμα 2, είναι σαφώς πιο περίπλοκη από αυτή δηλωμένη εδώ. Τα ρεύματα δεν ρέουν

**Σχήμα 2.5.1.** Αυτή η σχηματική αναπαράσταση παρουσιάζει τη γενικευμένη ροή interbasin για τους υποδειγμένους ωκεανούς, και οριζόντιες συνδέσεις τους στο νότιο ωκεανό και τις ινδονησιακές μεταβάσεις

- Οι κυκλοφορίες στρώματος επιφάνειας είναι μωβ,
- ο μεσάζων και SAMW είναι στο κόκκινο,
- τα βαθιά είναι με πράσινο,
- και σχεδόν στον πάτο στο μπλε.



συνεχώς, δεδομένου ότι υπάρχουν πολλά μικρά gyres όπου το ύδωρ «κολλιέται» στο ταξίδι του και αναγκάζεται να διανείμει εκ νέου μια ή περισσότερες φορές προτού να μπορέσει να συνεχιστεί σε όλη την υδρόγειο.

Ομοίως, υπάρχει ιδιαίτερη παραλλαγή στις πορείες που επισημαίνονται έξω από τα διαφορετικά ρεύματα. Ενώ η γενική πορεία ενός ιδιαίτερου ρεύματος είναι η ίδια από ένα έτος σε άλλο, η πραγματική πορεία που παίρνει

μπορεί να ποικίλει ευρέως σε κλίμακα μερικών εβδομάδων. Όλα οριακά στα δυτικά ρεύματα παρουσιάζουν ιδιαίτερη μετακίνηση γύρω από την μέση θέση τους. Οι λόγοι για τους οποίους υπάρχει αυτό το φαινόμενο δεν είναι πραγματικά ακόμη γνωστοί, αλλά μπορούν να οδηγηθούν με τις αλλαγές στην τάση εκ πίεσεως προς τα πάνω, ή το σκόρπισμα των στροβίλων.

## **2.6:ΩΚΕΑΝΙΑ ΡΕΥΜΑΤΑ**

Η μετακίνηση των νερών που σχηματίζουν τους ωκεανούς δημιουργεί μια από τις βασικές αιτίες διαφοράς, μεταξύ του πραγματικού στίγματος των πλοίων, δηλαδή της θέσης τους, ως προς το βυθό, και του στίγματος ως προς την επιφάνεια της θάλασσας ή του στίγματος αναμέτρησης. Το νερό που βρίσκεται σε κάποια ουσιαστική κίνηση ονομάζεται **ρεύμα** (current), η διεύθυνση προς την οποία κινείται η κατεύθυνση του ρεύματος και η ταχύτητα κίνησής του **ένταση** (drift). Το ρεύμα που είναι με ακρίβεια προσδιορισμένο ως προς την κατεύθυνση, την ένταση και το βάθος του, και το οποίο εκτείνεται πάνω από κάποια αρκετά εκτεταμένη περιοχή του ωκεανού, ονομάζεται **ωκεάνιο ρεύμα** (ocean current)

**Περιοδικό ρεύμα** (period current), είναι εκείνο, του οποίου η ένταση ή η κατεύθυνση μεταβάλλεται κυκλικά, κατά κανονικά διαλείμματα, όπως μεταβάλλεται και σε ένα παλιρροιακό ρεύμα.

**Εποχιακό ρεύμα** (seasonal current), είναι εκείνο το ρεύμα που διακρίνεται για τις μεγάλες του αλλαγές ως προς την ένταση ή την κατεύθυνση λόγω των εποχιακών ανέμων που το δημιουργούν.

**Σταθερό ρεύμα** (permanent current), είναι εκείνο το οποίο έχει σχετικά μικρή περιοδική και εποχιακή αλλαγή.

**Το παράκτιο ρεύμα** (coastal current) κινείται παράλληλα προς την ακτή, έξω από τη ζώνη θραύσης των κυμάτων.

**Επίμηκες ρεύμα της ακτής** (longy shore current) κινείται παράλληλα προς την ακτή, εσωτερικά της ζώνης θραύσης των κυμάτων και δημιουργείται από τα κύματα κυρίως της θάλασσας, τα οποία θραύονται στην παραλία υπό γωνία.

**Επιφανειακό ρεύμα** (surface current) είναι το ρεύμα που κινείται στην επιφάνεια της θάλασσας.

**Υποβρύχιο ρεύμα** (subsurface current) είναι εκείνο που παρουσιάζεται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Η αιτία που δημιουργούνται τα ρεύματα είναι ο άνεμος και οι διάφορες πυκνότητες του νερού της θάλασσας σε διαφορετικές θέσεις και βάθη. Η κυκλοφορία του νερού των θαλασσών επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως είναι η υποβρύχια τοπογραφία, το σχήμα των θαλασσιών λεκανών του βυθού, η έκταση και η θέση της ξηράς, η απόκλιση λόγω της περιστροφής της γης.

## **2.7:ΡΕΥΜΑΤΑ ΛΟΓΩ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ**

Η ένταση των ανέμων, καθώς πνέουν επάνω στη θάλασσα, έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση του επιφανειακού στρώματος του νερού. Η κίνηση αυτή μεταδίδεται σε κάθε διαδοχικό στρώμα της θάλασσας, κάτω από την επιφάνεια, η εσωτερική όμως τριβή μέσα στο νερό προκαλεί μείωση της τιμής κίνησης με την αύξηση του βάθους της θάλασσας. Αυτό το ρεύμα ονομάζεται **ρεύμα ανέμου** (wind current) ή **ρεύμα Έκμαν**, και για να δημιουργηθεί πρέπει να πνέει άνεμος για 12 ώρες.

Το ρεύμα ανέμων δεν ρέει κατά την κατεύθυνση των ανέμων που το δημιουργεί αλλά αποκλίνει από αυτή, λόγω της δύναμης coriolis που δημιουργείται από την περιστροφή της γης. Η απόκλιση είναι προς τα δεξιά στο βόρειο ημισφαίριο και προς τα αριστερά στο νότιο. Η δύναμη coriolis είναι μεγαλύτερη στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και περισσότερο αποτελεσματική στα βαθιά νερά. Γενικά η διαφορά μεταξύ κατεύθυνσης του ανέμου και του επιφανειακού ανέμου κυμαίνεται από 15° που παρατηρείται κατά μήκος των αβαθών παράκτιων περιοχών μέχρι 45° το πολύ στους βαθύς ωκεανούς. Καθώς η κίνηση μεταδίδεται στα διαδοχικά βαθύτερα στρώματα νερού, η δύναμη coriolis συνεχίζει να συντελεί στην απόκλιση του ρεύματος. Σε βάθος αρκετών εκατοντάδων μέτρων το ρεύμα πιθανόν να κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση του ρεύματος με την αύξηση του βάθους, συνδυασμένη με την ελάττωση της ταχύτητας προκαλεί μετακίνηση νερού σπειροειδούς μορφής που ονομάζεται **σπειροειδές του Έκμαν**.

Η ταχύτητα του ρεύματος εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου, την σταθερότητα του, τη χρονική διάρκεια και άλλους παράγοντες. Γενικά το 2% της ταχύτητας του ανέμου αποτελεί ένα καλό μέσο όρο εντάσεως του ρεύματος για βαθιά νερά, στην επιφάνεια των οποίων πνέει άνεμος σταθερά για 12 ώρες.

## **2.8:ΡΕΥΜΑΤΑ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ**

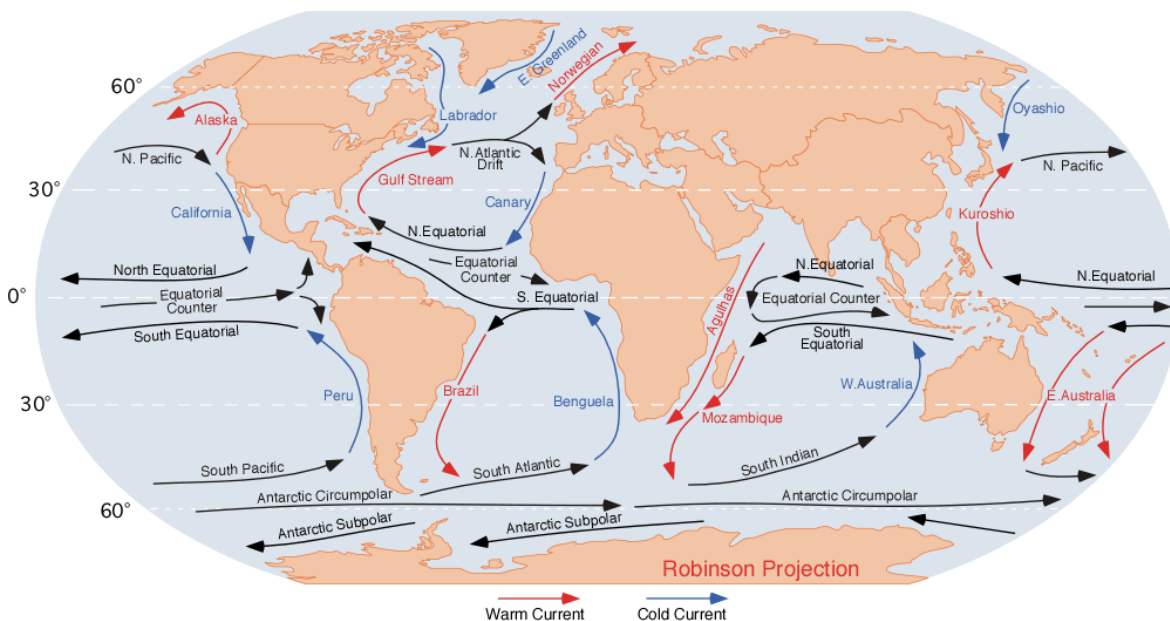
Η πυκνότητα του νερού μεταβάλλεται ανάλογα με την αλατότητα, τη θερμοκρασία και την πίεση. Σε οποιοδήποτε βάθος οι διάφορες πυκνότητες οφείλονται στις διαφορές θερμοκρασίας και αλατότητας. Όταν υπάρχουν κατάλληλες πληροφορίες είναι δυνατό να κατασκευασθεί χάρτης που να δείχνει τη γεωγραφική κατανομή της πυκνότητας, σε ορισμένο βάθος, με γραμμές που να ενώνουν σημεία ίσης πυκνότητας. Οι γραμμές αυτές της ίσης πυκνότητας (isopychic lines) είναι παρόμοιες με τις ισοβαρείς που εμφανίζονται επάνω στο μετεωρολογικό χάρτη και εξυπηρετούν στο να υποδεικνύουν περιοχές υψηλής και χαμηλής πυκνότητας. Σε περιοχή υψηλής πυκνότητας η επιφάνεια του νερού βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια που βρίσκεται σε περιοχή χαμηλής πυκνότητας και η μεγάλη διαφορά ύψους φτάνει τα 30-60 εκατοστά ανά 40 μίλια. Λόγω της διαφοράς αυτής το νερό τείνει να κινηθεί από την περιοχή, όπου τα νερά βρίσκονται σε υψηλότερη στάθμη (χαμηλή πυκνότητα) στην περιοχή χαμηλότερης στάθμης (υψηλή πυκνότητα), η περιστροφή όμως της γης προκαλεί απόκλιση της κίνησης προς το δεξιά στο βόρειο ημισφαίριο και προς τα αριστερά στο νότιο. Έτσι προκαλείται κυκλοφορία του νερού παρόμοια με τη κυκλωτική και αντικυκλωτική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαβάθμιση της πυκνότητας τόσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα.

Ένας αριθμός ρευμάτων κινείται στους ωκεανούς με σταθερότητα προκαλώντας κυκλοφορία του νερού, η οποία συνεχίζεται όλο το χρόνο με μικρή αλλαγή. Λόγω της επίδρασης του ανέμου στη δημιουργία των ρευμάτων υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ αυτής της ωκεάνιας κυκλοφορίας και της γενικής ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Υπάρχουν διαφορές αναφορικά με τα ονόματα και τα όρια ορισμένων ρευμάτων.

## 2.9:ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟΥΣ ΩΚΕΑΝΟΥΣ

Η ενέργεια από τον ήλιο είναι υπεύθυνη για την κυκλοφορία του νερού στους ωκεανούς. Αυτή η κυκλοφορία διαίρεται σε δύο τύπους:

1. **Κυκλοφορία από τον άνεμο(wind driven circulation)**. Οφείλεται στην πνοή του ανέμου πάνω από την επιφάνεια του νερού. Αυτός ο άνεμος επιδρά πάνω από λίγες εκατοντάδες μέτρα πάνω από τους ωκεανούς προκαλώντας πρωτογενή οριζόντια κυκλοφορία.
2. **Θερμοαλατοκυκλοφορία (thermohaline circulation)**. Η κίνηση του νερού οφείλεται στις διαφορές πυκνότητας που προξενήθηκαν από τις μεταβολές της θερμοκρασίας και της αλατότητας. Αυτό προκαλεί την κάθετη κυκλοφορία στις βαθιές θάλασσες και έτσι καταλήγουν τα νερά σε ανάμιξη με στροβιλώδη διάχυση που προκαλείται από τις κλίσεις της συγκέντρωσης από τη μεταφορά που οφείλεται στα ρεύματα. Η πυκνοκλίνη ενεργεί ως ένα εμπόδιο στη θερμοαλατότητα της ανάμιξης των ωκεανών. Η επιφανειακή κυκλοφορία του νερού στους διάφορους ωκεανούς είναι παρόμοια και οφείλεται στην κατανομή των κυριότερων ανέμων όπως φαίνεται στο σχήμα 2.9.1



*Σχήμα 2.9.1 Επιφανειακή κυκλοφορία στους ωκεανούς*

Τα μελτέμια (ετήσιοι άνεμοι) και οι δυτικοί άνεμοι συνδυάζονται και οδηγούν σε μια δεξιόστροφη περιστροφή στο βόρειο ημισφαίριο και μία

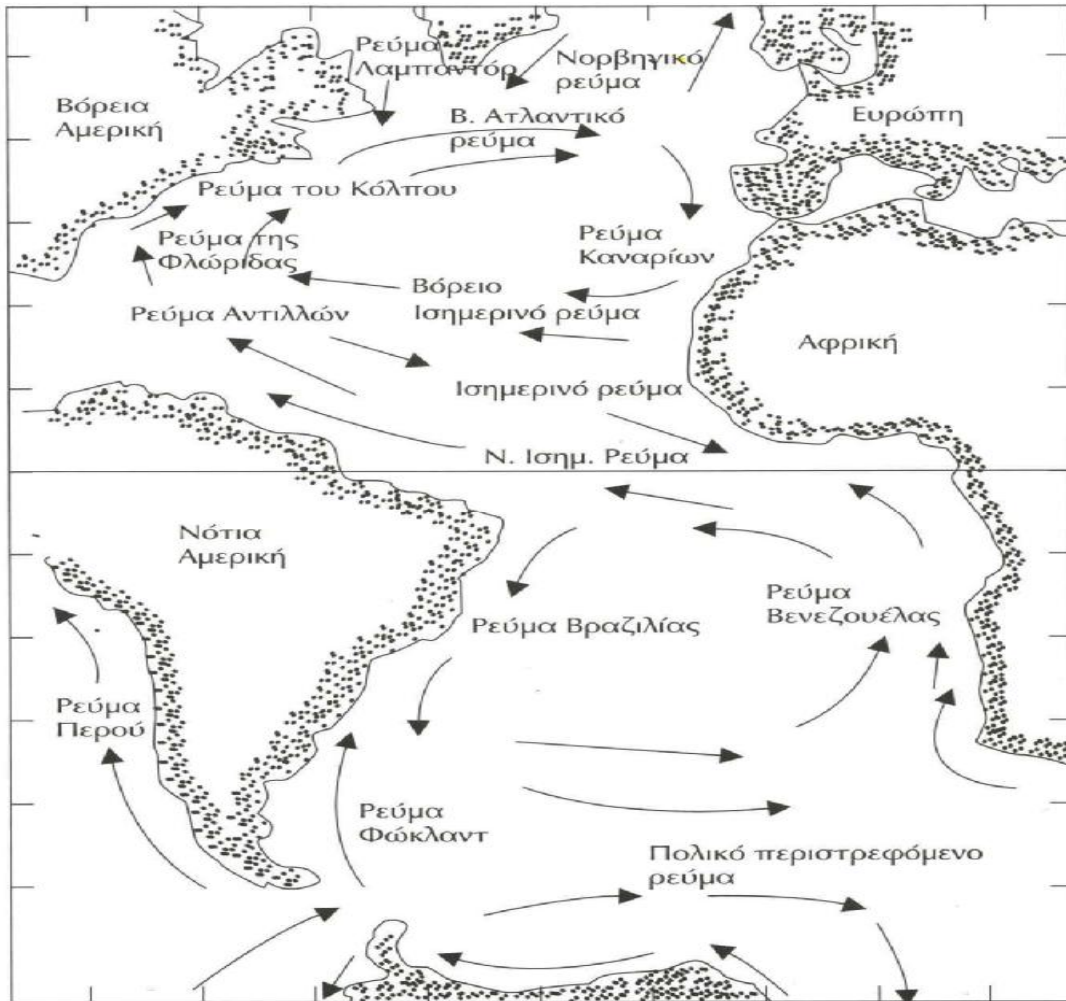


αριστερόστροφη περιστροφή στο νότιο ημισφαίριο. Στο βόρειο ημισφαίριο τα νερά έχουν δεξιόστροφη συμπεριφορά που οφείλεται στη στροφορμή της γης. Αυτό ονομάζεται **''φαινόμενο coriolis''**, και έχει μία αριστερόστροφη κατανομή στο νότιο ημισφαίριο. Στο βόρειο Ατλαντικό και τον Ειρηνικό ωκεανό τα ρεύματα είναι στενόμακρα και γρηγορότερα επάνω στη δυτική ακτή του ωκεανού. Σε αυτό το δυτικό τμήμα η ένταση της περιστροφής προς τα δυτικά καταλήγει στο ρεύμα του κόλπου στο βόρειο Ατλαντικό και στο ρεύμα Κουροσίβο στο Βόρειο Ειρηνικό. Όταν τα μελτέμια από τα βόρεια ή τα νότια περνούν τον ισημερινό το φαινόμενο coriolis προκαλεί ένα αντιρεύμα στην αντίθετη κατεύθυνση από ότι τα κυριότερα περιστροφικά.

## **2.10:ΤΑ ΝΕΡΑ ΤΟΥ ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΥ**

Καθώς φαίνεται στο σχήμα 2.10.1, η κυκλοφορία του επιφανειακού νερού του Ατλαντικού ωκεανού αποτελείται από δύο περιστροφές:

1. Μία δεξιόστροφη στο βόρειο και
2. Μία αριστερόστροφη στο νότιο



**Σχήμα 2.10.1** Κυκλοφορία νερού στον Ατλαντικό ωκεανό

Στο βόρειο Ατλαντικό ωκεανό η περιστροφή αρχίζει με εκείνο στο βόρειο ισημερινό ρεύμα το οποίο οδηγούν τα μελέτεια στα βόρεια ανατολικά. Αυτό συνδέεται με το νότιο ισημερινό και καταλήγει στο ρεύμα του Ατλαντικού στις Δυτικές Ινδίες. Το ρεύμα της Φλώριδας έρχεται από τα νερά εκείνα που πηγαίνουν δια μέσου του Yacatan και το ρεύμα του κόλπου (ονομαζόμενο ρεύμα του κόλπου του Μεξικού) και εκρέει μεταξύ της Φλώριδας και Κούβας μέσα στον Ατλαντικό. Το ρεύμα του κόλπου είναι η βόρεια έκταση του ρεύματος της Φλώριδας το οποίο ενώνεται με το ρεύμα των Αντίλλων. Η ταχύτητα ροής των νερών του ρεύματος της Φλώριδας είναι περίπου  $2 \text{ cm}^3/\text{sec}$ . Το ρεύμα των Αντίλλων έχει μια ταχύτητα ροής  $12 \text{ cm}^3/\text{sec}$  και η ροή ρεύματος του κόλπου έξω στη λεκάνη Chesapeake, είναι περίπου  $80 \text{ cm}^3/\text{sec}$ . Το ρεύμα του Βόρειου Ατλαντικού είναι μία συνέχεια του ρεύματος του κόλπου του Μεξικού. Τα νερά του ρεύματος του Labrador ρέουν νότια έξω από τη θάλασσα του Labrador. Αυτό είναι ψυχρό, με χαμηλή

αλατότητα και αναμιγνύεται με το ζεστό νερό του κόλπου προκαλώντας ένα περίπλοκο σύστημα ανάμιξης. Τμήμα, του ρεύματος του βόρειου Ατλαντικού συνεχίζει προς τον Αρκτικό και γίνεται το Νορβηγικό ρεύμα. Το υπόλοιπο προχωρεί νότια για να συμπληρώσει την περιστροφή. Τα νερά που ρέουν έξω στις ακτές της Αφρικής δημιουργούν το ρεύμα των Καναρίων νήσων.

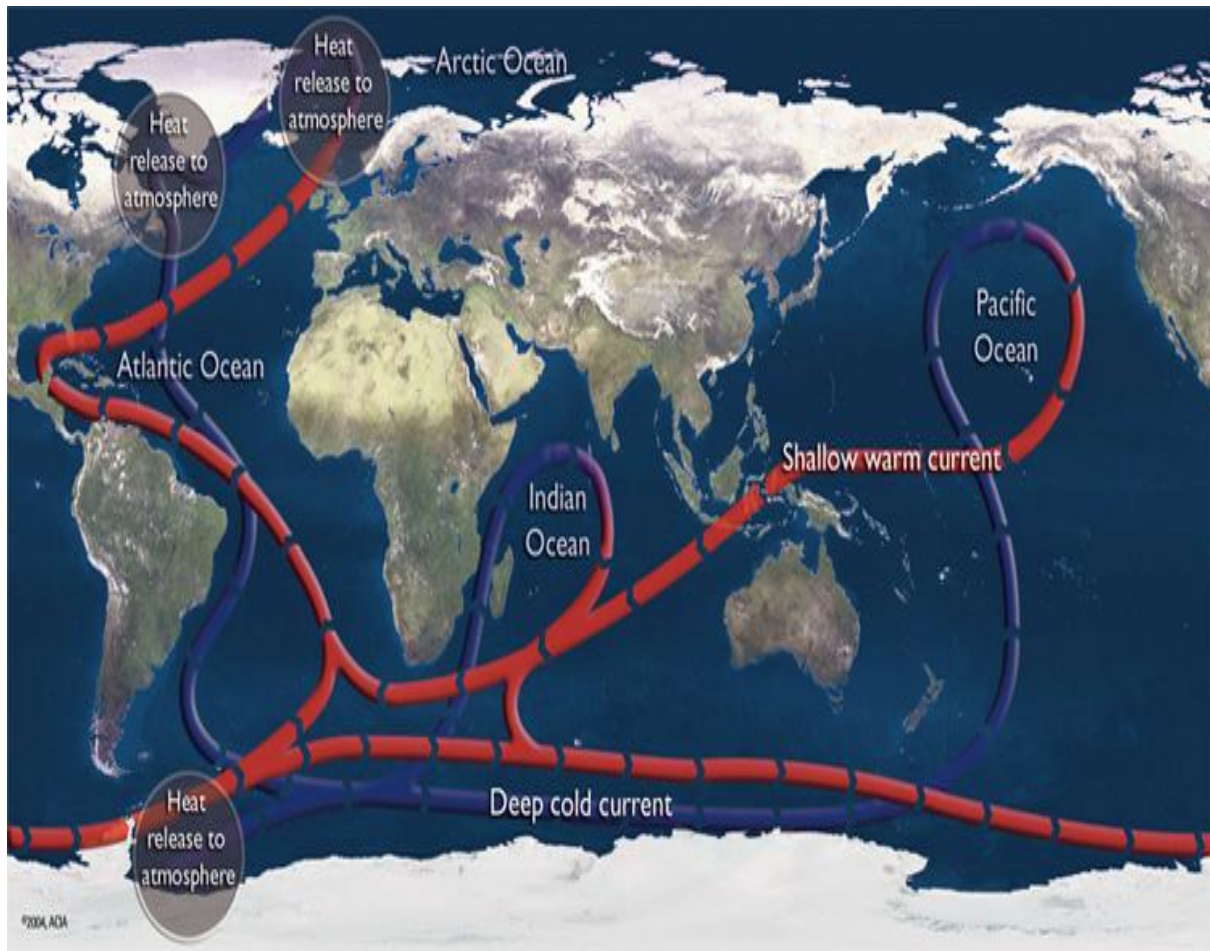
Στο νότιο Ατλαντικό η αριστερόστροφη περιστροφή αρχίζει κοντά στον ισημερινό και οφείλεται στην ένταση των νοτιοανατολικών μελτεμιών, τα οποία προκαλούν το νότιο ισημερινό ρεύμα και αναγκάζουν το νερό να κινηθεί προς την κεντρική Αμερική. Ένα τμήμα προχωρά βόρεια και ένα τμήμα νότια.

Το νότιο τμήμα ονομάζεται ρεύμα της Βραζιλίας. Αυτό το ρεύμα γυρίζει ανατολικά σε υποτροπική σύγκλιση και γίνεται τμήμα του περιπολικού. Αυτό γυρίζει βόρεια έξω από την ακτή της Αφρικής και γίνεται το ρεύμα της Βενεζουέλας. Το ρεύμα της Βραζιλίας έχει ζεστό και αλμυρό νερό, ενώ το ρεύμα της Βενεζουέλας είναι ψυχρό και με λιγότερη αλατότητα. Το ρεύμα του Falkland (Φώκλαντ) ρέει βόρεια από την δίοδο πάνω από το Drake μέχρι την ακτή της νότιας Αμερικής και διαχωρίζει το ρεύμα της Βραζιλίας από την ακτή σε περίπου 25N.

Ένα από τα περισσότερα μελετημένα ρεύματα είναι στον Ατλαντικό, το ρεύμα του Κόλπου. Πρόσφατες μελέτες έχουν γίνει πάνω στο σχηματισμό των δακτυλίων του ρεύματος του Κόλπου. Αυτοί οι δακτύλιοι σχηματίστηκαν από τους ελικοειδούς σχηματισμούς του ρεύματος του Κόλπου (σχήμα 2.10.2). Δύο τύποι δακτυλίων σχηματίστηκαν, ένας ψυχρός πυρήνας δακτυλίων και ένας ζεστός πυρήνας δακτυλίων. Ο ψυχρός πυρήνας δακτυλίων σχηματίστηκε από νερά βόρεια του ρεύματος του Κόλπου. Αυτή η ψυχρότερη κλίση του νερού σχηματίζει μία αριστερόστροφη περιστροφή του νερού η οποία κινείται στα νότια. Αυτοί οι δακτύλιοι μπορεί να υπάρχουν για 2 έως 4 χρόνια, αλλά συνήθως απαντούν στο ρεύμα του Κόλπου μετά από 6 έως 12 μήνες. Ο ζεστός πυρήνας των δακτυλίων σχηματίστηκε από το κλείσιμο του δακτυλίου του ζεστού νερού της θάλασσας του Sargasso. Αυτή η δεξιόστροφη περιστροφή του ζεστού νερού κινείται προς τα βόρεια.

Οι μάζες του νερού στον Ατλαντικό έχουν μελετηθεί για αρκετό διάστημα. Δύο αποστολές η “Μετέωρων” από το 1925 μέχρι το 1927 και η διεθνής Γεωφυσική χρονιά από το 1957 μέχρι το 1958 εφοδίασαν με πρώτες πληροφορίες, ενώ τα πιο πρόσφατα GEOSECS και TTO (μεταβατικά ίχνη

στον ωκεανό), μας προμήθευσαν με τα φυσικά και χημικά δεδομένα που υπάρχουν στον Ατλαντικό ωκεανό.



*Σχήμα 2.10.2 Ελικοειδής σχηματισμοί του ρευματός του κόλπου*

τα επάνω νερά κάτω από την επιφάνεια είναι γνωστά ως **κεντρικά νερά του Ατλαντικού (Atlantic Central Waters)**. Αυτά φθάνουν σε βάθη από 300 m και πάνω σε κάθε πλευρά του ισημερινού και βαθαίνουν σε 600 μέχρι 900 m στα μέσα πλάτη. Αυτά τα νερά έχουν σχηματιστεί με τη βύθιση των νερών προς την πλευρά του ισημερινού των υποτροπικών συγκλίσεων. Τα ψυχρότερα, με χαμηλή αλατότητα νερά βυθίζονται σε υψηλότερα πλάτη. Το ζεστό νερό με τη μεγαλύτερη αλατότητα βυθίζεται σε χαμηλότερα πλάτη και ρέει προς τον ισημερινό. Στον νότιο Ατλαντικό τα κεντρικά νερά τερματίζουν σε ένα βάθος όπου συναντώνται με τα ενδιάμεσα νερά δεν είναι τα επικρατέστερα. Το κεντρικό νερό βυθίζεται μέσα σε χαμηλά πλάτη. Το αποτέλεσμα του νερού της Μεσογείου αποδεικνύεται από την εξέταση της οριζόντιας τομής της αλατότητας σε ένα βάθος 1000m.

Το τμήμα της θερμοκρασίας και αλατότητας για τον Ατλαντικό ωκεανό φαίνεται στο σχήμα 1.17 και αποδεικνύει ότι ο μεγαλύτερος όγκος του νερού του Ατλαντικού είναι τα βαθιά νερά. Η κυριότερη πηγή αυτών των βαθιών νερών του βορείου Ατλαντικού είναι η Νορβηγική θάλασσα. Αυτό το νερό ρέει πάνω στα κατώφλια μεταξύ Σκωτίας, Ισλανδίας και βυθίζεται στον βαθύ Ατλαντικό ωκεανό. Αυτή η ροή δεν είναι συνεχής αλλά συμβαίνει σε δονήσεις. Η θερμοκρασία είναι μεταξύ 2 έως 3° C για τα περισσότερα βαθιά νερά του βορείου Ατλαντικού.

Τα νερά του πυθμένα στις δυτικές και ανατολικές λεκάνες του νοτίου Ατλαντικού είναι διαφορετικά λόγω του διαχωρισμού που οφείλεται στη μέση Ατλαντική οροσειρά (κορυφή). Στη δυτική πλευρά το νερό του πυθμένα έχει θερμοκρασία κάτω από 0,4° C, ενώ στην ανατολική πλευρά η ελάχιστη είναι 2,4° C. Τα νερά του πυθμένα εμποδίζονται από τη ροή μέσα στην ανατολική λεκάνη από τη κορυφή Walfish, η οποία έχει ένα κατώφλι βάθους από 3500 m. Η διαφορά της αλατότητας δεν είναι μεγάλη. 34,7 στη δυτική και 34,9 πάνω στην ανατολική πλευρά.

Οι πρόσφατες μετρήσεις με τρίτιο από τον Ostlund και τους συνεργάτες του στο Μαϊάμι έχουν αποδείξει καθαρά την ταχύτητα σχηματισμού στο βόρειο Ατλαντικό και αποκτήθηκαν από το προηγούμενο πρόγραμμα GEOSECS και το πιο πρόσφατο TTO. Οι μετρήσεις δείχνουν μια βαθιά διείσδυση προς τα νότια του τριτίου, το οποίο έχει χρόνο υποδιπλασιασμού  $t_{1/2} = 12$  χρόνια και εισχώρησε στα νερά του Ατλαντικού μετά τα πειράματα της ατομικής βόμβας το 1960. Η μέτρηση με το TTO έγινε περίπου δέκα χρόνια μετά από την εργασία του GEOSECS και δείχνει την περαιτέρω κίνηση των βαθιών νερών του βορείου Ατλαντικού.

## **2.11: ΤΑ ΝΕΡΑ ΤΟΥ ΕΙΡΗΝΙΚΟΥ ΩΚΕΑΝΟΥ (ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ EL NINIO- LA NINIA)**

Η κυκλοφορία του επιφανειακού νερού στον Ειρηνικό ωκεανό είναι παρόμοια με αυτή του Ατλαντικού ωκεανού. Στο βόρειο Ειρηνικό ωκεανό υπάρχει μια δεξιόστροφη περιστροφή και στο νότιο Ειρηνικό υπάρχει αριστερόστροφη περιστροφή. Τα ρεύματα του ισημερινού είναι περισσότερο



ευδιάκριτη στον Ειρηνικό ωκεανό και οφείλονται στο μεγαλύτερο μέγεθος αυτού.

Τα βόρεια και νότια ρεύματα ρέουν προς τα δυτικά και αντιπροσωπεύουν μέρος των δύο κυριότερων περιστροφών, και τα δύο οδηγούνται από τα μελτέμια. Τα βόρεια και νότια ισημερινά αντιρρεύματα ρέουν προς ανατολάς.

Το βόρειο Ισημερινό ρεύμα έχει επιφανειακές ταχύτητες από 25 μέχρι 30 *cm/sec* και όγκο ροής 45 sv. Το ισημερινό αντίρρευμα έχει ταχύτητες από 35 μέχρι 60 *cm/sec*, εκτός από την άνοιξη (Μάρτιο και Απρίλιο), όπου αυτό ελαττώνεται μέχρι 20 *cm/sec*. Τα αντιρρεύματα φθάνουν μέχρι βάθους 1500 m και έχουν όγκο μεταφοράς περίπου 60sv. Στον ισημερινό υπάρχει υποβρύχιο ρεύμα ονομαζόμενο (current Gromwell) ρεύμα του Gromwell, το οποίο είναι κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας 200m στη δυτική και 40m στην ανατολική πλευρά. Αυτό είναι μόνο 0,2 km πάχος αλλά έχει 300 km πλάτος και έχει ένα μήκος 14000 km. Οι ταχύτητες φθάνουν μέχρι 170 *cm/sec* και ο μέγιστος όγκος μεταφοράς είναι 70 sv, με μέσο όρο 40 sv. Αυτό το ρεύμα ανακαλύφθηκε από τον Buchaman το 1986 κατά τη διάρκεια της αποστολής Challenger, αλλά ξεχάστηκε και ξανά ανακαλύφθηκε από τους Gromwell, Montgomery & Stroup το 1952.

Δεν γίνεται μεγάλη μεταφορά του νερού από το νότιο στο βόρειο Ειρηνικό ωκεανό. Ο βόρειος Ειρηνικός έχει ένα ισχυρό όριο ρεύματος όπως ο Ατλαντικός, αλλά και μία προέκταση ονομάστηκε ρεύμα του Kuroshio (Κουρουσίβο) ή Ιαπωνικό ρεύμα λόγω του σκοτεινού χρώματος του νερού. Αυτό έχει όγκο ροής περίπου 65 sv. Αυτό επίσης σχηματίζει Μαιάνδρους όπως το ρεύμα του Κόλπου και στροβίλους ή δακτυλίους. Το ρεύμα της Καλιφόρνιας στα βόρεια του Περού ή το ρεύμα του Humbolt στο νότιο Ειρηνικό προκαλούν μια αναβλύζουσα περιοχή κατά μήκος των ακτών. Τα δύο ρεύματα φέρνουν ψυχρό νερό προς τις περιοχές του ισημερινού και επηρεάζουν το κλίμα των δύο περιοχών. Το ρεύμα του Περού στρέφεται δυτικά μεταξύ Ιανουαρίου και Μαρτίου κατά λίγους βαθμούς απόκλισης νότια του ισημερινού. Το βόρειο ισημερινό αντίρρευμα το ακολουθεί νότια και φέρνει ζεστό νερό κοντά στις ακτές. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στη μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης και στα θαλάσσια ρεύματα στο νότιο Ειρηνικό ωκεανό ονομάζεται El nino γιατί συμβαίνει κοντά στα Χριστούγεννα.

Το φαινόμενο El ninio εμφανίζεται κατά ακανόνιστα διαστήματα στο νότιο Ειρηνικό, χωρίς να είναι περιοδικό και προκαλεί αναστάτωση στο μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη. Προκαλεί την εναλλαγή ζεστών και κρύων νερών που ξεκινούν από τις ακτές του Περού και φθάνουν μέχρι την Αυστραλία, κυρίως επηρεάζει τις περιοχές ανάμεσα στους τροπικούς και ορισμένες περιοχές της Ευρώπης και της Αμερικής. Η επιρροή του διαρκεί από την εμφάνιση του για δύο με τρία χρόνια, ακόμη και παρατηρείται αραίωση του στρώματος του όζοντος στην ατμόσφαιρα της γης.

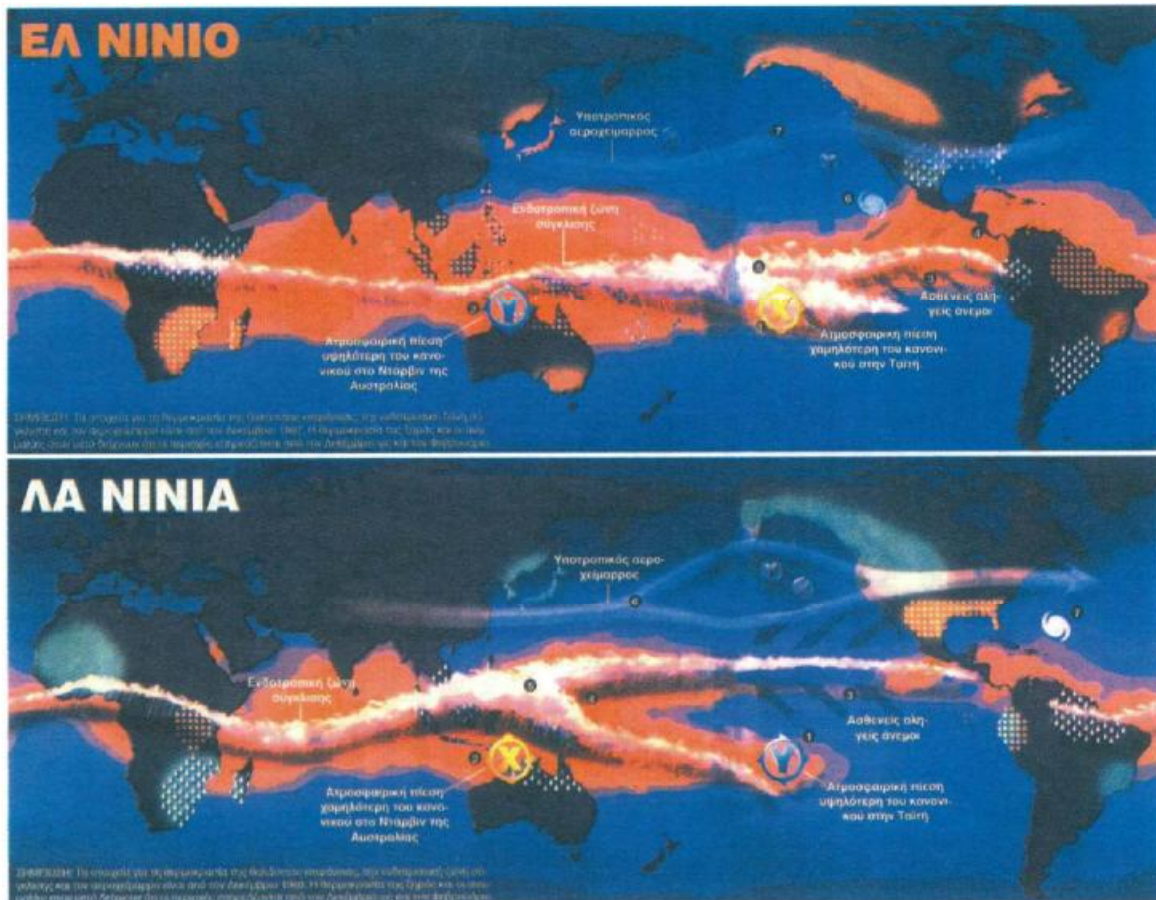
Η Ελλάδα δεν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό, όμως μελέτες από την Ακαδημία Αθηνών και το Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας έδειξε ότι είναι πιθανή η επίδραση του στα μελέμια, καθότι αλλοιώνει τα μεγάλα συστήματα που βρίσκονται στον Ινδικό ωκεανό. Τα διαστήματα που εμφανίστηκε ήταν 1972-73, 1982-83, 1987-88 και 1990-91. Το 1987 που εμφανίστηκε είχαμε ρεκόρ μέγιστων θερμοκρασιών σε ολόκληρο τον πλανήτη και χαμηλές καλοκαιρινές βροχοπτώσεις στην Ινδία, τις Φιλιππίνες στη νότια Αμερική και στη Νότια Αφρική, καθώς και ξηρασία στην Αυστραλία.

Το φαινόμενο El Ninio μπορεί να προβλεφθεί, έτσι οι Ευρωπαίοι επιστήμονες με το πρόγραμμα pronost ανέπτυξαν ένα αξιόπιστο μοντέλο πρόβλεψης, στηριζόμενοι σε πολύχρονες παρατηρήσεις. Έτσι η οικονομική αξία είναι τεράστια διότι αν μία χώρα γνωρίζει την εποχική πρόβλεψη θα είναι σε θέση να αυξήσει τα αποθέματα σε καύσιμα και οι γεωργοί να επιλέγουν το είδος της καλλιέργειας. Οι παρατηρήσεις για την πρόβλεψη του φαινομένου λαμβάνονται από δορυφόρους, το βυθό των ωκεανών και τη ξηρά, το κρύο φαινόμενο λέγεται El Ninio ενώ της ζέστης La Ninia το οποίο προκαλεί ξηρασία.

Αυξάνει τη θερμοκρασία και σκοτώνει τα ψάρια, ακόμη αυξάνει την εξάτμιση από τον ωκεανό και τις βροχοπτώσεις επάνω στην ξηρά καταλήγοντας σε πλημμύρες. Τα τελευταία χρόνια ένας αριθμός μελετών έγινε πάνω στο El ninio προσπαθώντας να προβλέψουν αυτή τη συμπεριφορά η οποία οφείλεται στις διεργασίες που συμβαίνουν στον Ατλαντικό ωκεανό.

Εκτός από το El ninio το οποίο προκαλεί ξηρασία, πλημμύρες, πείνα και αρρώστιες υπάρχει το φαινόμενο La ninia το οποίο προκαλεί ψύξη και εκδηλώνεται μετά το El ninio. Ποτέ δύο El ninio ή La ninia δεν είναι ίδια και οι αιτίες είναι αμέτρητες, όπως μεταβολές στην τροχιά της γης, στην ένταση των ωκεάνιων ρευμάτων και τις ανθρώπινες επιδράσεις στο περιβάλλον.

Γραπτά τεκμήρια για τις επιπτώσεις του El nino υπάρχουν στο Περού από το 1525, ενώ οι γεωλόγοι διαθέτουν αποδείξεις ότι χρονολογείται πριν από 13000 χρόνια.



Σχήμα 2.11.1 Σχηματική απεικόνιση του El Nino και La Nina

Η εμφάνιση του El Niño οφείλεται στην εξασθένηση των ανατολικών αληγών ανέμων με αποτέλεσμα θερμά νερά στον δυτικό ωκεανό να μετακινούνται ανατολικά. Ο αέρας κερδίζει θερμότητα και υγρασία από τη θερμή επιφάνεια του ωκεανού με αποτέλεσμα να υψώνεται σχηματίζοντας σύννεφα και καταιγίδες στον κεντρικό Ειρηνικό ωκεανό. Έτσι τα ψυχρά και πλούσια σε τροφή νερά των βαθύτερων στρωμάτων δεν μπορούν να αναδυθούν στη Βόρεια και Νότια Αμερική και τα θαλάσσια είδη της περιοχής υποφέρουν από έλλειψη τροφής. Η ατμοσφαιρική πίεση στην Ταϊτή παρουσιάζει κατά περιόδους αφύσικη πτώση και στη Βόρεια Αυστραλία παρατηρείται ασυνήθιστη άνοδος. Με την παρουσία του υψηλού βαρομετρικού οι δυτικοί αληγείς άνεμοι του Ειρηνικού ωκεανού εξασθενίζουν, οπότε τα θερμά επιφανειακά νερά, αύξηση της θερμοκρασίας



κατά 3° C, να εξαπλώνονται προς τα Ανατολικά για να δημιουργήσουν μια θερμή ζώνη στον ισημερινό Ειρηνικό ωκεανό. Κατά μήκος του ισημερινού οι νεφώσεις είναι έντονες λόγω της σύγκλισης των βορείων και των νοτίων αληγών ανέμων και σχηματίζονται περισσότερα σύννεφα. Λόγω του χαμηλού βαρομετρικού ο υποτροπικός αεροχείμαρος μεταφέρει τα σύννεφα του Ειρηνικού ωκεανού ανατολικά αυξάνοντας τις καταιγίδες στην περιοχή. Στην Αμερική έχουμε, ενώ η Ινδία, η Ινδονησία και η Αυστραλία έχουν ανομβρία καθώς και η Αφρική.

Αντίθετα με τους μηχανισμούς του El Nino η εμφάνιση του La Nina από Δεκέμβριο μέχρι Μάρτιο οφείλεται στο ότι ισχυροί αληγείς άνεμοι ανατολικοί από την Αμερική ωθούν τα θερμά επιφανειακά νερά προς την Ασία. Οπότε τα ψυχρότερα ρεύματα στις ακτές της Αμερικής (ανατολικός Ειρηνικός) αναδύονται στην επιφάνεια σε μήκος 5000 χιλιόμετρα με αποτέλεσμα τα θρεπτικά συστατικά να αυξάνουν στις ακτές του Περού, αλλά οι υδρατμοί μειώνονται καθώς και οι νεφώσεις με τις βροχές. Η ατμοσφαιρική πίεση στην Ταϊτή εμφανίζεται υψηλή και στην Αυστραλία χαμηλή λόγω θέρμανσης των αερίων μαζών από τον ήλιο, οπότε οι δυτικοί αληγείς άνεμοι δυναμώνουν και ωθούν τα θερμικά επιφανειακά νερά πιο δυτικά από το συνηθισμένο, προκαλώντας βαρύτερους μουσώνες στην Ινδία και μεγάλες βροχοπτώσεις στην Αυστραλία.

Λόγω των υψηλών πιέσεων στην Ταϊτή οι νεφώσεις στον ισημερινό κατακερματίζονται, ο υποτροπικός αεροχείμαρος εξασθενεί, οπότε οι τυφώνες του Ατλαντικού ωκεανού κινούνται δυτικά και πιο ενισχυμένοι. Εξαιτίας των ανέμων όσο και της θερμικής διαστολής η στάθμη της θάλασσας είναι συνήθως 45 εκατοστά ψηλότερη από τις δυτικές ακτές του Μεξικού.

Τα τελευταία χρόνια εμφανίστηκαν 23 El Nino και 15 La Nina, τα 4 πιο ισχυρά συνέβησαν μετά το 1980. Τα θερμά επεισόδια του El Nino συνοδεύονται από ελάττωση της ατμοσφαιρικής πίεσης στις περιοχές από τη βόρεια θάλασσα μέχρι την Κασπία θάλασσα με αντίστοιχη αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης στη νοτιοανατολική Μεσόγειο την άνοιξη. Έχει παρατηρηθεί ότι κατά την ώριμη φάση τέτοιων φαινομένων η περιοχή της Μεσογείου έχει περισσότερες βροχοπτώσεις. Στο Αιγαίο πέλαγος οι ετήσιοι άνεμοι (μελτέμια) αναμένονται με μικρότερη συχνότητα και με μικρότερη ένταση εξαιτίας της επίδρασης των βαρομετρικών πεδίων της Ινδίας και του Ιράκ καθώς και εκείνα της κεντρικής και ανατολικής Ευρώπης.

Οι χαμηλές θερμοκρασίες έξω από τις ακτές του Περού οφείλονται στα αναβλύζοντα νερά. Οι άνεμοι των ακτών κινούν το επιφανειακό νερό έξω από τις ακτές και αυτό αναπληρώνεται με ψυχρό νερό και προκύπτουν τα πλούσια θρεπτικά υλικά στα ενδιάμεσα νερά(500m). Τα νερά μεταξύ 100 έως 800 m, στον Ειρηνικό ωκεανό είναι γνωστά σαν **κεντρικά νερά** (central waters)

Τα νερά μεταξύ 20B και 10B είναι νερά με πολύ αλατότητα στον Ειρηνικό. Τα επιφανειακά νερά είναι διαχωρισμένα από τα ισημερινά του Ειρηνικού με μια ισχυρή θερμοκλίνη. Κάθετη μεταφορά δε γίνεται, έτσι ένα συνεχές στρώμα αρχίζει από 150 μέχρι 200 m στα δυτικά και 50 m ή λιγότερο στα ανατολικά. Αυτό μπορεί να φτάσει στην επιφάνεια έξω από τις δυτικές ακτές της κεντρικής Αμερικής ονομαζόμενος Θερμικός Θόλος της Costa Rica.

Τα ενδιάμεσα νερά του βόρειου Ειρηνικού σχηματίζουν μια ελάχιστη αλατότητα σε 800 m στα δυτικά και 300 m στα ανατολικά. Αυτά τα νερά παρουσιάζουν μια κυκλοφορία δεξιόστροφης περιστροφής όμοια με τα επιφανειακά νερά. Οι υψηλές τιμές  $O_2$  δείχνουν ότι τα νερά συμπληρώθηκαν με επιφανειακά νερά. Ο Reid Scripps έχει αποδείξει ότι η πυκνότητα αυτών των νερών διαφέρει από εκείνα της επιφάνειας.

Οι μάζες του νερού είναι περισσότερο πολύπλοκες από ότι στον Ατλαντικό επειδή έχει μεγαλύτερο μέγεθος. Οι επάνω μάζες του νερού κάτω από την επιφάνεια έχουν μια ποικιλία από ιδιότητες, μεταξύ 100 έως 800 m, τα νερά στο βόρειο και στο νότιο Ειρηνικό επικρατούν. Το ισημερινό νερό εκτείνεται πάνω σε ολόκληρο τον ωκεανό και έχει μια πολύ ομοιόμορφη σχέση T-S. Τα επιφανειακά νερά διαχωρίζονται από τα νερά του ισημερινού με μια ισχυρή θερμοκλίνη η οποία εμποδίζει την κάθετη μεταφορά. Το βάθος της διακοπτόμενης ζώνης μειώνεται από 150 έως 200 m στα δυτικά μέχρι 50 m ή λιγότερο στα ανατολικά.

Το στρώμα καμιά φορά φθάνει στην επιφάνεια κοντά στην Αμερικάνικη ακτή και αυτό ονομάζεται θερμικός θόλος της Κόστα Ρίκα (Costa Rica thermal dome)

Το ισημερινό υποβρύχιο ρεύμα στον Ειρηνικό ονομάζεται ρεύμα Gromwell (current Gromwell) και έχει μελετηθεί αρκετές φορές. Αυτό αποκαλύφθηκε από τους Gromwell, Montgomery & Stroup το 1954. Το

ρεύμα εκείνο ανακυκλώθηκε με σχεδίαση πλωτών γεφυρών αποδεσμευμένες σε διάφορα βάθη.

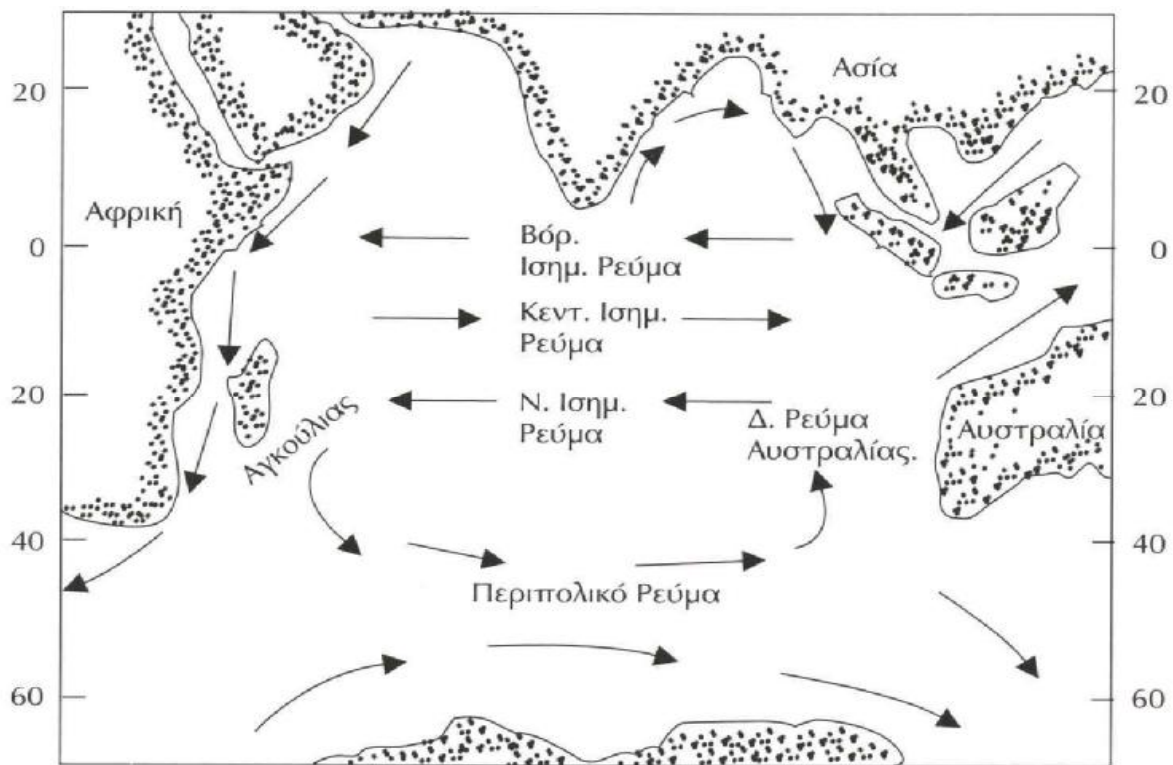
Το βυθιζόμενο ρεύμα παρατηρήθηκε σαν ένα στενό υποβρύχιο ρεύμα πάνω στη θερμοκλίνη. Η τεχνική ήταν όμοια με τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν από τον Buchanan τον 19<sup>ο</sup> αιώνα για τη μελέτη των υποβρύχιων ρευμάτων του Ατλαντικού. Το ρεύμα του Gromwell εμφανίζει μια ροή προς τα ανατολικά, οι ταχύτητες είναι πολύ μεγάλες ( $120\text{m}/\text{sec}$ ) και εκτιμήθηκε ο όγκος μεταφοράς περίπου στα 40 sv. Το νότιο ισημερινό ρεύμα ρέει πάνω από το υποβρύχιο και διαχωρίζει αυτό από τα επιφανειακά αντιρρέυματα προς το βόρειο και νότιο. Πρέπει να σημειωθεί ότι η κάθετη κυκλοφορία είναι παρόμοια με αυτή του Ατλαντικού.

## **2.12: ΝΕΡΑ ΤΟΥ ΙΝΔΙΚΟΥ ΩΚΕΑΝΟΥ**

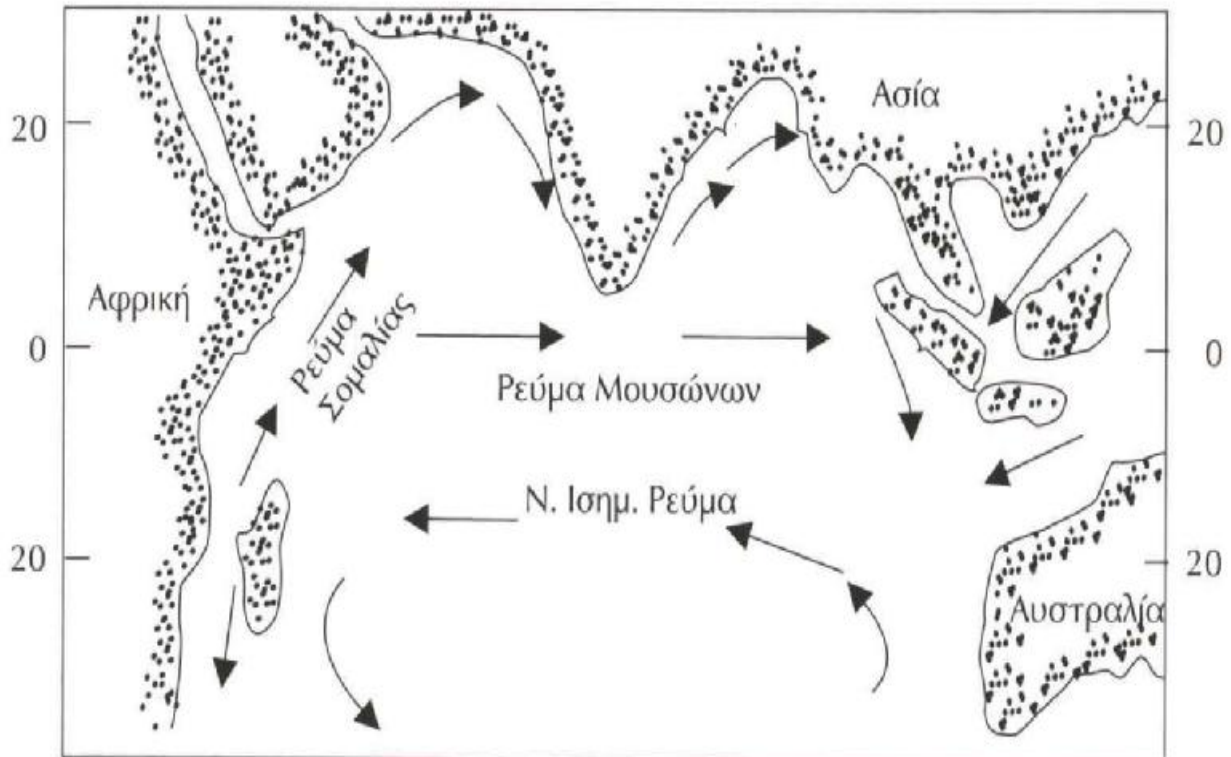
Τα επιφανειακά ρεύματα στον Ινδικό ωκεανό φαίνονται στο σχήμα 1.19. Ο Ινδικός ωκεανός διαφέρει από τον Ατλαντικό και τον Ειρηνικό ωκεανό στην περιορισμένη του βόρεια έκταση που οφείλεται στην Ασιατική μάζα της ξηράς. Η υποτροπική σύγκλιση είναι στα 40N που θεωρείται ότι είναι και τα νότια σύνορα του Ινδικού ωκεανού. Στο νότιο Ινδικό ωκεανό η αριστερόστροφη περιστροφή είναι όμοια με του νότιου Ατλαντικού και του Ειρηνικού ωκεανού. Αυτό το ρεύμα στα νότια έρχεται σε επαφή με το πολικό ρεύμα. Τμήμα αυτού του ρεύματος ρέει δυτικά και γίνεται το νότιο ισημερινό ρεύμα. Το προς τα νότια ρεύμα κατά μήκος της ακτής της Αφρικής ονομάζεται ρεύμα Agulhas (Αγκούλιας), το οποίο είναι ανάλογο με το ρεύμα του Κόλπου. Τμήμα αυτού του ρεύματος ρέει δυτικά μέσα στον Ατλαντικό σχηματίζοντας το ρεύμα Βενεζουέλα.

Τα συστήματα των ισημερινών ρευμάτων στον Ινδικό ωκεανό διαφέρουν από τον Ατλαντικό και Ειρηνικό ωκεανό οφειλόμενα σε εποχιακές αλλαγές των ανέμων. Από το Νοέμβριο μέχρι το Μάρτιο οι άνεμοι και τα ρεύματα είναι όμοια με των άλλων ωκεανών, εκτός από ότι είναι περισσότεροι νότιοι οι άνεμοι. Το νότιο ισημερινό ρεύμα (8N μέχρι 2N) ρέει προς τα ανατολικά. Το βόρειο ισημερινό ρεύμα (2N μέχρι 10B) ρέει προς τα ανατολικά και διατηρείται από τα βόρεια ανατολικά μελτέμια.

Τον Απρίλιο οι άνεμοι αλλάζουν και από το Σεπτέμβριο τα βορειοανατολικά μελτέμια αντικαθίστανται με ανέμους από τα νοτιοδυτικά ονομαζόμενοι νοτιοδυτικά μελτέμια (άνεμοι μουσώνων). Αυτοί οι άνεμοι είναι μία συνέχεια κατά μήκος του ισημερινού των νοτιοανατολικών μελτεμιών, το βόρειο ισημερινό ρεύμα αντικαθίστανται από ένα νοτιοδυτικό ρεύμα μουσώνων. Τα ισημερινά αντιρρεύματα επίσης εξαφανίζονται και καθίστανται αδιάκριτα από το ρεύμα των μουσώνων. Κατά τη διάρκεια της περιόδου των μουσώνων το νότιο ισημερινό ρεύμα στρέφεται βόρεια ενισχύοντας το ρεύμα της Σομαλίας (Somali current), το οποίο ρέει βόρεια κατά μήκος των ακτών της ανατολικής Αφρικής.



**Σχήμα 2.12 α** Τα επιφανειακά ρεύματα του Ινδικού ωκεανού



Σχήμα 2.12 β Τα επιφανειακά ρεύματα του Ινδικού ωκεανού

## 2.13:ΤΑ ΠΟΛΙΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ

Το ρεύμα της Νορβηγίας είναι μια συνέχεια του ρεύματος του βορείου Ατλαντικού ωκεανού το οποίο στρέφεται βόρεια και μετά ρέει μέσα στη θάλασσα της Νορβηγίας. Το ανατολικό ρεύμα της Γροιλανδίας ρέει νοτιοδυτικά κατά μήκος της ακτής της Γροιλανδίας. Αυτό αποτελείται από νερά της Αρκτικής θάλασσας και μερικά από αυτά τα νερά αναμιγνύονται με τα νερά του ρεύματος της Νορβηγίας. Η ταχύτητα του ρεύματος είναι περίπου  $30 \text{ cm/sec}$ . Μία κορυφή είναι από τη Γροιλανδία μέχρι την Σκωτία (1000 m) και εμποδίζει τα βαθύτερα νερά του Ατλαντικού να εισέρχονται στη Νορβηγική και Αρκτική θάλασσα. Το ανατολικό ρεύμα της Γροιλανδίας μεταφέρει πάγο από τον Αρκτικό και μέσα στο βόρειο Ατλαντικό ωκεανό.

Στη θάλασσα της Νορβηγίας και της Γροιλανδίας τα επιφανειακά νερά αποτελούνται από τη Γροιλανδική περιστροφή πάνω από τα 1500m, με  $\theta = -1,1$  έως  $-1,7^\circ \text{ C}$  και κάτω από αυτό το βάθος με  $\theta < -1,1^\circ \text{ C}$ . Τα βαθιά νερά της Νορβηγικής περιστροφής έχουν την ίδια αλατότητα, αλλά οι θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερες από  $-0,95^\circ \text{ C}$  παρόμοια με το νερό του πυθμένα της

Αρκτικής λεκάνης. Έτσι η θάλασσα της Νορβηγίας σχηματίζει ένα φράγμα προς το πέρασμα του ψυχρότερου νερού της Γροιλανδικής περιστροφής. Τα βαθιά νερά των δύο θαλασσών έχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε  $O_2$  δείχνοντας έτσι ότι ο σχηματισμός της έγινε με την ψύξη και βύθιση των νερών του χειμώνα.

Το δυτικό Γροιλανδικό ρεύμα είναι το αποτέλεσμα του ανατολικού Γροιλανδικού ρεύματος το οποίο ρέει γύρω από το άκρο της Γροιλανδίας μέσα στην θάλασσα του Labrador. Το ρεύμα του κόλπου του Baffin ρέει προς τα νότια και γίνεται το ρεύμα του Labrador, το οποίο ρέει μέσα στον Ατλαντικό, αυτό έχει μια χαμηλή αλατότητα και μια χαμηλή θερμοκρασία (μικρότερη από  $0^{\circ}C$ ). Ο όγκος ροής του ρεύματος του Labrador έχει εκτιμηθεί ότι είναι 5,6 sv. Αυτό μπορεί να συγκριθεί προς το ανατολικό Γροιλανδικό ρεύμα με μια ροή του 7,5 sv. Η διαφορά είναι στην εκτίμηση της εξωτερικής ροής καθώς βαθιά νερά μπαίνουν μέσα στον Ατλαντικό ωκεανό.

Η αρκτική θάλασσα διαιρείται σε δύο λεκάνες οι οποίες χωρίζονται από την κορυφή Lomonosov μεταξύ Γροιλανδίας και Σιβηρίας. Η Καναδική λεκάνη έχει ένα μέγιστο βάθος γύρω στα 3800 m, ενώ η Ευρωασιατική λεκάνη έχει ένα μέγιστο βάθος στα 420 m. Το όριο βάθους διαχωρισμού των δύο λεκανών είναι 1200 με 1400 m και η κύρια σύνδεση της Ευρωασιατικής λεκάνης με τον Ατλαντικό είναι δια μέσου της Γροιλανδίας και του Spitzbergen η οποία έχει ένα οριακό βάθος στα 1500 m. Ο Βερίγγειος πορθμός έχει ένα οριακό βάθος τα 50 m, έτσι η καναδική λεκάνη έχει μικρή ανταλλαγή με το βόρειο Ειρηνικό ωκεανό.

Η επιφανειακή κυκλοφορία του νερού στον Αρκτικό ωκεανό προέρχεται από τις ενδείξεις των πλοίων που πιάνουν τους πάγους. Η δεξιόστροφη περιστροφή στην καναδική λεκάνη οδηγεί έξω προς το ρεύμα της ανατολικής Γροιλανδίας. Αυτή αυξάνεται με την αριστερόστροφη περιστροφή της Ευρωασιατικής λεκάνης.

Οι μάζες του νερού στην Αρκτική θάλασσα περιλαμβάνουν το επιφανειακό ή Αρκτικό νερό (0 έως 200 m), το Ατλαντικό νερό (200 έως 900 m) και το νερό του πυθμένα (900 έως τον πυθμένα). Η πυκνότητα υπολογίζεται κυρίως από την αλατότητα.

Η επιφανειακή αλατότητα μεταβάλλεται από 28 μέχρι 34 και επηρεάζεται κυρίως από την τήξη και πήξη. Έτσι η θερμοκρασία, μένει κοντά στο σημείο ψύξης. Εποχιακές διαφορές περιορίζονται μόνο στα επιφανειακά

νερά. Το κάτω από την επιφάνεια νερό είναι ισόθερμο αλλά έχει μία ισχυρή θερμοκλίση μεταξύ 25 και 100m. Κάτω από 100 m η θερμοκρασία αυξάνει πολύ. Το κάτω από την επιφάνεια νερό πιστεύεται ότι διατηρείται με την οριζόντια μεταφορά από τα Ευρωασιατικά βράχια. Αυτή η διεργασία είναι παρόμοια προς τη ροή εκείνη που συμβαίνει σε μία εκβολή όπου το πόσιμο νερό (οφειλόμενο στην είσοδο των ποταμών από τη Σιβηρία) ρέει πάνω στο αλμυρό νερό (Ατλαντικό νερό). Το νερό της Καναδικής λεκάνης παρουσιάζει μια θερμοκλίση. Η θερμοκρασία φθάνει σε ένα μέγιστο από 75 έως 100 m. Αυτή η μέγιστη θερμοκρασία αποδόθηκε στο νερό της θάλασσας του Βερίγγειου ερχόμενο μέσα στο Αρκτικό δια μέσου του Βερίγγειου πορθμού. Αυτό είναι ένα από τα λίγα παραδείγματα του κάτω από την μεγίστου στη θερμοκρασία που υπάρχει στους ωκεανούς.

Το χαμηλότερο στρώμα του νερού από 200 έως 900 m είναι ένα μείγμα του υποβρυχίου Αρκτικού νερού και του Ατλαντικού νερού. Αυτό γίνεται βαθύ Αρκτικό νερό με  $\theta=0,4$  °C. Η κυκλοφορία αυτού του βαθιού νερού είναι αριστερόστροφη (αντίθετα προς τα επιφανειακά Αρκτικά νερά). Το Αρκτικό νερό του πυθμένα (900 m προς τον πυθμένα) συγκεντρώνει το 60% του όγκου της Αρκτικής θάλασσας. Αυτό έχει μία αλατότητα  $S=34,90$  έως  $34,99$  και μία ελάχιστη θερμοκρασία  $\theta= -0,8$  °C στην Ευρωασιατική λεκάνη και  $\theta= -0,4$  °C στην Καναδική λεκάνη. Αυτό το πυθμένιο νερό σχηματίζεται στη θάλασσα της Νορβηγίας. Η υψηλότερη θερμοκρασία του νερού στην Ευρωασιατική λεκάνη δεν μπορεί να μπει στην Καναδική λεκάνη λόγω της κορυφής του Lomonosov.

Τελευταία ο Ostlund και οι συνεργάτες του στο Μαϊάμι, προσδιόρισαν την ανταλλαγή του βαθιού νερού στην Αρκτική θάλασσα. Αυτοί βρήκαν ότι το βαθύ νερό ανανεώνεται στην Ευρωασιατική λεκάνη μεταξύ 10 και 100 χρόνων, ενώ είναι ηλικίας περίπου 700 χρόνων στην Καναδική λεκάνη. Λιγότερο από 10 έως 15% του βαθιού νερού προέρχεται από την ξηρά. Ο πολικός πάγος σκεπάζει το 70% της Αρκτικής θάλασσας. Ορισμένος πάγος λειώνει το καλοκαίρι και το πάχος του μειώνεται σε λίγα μέτρα. Ο πολικός πάγος δεν είναι πάντοτε ίδιος, αφού μέχρι και το ένα τρίτο μεταφέρεται μακριά από το Ατλαντικό-Γροιλανδικό ρεύμα. Παγοδέσμη καλύπτει περίπου το 25% της Αρκτικής επιφάνειας έξω από το πολικό στρώμα. Αυτό το στρώμα είναι λεπτότερο από το στρώμα του πάγου και έτσι μεταφέρεται μακρύτερα και προς τα νότια από το πολικό στρώμα του πάγου. Αυτός ο επιπλέον πάγος προξενεί προβλήματα στη ναυσιπλοΐα.

Ο πάγος που σχηματίζεται από την ξηρά έξω από την ακτή λέγεται **γρήγορος πάγος** (fast ice), αυτός διαλύεται και λιώνει μέσα στο καλοκαίρι. Τα παγόβουνα είναι κομμάτια από παγετώνες που έρχονται από τη δυτική ακτή της Γροιλανδίας. Αυτά είναι διαφορετικά από το κάλυμμα του πάγου και μπορούν να φθάσουν μέχρι τα 70 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και έως τα 500 m μήκος. Ο όγκος κάτω από το επίπεδο της θάλασσας μεταβάλλεται από 1:1 μέχρι 7:1 εξαρτώμενο από το σχήμα. Ο σωρός του παγόβουνου επηρεάζεται από τα ρεύματα του νερού, ενώ το στρώμα του πάγου επηρεάζεται από τους ανέμους. Το στρώμα του πάγου κινείται προς τα δεξιά στο βόρειο ημισφαίριο και οφείλεται στη δύναμη Coriolis. Αυτό ήταν γνωστό στους ναυτικούς από παλιά προτού αυτό σημειωθεί από τον Nansen ή προταθεί από τον Ekman.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> :ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ**

Εδώ θα εξετάσουμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υποθαλάσσιων ρευμάτων και θα εξετάσουμε τις παραμέτρους και τις συνθήκες οι οποίες δημιουργούνται μέσα σε αυτά από φυσικής και μηχανικής πλευράς καθώς επίσης τα προβλήματα που προκύπτουν από αυτή την γιγάντια φυσική τουρμπίνα και τις λύσεις που προτείνουμε έπειτα από μελέτες οι οποίες θα επεξηγηθούν και θα αποδειχθούν για την ακεραιότητα τους

Όπως μάθαμε μέχρι τώρα τα υποθαλάσσια ρεύματα χωρίζονται σε 2 μεγάλες και γενικευμένες κατηγορίες.

### **Τα επιφανειακού τύπου υποθαλάσσια ρεύματα**

Τα οποία αποτελούνται από τα :

1. Τα επιφανειακά υποθαλάσσια ρεύματα
2. Τα μεσαίου βάρους υποθαλάσσια ρεύματα

### **Τα πυθμενικά υποθαλάσσια ρεύματα**

Τα οποία αποτελούνται από τα :

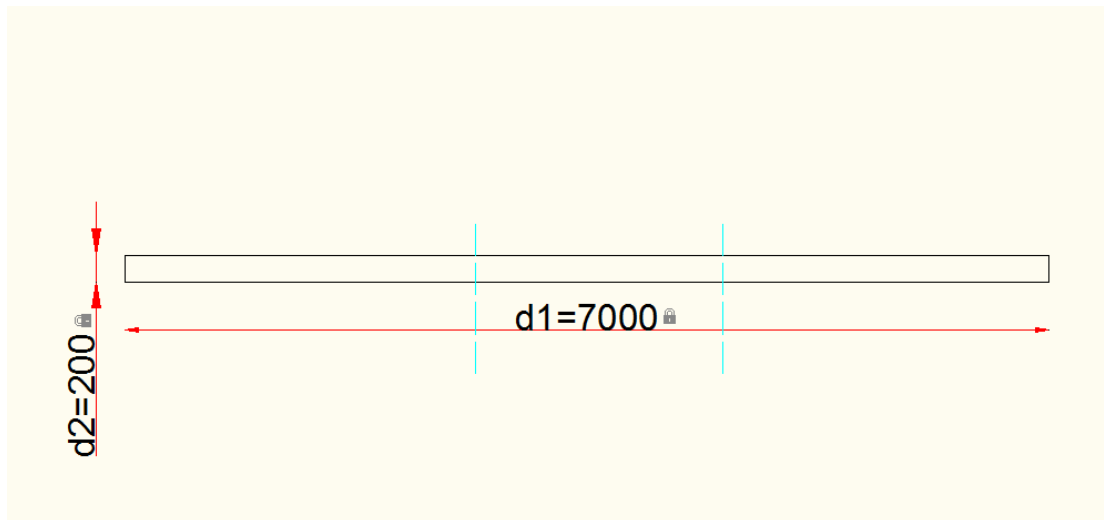
1. Τα Βαθιά υποθαλάσσια ρεύματα
2. Τα πυθμενικά υποθαλάσσια ρεύματα

Πρέπει να αναφέρουμε ότι τα πυθμενικά υποθαλάσσια ρεύματα όπως και τα επιφανειακά υποθαλάσσια ρεύματα συμπεριφέρονται σαν ένα είδος υδραυλικού σωλήνα ο οποίος έχει διατομή την διατομή του υποθαλάσσιου ρεύματος μείον μια μικρή απόσταση στα άκρα του όπου απαντάμε στροβιλισμούς.

Οι ταχύτητες των υποθαλάσσιων ρευμάτων διαφέρουν από υποθαλάσσιο ρεύμα σε υποθαλάσσιο ρεύμα μερικές από αυτές τις ταχύτητες αναφέρονται στον κατώθι πίνακα συνοδευόμενα από τις ανάλογες πηγές άντλησης τους.

Βιβλιογραφία	Ταχύτητα ανάλογα με την πηγή	Αποτέλεσμα σε m/s
Coble, Charles R., Elaine G. Murray, and Dale R. Rice. <i>Earth Science</i> . 3rd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1987: 256-257.	Το ρεύμα του κόλπου κινείται με ταχύτητες μεγαλύτερες των 1,5 μέτρων /sec	1,5 m/s
Adams, John, et al. "Ocean Currents." <i>Microsoft Encarta</i> . 2 vols. CD-ROM. Redmond: Microsoft, 1999. 191.	Ενώ οι ταχύτητες των επιφανειακών ρευμάτων φτάνουν τα 250 cm/sec (98 in/sec, ή 5.6 mph) η μέγιστη ταχύτητα του πυθμενικού ρεύματος του κόλπου κυμαίνεται από 2 to 10 cm/sec (0.8 to 4 in/sec) ή και λιγότερο	2.5 m/s (surface) 0.02–0.10m/s (deep water)
Gaskell, T F. <i>The Gulf Stream</i> . New York: John Day Company, 1973. 95.	"στο στενότερο σημείο των Florida Straits, το νερό συγκεντρώνεται και δημιουργεί διατομή 70 km πλάτους and 200 m βάθους και κινείται με ταχύτητα μεγαλύτερη του 1 m/s."	1 m/s
Gross, M.G. <i>Oceanography: A View of the Earth</i> . 3rd ed. New York: Prentice Hall, 1982: 173, 177.	"το Meanders κινείται αργά βορειοανατολικά με το ρεύμα του κόλπου με ταχύτητα από 8 έως 25 εκατοστά το δευτερόλεπτο (7 με 22 χιλιόμετρα την ημέρα)."	0.08–0.25 m/s
Gross, M G. <i>Oceanography</i> . 6th ed. Columbus: Merrill, 1990: 74-75.	"Τα σχετικά στενά πηδακοειδής ρεύματα του κόλπου και το Kuroshio της Ιαπωνίας είναι τα μεγαλύτερα ρεύματα στον κόσμο και έχουν ταχύτητες μεταξύ 40 και 120 km/day (25 με 75 mi/day)."	0.4–1.3 m/s

Από τα άνω δεδομένα λαμβάνονται υπόψη τη διατομή των Florida straits την σχεδιάσαμε ως φαίνεται παρακάτω



$$\text{Υπολογίζοντας } A=200*70000 \Rightarrow A=14000000 \text{ m}^2$$

$$\text{Και η παροχή θα είναι } Q=A*U \Rightarrow Q=14000000*1 \Rightarrow Q=14000000 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Πρώτο χαρακτηριστικό των πυθμενικών υποθαλάσσιων ρευμάτων είναι ότι έχουν μικρότερη ταχύτητα από αυτήν των επιφανειακών υποθαλάσσιων ρευμάτων. Δεύτερο χαρακτηριστικό είναι ότι λόγω βάθους παρουσιάζουν μεγάλη ροπή

Έχουμε αναφέρει παραπάνω το πώς δημιουργούνται τα πυθμενικά υποθαλάσσια ρεύματα (λόγο αλλαγής πυκνότητας) παρατηρήσαμε λοιπόν ότι η μάζα άλμης που καθιζάνει είναι στην πραγματικότητα ένα συνονθύλευμα άλατος και νερού όπου το νερό στην προκειμένη περίπτωση είναι υπερυγρό.

### **3.1: ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΥΠΕΡΥΓΡΑ;**

Τα υπερυγρά συμπεριφέρονται , όπως οι υπεραγωγοί και συνδέονται με τη συμπεριφορά των υλικών στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Τα υπερυγρά μπορούν μόνο παρατηρηθούν σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες από τους υπεραγωγούς ,το ήλιο-4 δεν επιδεικνύει την υπερρευστώδη συμπεριφορά του μέχρι σχεδόν κάτω από 2K (Kelvin). και αυτές οι θερμοκρασίες δεν είναι εύκολο να επιτευχθούν.

Το νερό στην δική μας περίπτωση όπως θα δούμε παρακάτω έχει σε σχέση με τα άλλα στοιχεία σχετικά υψηλή θερμοκρασία στην οποία συμπεριφέρεται ως υπερυγρό και παρουσιάζεται ως ένα από τα συστατικά κατασκευής στις κλίμακες κελσίου (Celsius) και κέλβιν (Kelvin). Παρακάτω παρουσιάζουμε μερικά ενδεικτικά στοιχεία και το σημείο όπου συμπεριφέρονται ως υπερυγρά

Υψηλή και η Κατάσταση της	Σημείο ορισμού σε βαθμούς κέλβιν (περιθώριο)	Σημείο ορισμού σε κελσίου (περιθώριο)
Ατμός πίεση -θερμοκρασία Η σχέση του <a href="#">helium-3</a> (από την εξίσωση)	(0.65 έως 3.2)	(-272.50 έως -269.95)
Ατμός πίεση -θερμοκρασία Η σχέση του <a href="#">helium-4</a> κάτω από το σημείο (Λ) (από εξίσωση)	(1.25 έως 2.1768)	(-271.90 έως -270.9732)
Ατμός πίεση -θερμοκρασία Η σχέση του <a href="#">helium-4</a> πάνω από το σημείο (Λ) (από εξίσωση)	(2.1768 έως 5.0)	(-270.9732 έως -268.15)
Ατμός πίεση -θερμοκρασία Η σχέση του <a href="#">helium</a> (από την εξίσωση)	(3 έως 5)	(-270.15 έως -268.15)
Τριπλό σημείο του <a href="#">hydrogen</a>	13.8033	-259.3467
Τριπλό σημείο του <a href="#">neon</a>	24.5561	-248.5939
Τριπλό σημείο του <a href="#">oxygen</a>	54.3584	-218.7916
Τριπλό σημείο του <a href="#">argon</a>	83.8058	-189.3442
Τριπλό σημείο του <a href="#">mercury</a>	234.3156	-38.8344
Τριπλό σημείο του <a href="#">water</a> <sup>1</sup>	273.16	0.01

Σημείο τήξης του <a href="#">gallium</a>	302.9146	29.7646
Σημείο πήξης του <a href="#">indium</a>	429.7485	156.5985
Σημείο πήξης του <a href="#">tin</a>	505.078	231.928
Σημείο πήξης του <a href="#">zinc</a>	692.677	419.527
Σημείο πήξης του <a href="#">aluminum</a>	933.473	660.323
Σημείο πήξης του <a href="#">silver</a>	1234.93	961.78
Σημείο πήξης του <a href="#">gold</a>	1337.33	1064.18
Σημείο πήξης του <a href="#">copper</a>	1357.77	1084.62

Όπως πολύ εύκολα παρατηρούμε οι επιφανειακές συνθήκες των υδάτινων μαζών στις βόρειες περιοχές που δημιουργούνται τα υποθαλάσσια ρεύματα ευνοούν την δημιουργία υπερυγρότητας στο νερό και την επίτευξη της θερμοκρασίας ώστε το νερό να επιτύχει το **τριπλό του σημείου**

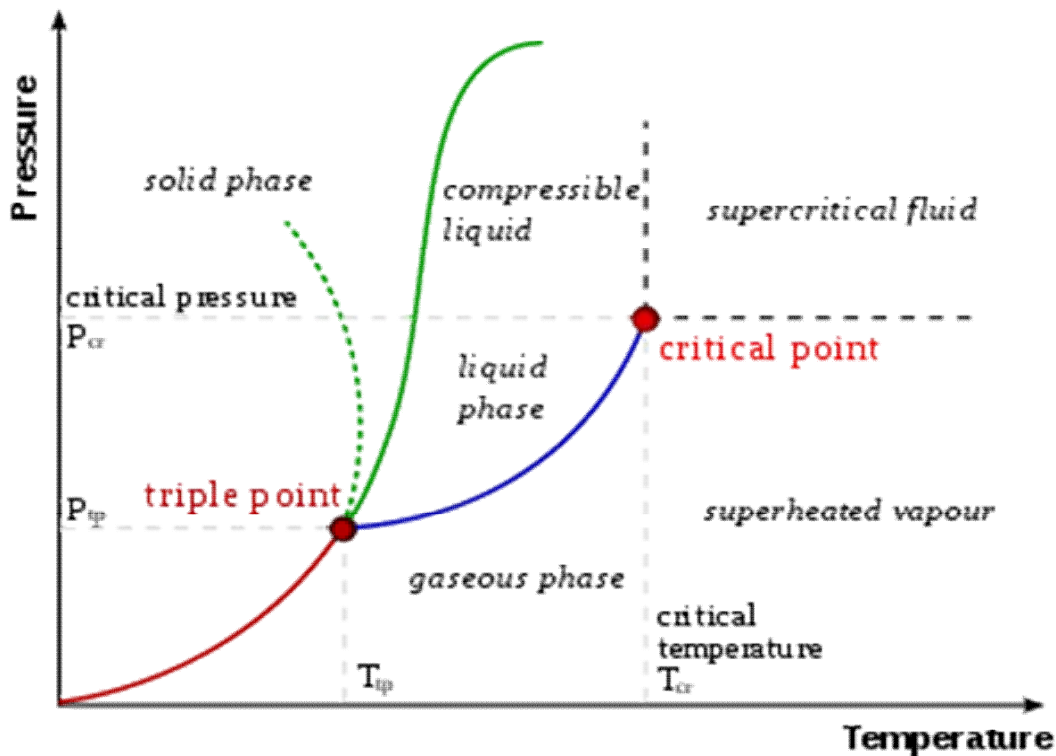
### **3.2:ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΤΡΙΠΛΟ ΣΗΜΕΙΟ;**

Στην θερμοδυναμική το τριπλό σημείο μιας ουσίας είναι η συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση στις οποίες και οι 3 φάσεις (για παράδειγμα αέριο, ρευστό και στερεό) του στερεού συνυπάρχουν σε μια θερμοδυναμική ισορροπία. Για παράδειγμα το τριπλό σημείο του υδράργυρου προκύπτει στους  $-38.8344\text{ }^{\circ}\text{C}$  και στην πίεση των  $0,2\text{ mPa}$ .

Άξιον αναφοράς είναι ότι μεταξύ του τριπλού σημείου στερεού υγρού και αέριου μπορούν να υπάρξουν περισσότερες από μια στερεές φάσεις, για ουσίες με πολυμορφικότητα. Για παράδειγμα το Ήλιο-4 είναι ιδιαίτερη περίπτωση γιατί αντιπροσωπεύει ένα τριπλό σημείο το οποίο περιέχει 2 υγρές φάσεις [το σημείο  $\Lambda$  (λάμδα) ] και γενικά για ένα σύστημα με  $p$  πιθανές φάσεις ισχύει ότι

$$\binom{p}{3} = \frac{p(p-1)(p-2)}{6} \quad \text{τριπλά σημεία}$$

Το τριπλό σημείο του νερού χρησιμοποιείται για να ορίσει την μονάδα μέτρησης Kelvin στο σύστημα SI . το τριπλό σημείο του νερού είναι ακριβής ορισμός παρά μια μετρώμενη ποσότητα και το τυπικό διάγραμμα φάσεων του είναι το κατώθι



Σχήμα 3.2.1 Τυπικό διάγραμμα φάσεων

Στο ποίο μπορούμε να παρατηρήσουμε την πράσινη διακεκομμένη γραμμή η οποία συμβολίζει την ανώμαλη συμπεριφορά του νερού.

Ο μοναδικός συνδυασμός πίεσης και θερμοκρασίας όπου το νερό σε μορφή πάγου και ατμού μπορεί να συνυπάρξει σε ισορροπία είναι ακριβώς στους 273,16 K (0,01 °C) και πίεση των 611,73 Pascal ή 6,1173 milibar (0.0060373057 atm). Σε αυτό το σημείο είναι δυνατόν να αλλάξουμε όλη την σύσταση του νερού σε στερεό υγρό ή αέριο με σημειακές μεταβολές στην πίεση και στην θερμοκρασία. Σημειωτέον ότι και σε πιέσεις πολύ μεγαλύτερες των 611,73 Pascals το νερό έχει την δυνατότητα να επιτύχει το τριπλό σημείο.

## ΕΠΕΞΗΓΗΜΑΤΙΚΑ

Όταν το νερό έχει αγγίξει το τριπλό σημείο του και λόγω θερμοκρασιών έχει την τάση να μετατραπεί σε στερεό λίγο πριν επιτύχει την στερεότητα και αφού περάσει το σημείο όπου θεωρείται υγρό δημιουργεί μια κρυσταλλική μορφή πάγου η οποία είναι πυκνότερη από το νερό (η άλμη που είδαμε στην αρχή) για την περίπτωση του θαλασσινού νερού η οποία καθιζάνει.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> :ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### 4.1:ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ

Κατά την θεωρητική επεξεργασία των δεδομένων μας και την ανάλυση τους με στόχο την επίτευξη αποτελέσματος χρειάστηκε να λάβουμε υπόψη μας τους κατασκευαστικούς παράγοντες πρώτον της συσκευής «**Τρίτων**» και κατά δεύτερον της δεξαμενής η οποία θα φιλοξενήσει τον «**Τρίτων**» .

Αρχικά πρέπει να επιλεγεί το υλικό. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήσαμε γαλβανισμένη λαμαρίνα λόγο κόστους σε συνάρτηση με την αντοχή της. Τα χαρακτηριστικά της είναι τα εξής

1. Μεγάλο κλάσμα κόστος/αντοχή
2. Πάχος ~ 2 χιλιοστά
3. Αντίσταση στην οξείδωση και στις μεταβολές της θερμοκρασίας

#### Τεχνικά χαρακτηριστικά δεξαμενής

1. Οι πλευρές λοιπόν της δεξαμενής μας κατασκευάστηκαν από λαμαρίνα εκτός της άνω πλευράς για επισκευαστικούς λόγους και της «μπροστινής πλευράς για λόγους ευκρίνειας και καλλωπιστικούς λόγους. Η «μπροστινή» πλευρά είναι με τζάμι 1 εκατοστού και κατάλληλα επεξεργασμένο ώστε να αντέξει στην πίεση του νερού χωρίς να παρουσιάσει κάποιο πρόβλημα.
2. Στο κάτω μέρος της δεξαμενής τοποθετήθηκε μια βαλβίδα εκκένωσης η οποία πραγματοποιεί την εκκένωση της δεξαμενής
3. Η στήριξη της δεξαμενής γίνεται πάνω σε πλαισιωτό μεταλλικό σκελετό από σίδηρο με στήριξη σε 4 πόδια
4. Η κόλληση των πλευρών της λαμαρίνας έγινε με ηλεκτροκόλληση και η κόλληση των υάλινων επιφανειών επάνω στην λαμαρίνα έγινε με σιλικόνη κατάλληλη για χρήση σε υάλινες και σε μεταλλικές περιοχές , υδατοστεγανή και ανθεκτική σε συνθήκες μόνιμης υγρασίας
5. Οι διαστάσεις της δεξαμενής είναι πλάτος: 0,30m

Μήκος :1,20m

Ύψος :0,60

Άρα ο συνολικός όγκος είναι :  $V=0,30*1,20*0,60=0,216 \text{ m}^3$

## **4.2:ΚΑΤΑΠΙΟΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ**

Αφού το κατασκευαστικό στάδιο της δεξαμενής τελείωσε και πέρασε ένα διάστημα 18 ημερών για να αποκτήσουν βέλτιστες ιδιότητες «δέσουν» όλα τα υλικά γεμίσαμε την δεξαμενή με νερό.

Παρατήρηση 1: η δεξαμενή συγκρατούσε το νερό χωρίς καμία αστοχία, παρόλο που οι πλευρές της λαμαρίνας παραμορφώθηκαν ελαστικά , η παραμόρφωση έγινε αντιληπτή όχι με το μάτι (λόγο του μικρού μεγέθους της ) αλλά με τον ήχο.

## **4.3:ΕΠΙΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΕ ΚΡΥΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ**

Η δεξαμενή τοποθετήθηκε σε ανοικτό χώρο κατά την διάρκεια του χειμώνα και γίνονταν σε αυτήν καθημερινές παρατηρήσεις εκ των οποίων οι πιο αξιοσημείωτες είναι οι εξής:

**Παρατήρηση 1<sup>η</sup>** : τις 45 πρώτες ημέρες δεν παρατηρήθηκε καμία αστοχία όσον αναφορά το εξωτερικό της δεξαμενής αλλά και το εσωτερικό της.

**Παρατήρηση 2<sup>η</sup>** : την 46 ημέρα παρατηρήθηκε επιφανειακή διάβρωση στον σκελετό που εκτελεί τα καθήκοντα της βάσης στήριξης. Δεν έγινε καμία ενέργεια επί του θέματος τούτου

**Παρατήρηση 3<sup>η</sup>** : την 54 ημέρα παρατηρήθηκε δημιουργία μεγάλων μαζών αλάτων στο εσωτερικό της δεξαμενής.

*\*σημείωση δημιουργία αλάτων είχε ξεκινήσει νωρίτερα αλλά εκείνη την ημέρα ολοκληρώθηκε ( κάλυψε ) την εσωτερική επιφάνεια της δεξαμενής*



#### **4.4:ΕΠΙΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΕ ΘΕΡΜΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ**

Αφού η δεξαμενή πέρασε το «τεστ» των ψυχρών συνθηκών ήρθε η σειρά για την επιβολή της σε μεγάλες θερμοκρασίες και ξηρασία.

Από την επιβολή της σε μεγάλες σχετικά θερμοκρασίες παρατηρήθηκαν τα εξής.

**Παρατήρηση 1<sup>η</sup>** : το νερό εξατμίζεται με μεγαλύτερο ρυθμό , λογικό αφού οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται μέσα στην δεξαμενή είναι πολύ μεγάλες

**Παρατήρηση 2<sup>η</sup>** : στα σημεία των κολλήσεων άρχισαν να παρουσιάζονται αστοχίες, «πληγές», οι οποίες οφείλονταν στην αντίδραση των υψηλών θερμοκρασιών και του νερού

**Παρατήρηση 3<sup>η</sup>** : στην πλευρά του τζαμιού παρατηρήθηκε αστοχία του μονωτικού υλικού «σιλικόνης» με αποτέλεσμα την παρουσίαση στάγδων στο πλαϊνό μέρος της δεξαμενής «δάκρυσμα»

Έπειτα από τις ακόλουθες παρατηρήσεις ξεκινήσαμε την επιβολή μέτρων για την αντιμετώπιση και διόρθωση των αστοχιών.

Μέτρα που λήφθηκαν.

1. Καθάρισμα της δεξαμενής και ανακούφιση αυτής από τα άλατα, η διαδικασία αυτή έγινε με ειδικά προϊόντα καθαρισμού αλάτων και σαπούνι.
2. Υαλοχάρτισμα της δεξαμενής στην εσωτερική και εξωτερική της επιφάνεια η εν τούτο πράξη έγινε για την δημιουργία επιφανειών τριβής
3. Επίχριση των εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών με ειδικό αστάρι «Thinner» το οποίο αντιδρά με το γαλβανιζέ και δημιουργεί κατάλληλη επιφάνεια για την εφαρμογή της τελικής επίχρισης
4. Επίχριση με εποξικό χρώμα κατάλληλο για πόσιμο νερό σε 3φάσεις «3 χέρια» η εφαρμογή του χρώματος σε φάσεις έγινε για την δημιουργία προστατευτικού στρώματος στην δεξαμενή από το νερό , από τα άλατα , από τους μικροοργανισμούς και την προστασία των τοιχωμάτων της δεξαμενής από τον χρόνο. Στην παρακάτω

φωτογραφία φαίνεται η εργασία της επίχρισης της βάσης της δεξαμενής με εποξικό χρώμα και παρακάτω η τελική μορφή της βάσης με φόντο την δεξαμενή σε πλάγια θέση



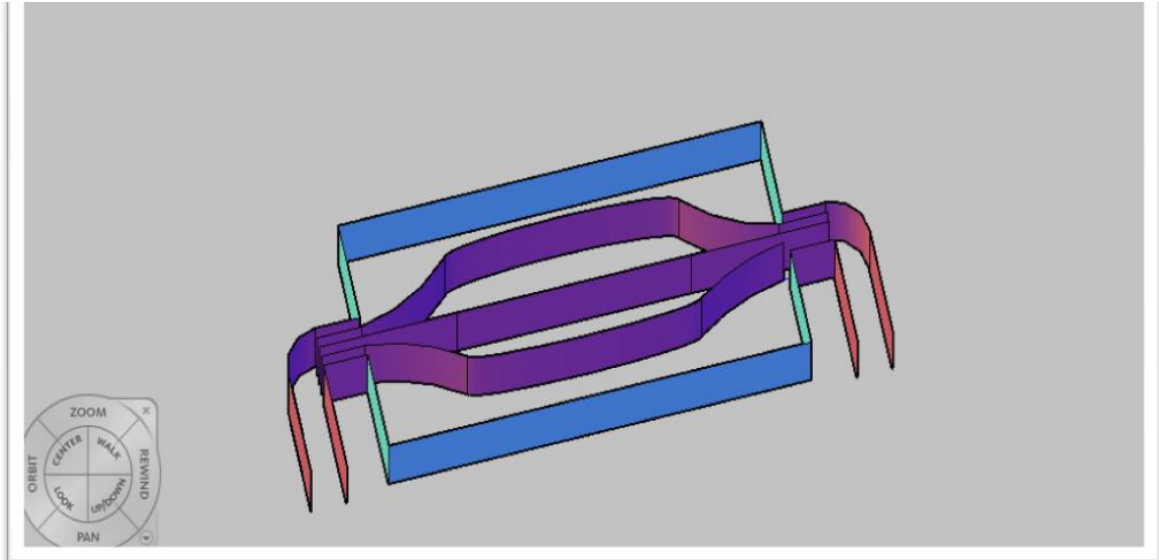
**Σχήμα 4.1**



**Σχήμα 4.2**

**Παρατήρηση:** Το μειονέκτημα της 4<sup>ης</sup> ενέργειας ήταν ότι το εποξικό χρώμα έδρασε καταλυτικά στην επέκταση της αστοχίας της σιλικόνης. Οπότε αφού το εποξικό χρώμα έλαβε τις βέλτιστες ιδιότητες του μετά την εφαρμογή του

2 ημέρες, χρησιμοποιήσαμε ενίσχυση με σιλικόνη πάλι υδατοστεγανή, πάλι κατάλληλη για έκθεση επίοριστου στην υγρασία. Παρακάτω φαίνεται η δεξαμενή (σε σχήμα 3<sup>ov</sup> διαστάσεων ) και η ιδανική ροή του νερού καθώς έρχεται από την αντλία και καθώς εξέρχεται από την δεξαμενή προς την αντλία



**Σχήμα 4.2.3** Σχηματική απεικόνιση της ροής του νερού στη δεξαμενή

## **4.5:ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ (ΜΙΑ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΜΑΣ)**

Επειδή κρίναμε ορθό, μιας και που η κανονική συσκευή θα έχει ένα ενσωματωμένο πλανητικό σύστημα γραναζιών επάνω στην εξωτερική τουρμπίνα, να τοποθετήσουμε και στο μοντέλο παρουσίασης ένα περίπου πανομοιότυπο πλανητικό σύστημα το οποίο θα μας επιτρέψει την αύξηση των στροφών που θα έχει το δυναμό μας , την αύξηση της ροπής που θα δεχθεί το δυναμό (κατ'επέκταση αυτό σημαίνει ένα ισχυρότερο δυναμό το οποίο θα περιστρέφεται με τις ίδιες στροφές αλλά θα αποδίδει περισσότερο ρεύμα) και την μείωση των δυνάμεων που θα ωθήσουν σε έκκεντρη κίνηση το σύστημα μας . για την επίτευξη λοιπόν του πλανητικού συστήματος και την παραγωγή ρεύματος δημιουργήσαμε την κάτωθι κατασκευή

Για την κατασκευή του μοντέλου παρουσίασης χρειαστήκαμε 1 ηλεκτρολογικό κουτί μήκους 19cm ύψους 24cm και βάθους 10cm το

οποίο θα φιλοξενήσει το όλο μηχανικό σύστημα προστατεύοντας το από διάφορους εξωτερικούς παράγοντες (σκόνη συνθήκες ψύχους , ζέστης, ανθρώπινη περιέργεια, ξηρασία και υγρασία).

#### **4.6:ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΑΝΗΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ**

Επειδή η κατασκευή ενός πλανητικού συστήματος «εσωτερικού» στις υπάρχουσες διαστάσεις ήταν δύσκολη και μόνο κατόπιν παραγγελίας με πολύ μεγάλο κόστος , καταλήξαμε στην κατασκευή ενός «εξωτερικού» πλανητικού συστήματος το οποίο θα αποτελείται από μια σειρά 4<sup>ov</sup> γραναζιών τα οποία παίρνουν την κίνηση από την τουρμπίνα την πολλαπλασιάζουν και την δίνουν στο δυναμό μας.

##### **Διαστασιολόγηση γραναζιών**

Για ευκολία στην χρήση, σε μελλοντικές αναφορές και σε επισκευές κατηγοριοποιήσαμε τα γρανάζια (όπως και όλα τα εξαρτήματα της συσκευής –μοντέλου) με νούμερα και γράμματα ,ανάλογα με την χρήση τους και την συνδεσμολογία την οποία υπόκειται το κάθε ένα εξάρτημα.

1A D Εσωτερική = 8mm

D Γραναζιού = 54mm η εξωτερική

και εσωτερική διάμετρος =51mm

1B D Εσωτερική = 5mm

D Γραναζιού = 44mm η εξωτερική

Και εσωτερική διάμετρος =41mm

Μήκος διαδρομής = 25 mm

1C D Εσωτερική = 6mm

D Εξωτερική = 19mm σημείωση: το σπείρωμα είναι υπό γωνία



Για την κίνηση των γραναζιών της τουρμπίνας και την γενική στήριξη χρησιμοποιήθηκαν ντίζες των 8mm

6mm

5mm

Εκ των οποίων η ντίζα των 8mm περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της και μεταφέρει την κίνηση από την τουρμπίνα στο γρανάζι 1 Α .



**Σχήμα 4.5.1**

Οι 2 ντίζες των 5mm είναι σταθερές αλλά επιτρέπουν την σταθερή κίνηση των γραναζιών με ελάχιστες έως και μηδαμινές απώλειες λόγω τριβών, αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή 2 παξιμαδιών 1 από κάθε πλευρά του γραναζιού τα οποία έχουν κολληθεί με ειδική πάστα κόλλησης για μέταλλα φορτίου  $180\text{Kg/cm}^2$  και σχεδόν εφάπτονται πάνω στο γρανάζι χωρίς να εμποδίζουν ή να δυσκολεύουν την κίνηση του αλλά και χωρίς να επιτρέπουν την έκκεντρη κίνηση αυτού.

Η ντίζα των 6mm είναι ακίνητη και φιλοξενεί το κεντρικό γρανάζι «Ήλιο» του πλανητικού μας συστήματος, το οποίο πάλι κινείται με τις ελάχιστες τριβές και μεταδίδει την κίνηση στο δυναμό μας.

1. Όλες οι ντίζες πριν εγκατασταθούν δέχθηκαν επάλειψη από γράσο λιθίου , το οποίο μόλις ζεσταθεί διευκολύνει την κίνηση .
2. Τα γρανάζια επαλείφθηκαν και αυτά με γράσο λιθίου όπως οι ντίζες , με την διαφορά ότι το στρώμα γράσου στα γρανάζια είναι κατά πολύ λεπτότερο, στην συνέχεια επήλθε 2<sup>η</sup> στρώση με ειδικό λιπαντικό γραναζιών.
3. Όλες οι κινητές ντίζες στο ένα άκρο τους « ακουμπάνε » σε « φωλιές » αυτό γίνεται για να μειωθούν οι απώλειες στην ταχύτητα περιστροφής λόγω βάρους του ίδιου σώματος. Στην κατώθι φωτογραφία μπορούμε να δούμε τις « φωλιές »



**Σχήμα 4.5.2**

Στην κατώθι φωτογραφία μπορούμε να δούμε την βασική δομή του εξωτερικού πλανητικού συστήματος . εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι το

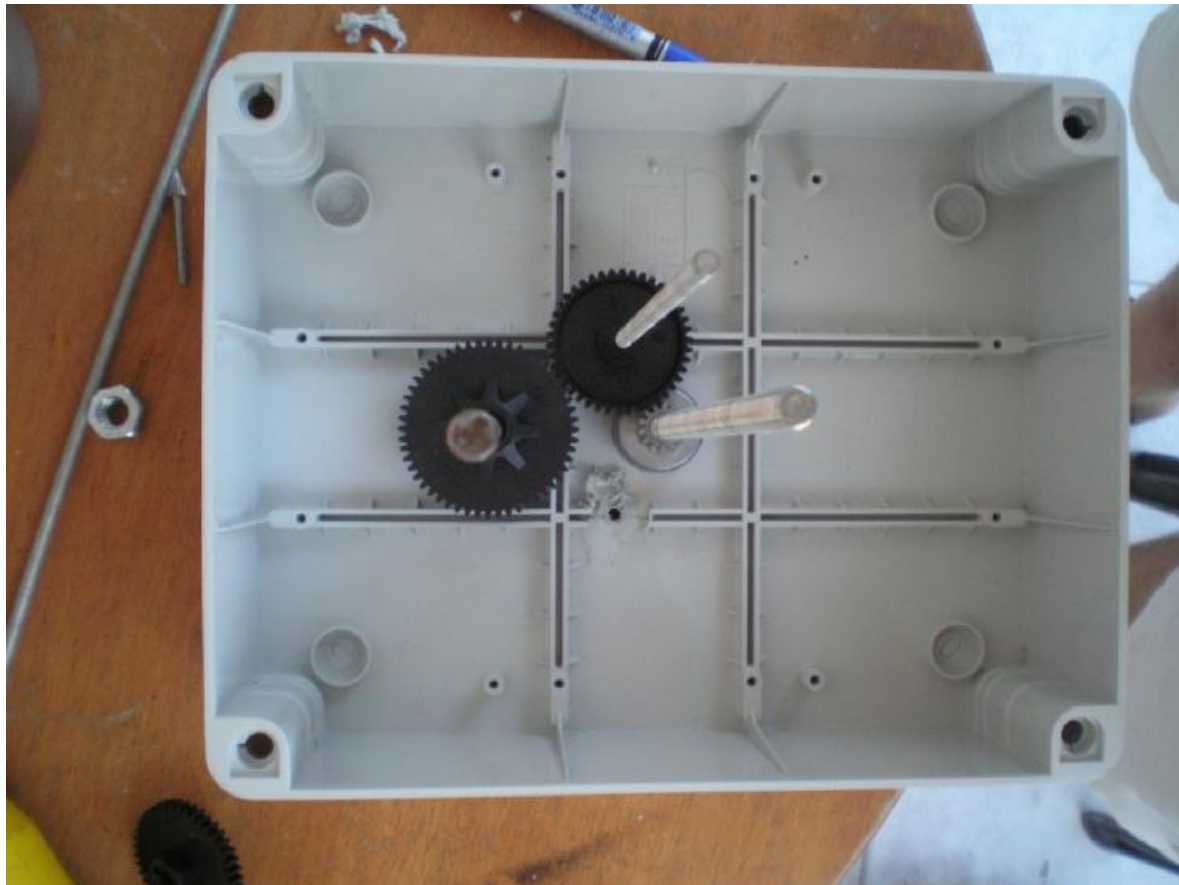
γρανάζι « Ήλιος » αντικαταστάθηκε από μικρότερο γρανάζι γωνιακής μετάδοσης κατασκευασμένο από ατσάλι και ότι στην άκρη του δυναμό προσθέσαμε άλλο ένα γρανάζι γωνιακής μετάδοσης. Η παραπάνω ενέργεια έγινε για να λυθεί εύκολα το πρόβλημα της θέσης του δυναμό και της όλης μετάδοσης της κίνησης



**Σχήμα 4.5.3** Βασική δομή πλανητικού συστήματος

Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνεται μια βασική δομή του πλανητικού συστήματος που δημιουργήσαμε. Παρακάτω μπορούμε να δούμε την διάταξη των γραναζιών μέσα στο κουτί





**Σχήμα 4.5.4** Διάταξη γραναζιών

Κατά την εκκίνηση των πειραμάτων μας κληθήκαμε να λύσουμε το πρόβλημα της διαρροής του νερού από την τρύπα που είχαμε δημιουργήσει στην δεξαμενή για την ντίζα και του κιβωτίου που περιέχει τα γρανάζια και το δυναμό

Στην ντίζα των 8mm η οποία συνδέει τα γρανάζια τα οποία πρέπει να είναι στεγανά με τα φτερά τα οποία είναι μέσα στο νερό επιβλήθηκε ειδική μόνωση με μονωτικό υλικό (κορδόνι) και ειδική κόλλα για αυτό το οποίο για καλύτερα αποτελέσματα περάστηκε με φορά όμοια με την φορά των φτερών.

#### **4.7: ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ**

Η συσκευή θα περιέχει μέσα της τα ακόλουθα εξαρτήματα , ώστε να μπορούμε να επιτύχουμε μια μέγιστη απόδοση και ένα βραχυπρόθεσμο κέρδος το οποίο θα επιτευχθεί από τους ακόλουθους παράγοντες.

1. Μακροζωία της συσκευής
2. Οικονομικότερη επισκευή, αναλογιζόμενοι το μέγεθος του κόστους που έχει η συντήρηση της.
3. Συνεχής λειτουργία της συσκευής η οποία θα κάνει απόσβεση του κόστους της με κάθε ώρα λειτουργίας

Τα εξαρτήματα που θα αναφέρουμε θα περιλαμβάνονται μέσα στην συσκευή Τρίτων .

1. **Πλανητικό σύστημα γραναζιών** ώστε να πολλαπλασιάσει τις εισερχόμενες στροφές και έτσι να επιτύχουμε μεγαλύτερη απόδοση ρεύματος
2. **Μετατροπέας ρεύματος** από συνεχές σε εναλλασσόμενο , οπότε να μειώσουμε τις ενεργειακές απώλειες που θα δημιουργηθούν λόγω των μεγάλων αποστάσεων (συσκευής με ένα κεντρικό σταθμό) στο ελάχιστο δυνατό
3. **Τουρμπινοκαλώδιο** το οποίο θα διέρχεται σε όλο το μήκος της συσκευής . ο σκοπός αυτού είναι να παράγει μια μικρή ποσότητα ρεύματος ώστε να τροφοδοτεί τις εσωτερικές λειτουργίες της συσκευής , οι οποίες θα αναφερθούν παρακάτω
4. **Δεξαμενές ύδατος** οι οποίες θα μπορούν να γεμίζουν και να αδειάζουν με νερό . αυτή η λειτουργία αποσκοπεί στην επίτευξη της διαδικασίας της βύθισης και της ανέλκυσης της συσκευής Τρίτων στον ωκεανό
5. **4 «καρούλια»** με ατσάλινο καλώδιο μεγάλου μήκους . σημειωτέον ότι τα ατσάλινα καλώδια θα καταλήγουν στις αγκυρώσεις της συσκευής οι οποίες θα αναφερθούν παρακάτω
6. **Είσοδος στο εσωτερικό** της συσκευής μέσω μιας «μπουκαπόρτας» στο φρεάτιο στεγανοποίησης ώστε η συσκευή να είναι επισκέψιμη και να μπορεί να γίνει εφικτή η επί τόπου επισκευή.
7. **Πρωτεύον ηλεκτρονικό σύστημα έλεγχου** καλής λειτουργίας της συσκευής.
8. **Δευτερεύον ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου** καλής λειτουργίας της συσκευής, το οποίο θα αναφέρει τυχόν βλάβες στο πρωτεύον σύστημα ελέγχου
9. **Ένα πρωτεύον σύστημα συστοιχίας μπαταριών** το οποίο θα αποθηκεύει ρεύμα για τις λειτουργίες ανάδυσης και κατάδυσης

- 10.Ένα δευτερεύον σύστημα συστοιχίας μπαταριών** το οποίο θα αποθηκεύει ρεύμα για τις εσωτερικές λειτουργίες της συσκευής , εκτός της λειτουργίας ανάδυσης και κατάδυσης
- 11.Μετατροπέας ρεύματος από συνεχές σε εναλλασσόμενο** για το τουρμπινοκαλώδιο
- 12. Αντλίες** οι οποίες θα γεμίζουν και θα αδειάζουν τις δεξαμενές με νερό ώστε να μπορούμε να επιτύχουμε ανάδυση και κατάδυση τις συσκευής τρίτων εάν όχι έως την επιφάνεια του υδάτινου ορίζοντα τουλάχιστον μέχρι ενός υψόμετρου το οποίο θα καθιστά εφικτή την επίσκεψη στην συσκευή για συντήρηση και επισκευές

#### **4.8:ΚΑΤΟΨΕΙΣ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑ** **ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑΣ ΤΡΙΤΩΝΑ**

Ακολουθούν κατόψεις,μοντέλα και σχέδια λειτουργίας του Τρίτωνα :

## **4.9: ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ** **ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΤΡΙΤΩΝΑ**

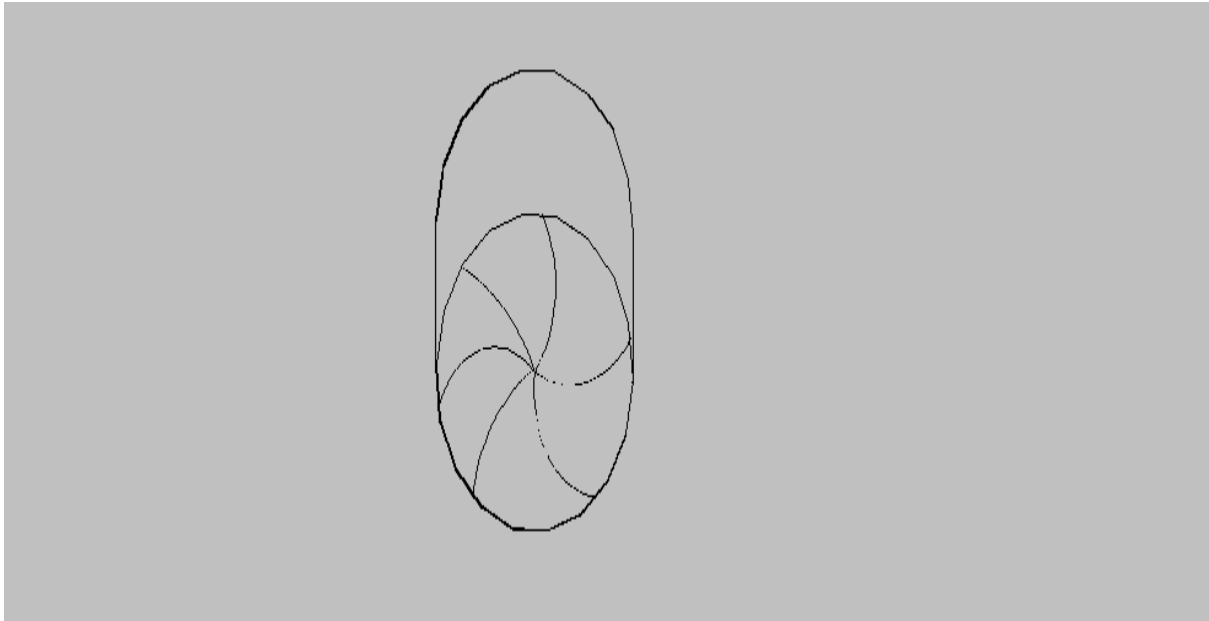
Η τροφοδοσία των εσωτερικών συστημάτων του Τρίτωνα μπορεί να επιτευχθεί με ποικίλους τρόπους. Παρακάτω παραθέτουμε μερικούς από τους τρόπους που θεωρούμε πιο εύκολους να επιτευχθούν

### **ΤΡΟΠΟΣ 1**

Η εσωτερική λειτουργία των συστημάτων του τρίτωνα θα επιτυγχάνεται με την εισαγωγή ενός ηλεκτρονικού συστήματος (διανομέας) το οποίο θα διοχετεύει ένα ποσοστό από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στην 2<sup>η</sup> συστοιχία μπαταριών. Το σύστημα θα πρέπει να μπορεί να αναγνωρίζει την στιγμή που η 2<sup>η</sup> συστοιχία μπαταριών θα είναι πλήρως φορτισμένη και εκείνη την στιγμή θα πρέπει να μπορεί να μεταφέρει όλο το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας στην 1<sup>η</sup> συστοιχία μπαταριών . αυτή η διαδικασία θα πρέπει να μπορεί να αναστρέφεται σε περίπτωση που η 2<sup>η</sup> συστοιχία μπαταριών αποφορτιστεί

### **ΤΡΟΠΟΣ 2**

Η εσωτερική λειτουργία των συστημάτων του τρίτωνα θα επιτυγχάνεται με την εισαγωγή ενός τουρμπινοκαλώδιου κατά μήκος της συσκευής το τουρμπινοκαλώδιο θα περιέχει έλικες τοποθετημένους στο μήκος του οι οποίοι θα κινούνται πάλι με την βοήθεια των υποθαλάσσιων ρευμάτων θα τροφοδοτούν το δευτερεύον σύστημα συστοιχίας μπαταριών. Το σχήμα του τουρμπινοκαλώδιου φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



**Σχήμα 4.9.1** Τουρμπινοκαλώδιο

Γνωρίζοντας ότι η ροή λόγω της τουρμπίνας θα αλλάξει από στρωτή σε τυρβώδη θα πρέπει οι τουρμπίνες να είναι τοποθετημένες σε αποστάσεις μεταξύ τους τέτοιες ώστε η ροή εντός του τουρμπινοκαλώδιου να μεταβάλλεται από τυρβώδη σε στρωτή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> :ΠΕΡΙΒΑΝΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Εδώ θα εξετάσουμε τους παράγοντες που θα παράγει η μηχανή Τρίτων οι οποίοι θα επηρεάσουν τον περιβάλλοντα χώρο της φύσης.

1. Λόγω της παραγωγής ρεύματος από την μηχανή είναι αναμενόμενο ότι θα παραχθούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα από τον τρίωνα με κέντρο το δυναμό , τους μετατροπείς ρεύματος και τα καλώδια μεταφοράς ρεύματος. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ως γνωστόν έλκουν καρχαρίες . Όλα τα παραπάνω θα πρέπει λόγω οικονομίας να καταλαμβάνουν όσον το δυνατό λιγότερο χώρο είναι δυνατό και ο χώρος να θωρακιστεί ηλεκτρομαγνητικά. Ωστε να αποφύγουμε την αλλοίωση του πληθυσμού της πανίδας του ωκεανού.
2. Ένα μεγάλο μέρος της πανίδας του ωκεανού χρησιμοποιεί τα υποθαλάσσια ρεύματα (κυρίως τα επιφανειακά και τα μεσαίου βάθους) για να μετακινείται από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με τις εποχές του χρόνου . εμείς πρέπει λοιπόν για να μην υπάρξει αλλοίωση αυτού του φαινομένου να τοποθετήσουμε όσον το δυνατό λιγότερα μηχανήματα που συνεπάγεται ότι οι μηχανές μας θα πρέπει να μεγιστοποιούν την απόδοση τους με την μεγάλη ροπή που υπάρχει στα βαθιά και πυθμενικά υποθαλάσσια ρεύματα λόγω της μικρής τους ταχύτητας, (από την σχέση ταχύτητας-ροπής). Οπότε λίγα αλλά δυνατά μηχανήματα τα οποία δεν θα δημιουργήσουν εμπλοκή στο φαινόμενο της μετανάστευσης της πανίδας του ωκεανού.
3. Σε περίπτωση που υπάρχει κυκλοφορία ζωντανών οργανισμών στο υποθαλάσσιο ρεύμα που θα εγκαταστήσουμε την μηχανή θα πρέπει να τοποθετηθεί μια μικρή συσκευή παραγωγής υπέρηχων σε ακτίνα τόση ώστε να προειδοποιεί τους ζωντανούς οργανισμούς αλλά και τα υποβρύχια για την παρουσία της μηχανής και έτσι να προλαβαίνουν να παρεκκλίνουν λίγο της πορείας τους ώστε να μην συντριβούν επάνω στην μηχανή αλλά και τόσο αδύναμο ώστε να μην τα αποτρέπει τελείως από το υποθαλάσσιο ρεύμα. Αυτό το μέτρο θα ωφελήσει και το οικοσύστημα αλλά και την μηχανή η οποία θα μείνει όσον το δυνατό άθικτη από εξωγενείς παράγοντες

4. Η θερμοκρασία η οποία θα παράγεται από την μηχανή θα είναι αμελητέα λόγω συνεχόμενου ψύξης από το περιβάλλον νερό και της χαμηλής παραγωγής θερμότητας που θα δίνει η μηχανή
5. Η θεμελίωση της μηχανής θα γίνει με αγκυρώσεις στα 4 σημεία του ορίζοντα και το σώμα της μηχανής θα αιωρείται σταθερά στον ωκεανό. Αυτό θα γίνει έτσι ώστε να μην υπάρχουν αλλοιώσεις στον πυθμένα του ωκεανού ή εάν θα πρέπει να γίνουν να είναι το όσον δυνατόν μικρότερες γίνεται και να μην υπάρξουν αλλοιώσεις στην χλωρίδα αλλά και πανίδα της περιοχής του ωκεανού

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> :ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΚΙΝΟΥΜΕΝΑ ΥΓΡΑ.

Η γνώση των δυνάμεων που αναπτύσσονται από τα κινούμενα υγρά είναι σημαντική για να επιτύχουμε την ανάλυση και σχεδίαση αντικειμένων όπως αντλίες τουρμπίνες αεροπλάνα πλοία κτίρια και κάθε λογής συσκευής ή κατασκευής που σχετίζεται με το νερό. Η σχέση της ενέργειας δεν είναι αρκετή για να λύσει τα περισσότερα προβλήματα , οπότε πρέπει να επιστρατεύσουμε περισσότερα «εργαλεία» για να μελετήσουμε επαρκώς τα φαινόμενα τα οποία προκύπτουν στις κατασκευές μας. Ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία είναι η σχέση **ώθησης - ορμής** η οποία από την κινηματική μηχανική δηλώνει ότι

$$\underline{\text{Σχέση ώθησης – ορμής: } (\Sigma F) t = M (\Delta V)}$$

Το οποίο μεταφράζεται ως

**Η γραμμική ώθηση = μεταβολή στην γραμμική ορμή**

Τα μεγέθη είναι διανυσματικά και για να αποφύγουμε πιθανά λάθη θα ακολουθήσουμε τις παρακάτω φόρμες.

1. Στον άξονα X

Η αρχική γραμμική ορμή ± γραμμική ώθηση = τελική γραμμική ώθηση

$$M V_x \pm \Sigma F_x t = M V_{x_1}$$

2. Στον άξονα Ψ

$$M V_{y_1} \pm \Sigma F_y t = M V_{x_2}$$

Όπου M = η μάζα που της οποίας η ώθηση μεταβλήθηκε σε χρόνο t

Οι παραπάνω εκφράσεις μπορούν να γραφτούν με τους ανάλογους δείκτες x , y ή z, στην παρακάτω μορφή

$$\Sigma F_x = \rho Q (V_2 - V_1)_x , \text{ και τα λοιπά}$$



## Διορθωτικός συντελεστής ορμής β

Για ποτάμια ροή σε σωλήνες το  $\beta = 1,33$  για τυρβώδης ροή σε σωλήνες το  $\beta$  υπάγεται ανάμεσα στα 1,01 έως 1,07 . στις περισσότερες περιπτώσεις το  $\beta$  θεωρείται ως μοναδιαίο μέγεθος. Τον διορθωτικό συντελεστή ορμής  $\beta$  μπορούμε να τον υπολογίσουμε από τον τύπο

$$B = 1/A \int_A (u/V)^2 dA$$

Πέραν από την σχέση ώθησης ορμής μέσα στα κινούμενα υγρά αναπτύσσεται η **ώση** η ώση είναι μια συνιστώσα που είναι αποτέλεσμα της δύναμης που ασκείται από ένα κινούμενο υγρό σε ένα σώμα παράλληλο στην σχετική κίνηση του υγρού. Η συνήθης εξίσωση είναι

$$\text{Ωση σε lb ή (N)} = C_d \rho A V^2 / 2$$

Η **άνωση** που είναι παράγωγο του αποτελέσματος της δύναμης που προέρχεται από το κινούμενο υγρό σε ένα σώμα τοποθετημένο κάθετα στην σχετική κίνηση του υγρού. Η συνήθης εξίσωση είναι

$$\text{Άνωση σε lb ή (N)} = C_l \rho A V^2 / 2$$

Όπου  $C_d$  = ο συντελεστής ώσης ο οποίος είναι αδιάστατος

$C_l$  = ο συντελεστής άνωσης ο οποίος είναι αδιάστατος

$\rho$  = η πυκνότητα του υγρού σε (  $\text{Kg/m}^3$  )

$A$  = κάποια χαρακτηριστική επιφάνεια σε  $\text{ft}^2$  ή  $\text{m}^2$  συνήθως σε μια περιοχή προβαλλόμενη στο επίπεδο κάθετη στην σχετική κίνηση του υγρού

$V$  = η σχετική ταχύτητα του υγρού το οποίο έρχεται σε επαφή με το σώμα σε (  $\text{ft/sec}$  ) ή (  $\text{m/sec}$  )

## Ολική ωστική δύναμη

Η ολική ωστική δύναμη είναι αποτέλεσμα της δύναμης λόγω τριβής ή της δύναμης λόγω πίεσης . καμία από τις δυο δυνάμεις δεν θεωρείται αμελητέα , για αντικείμενα τα οποία δεν παρουσιάζουν το φαινόμενο της άνωσης η ολική ώση είναι

<u>Αντικείμενο</u>	<u>Ώση λόγω τριβής</u>	+	<u>Ώση λόγω πίεσης</u>	=	Όλικη ώση
Σφαίρα	Αμελητέα	+	Ώση λόγω πίεσης	=	Όλικη ώση
Κύλινδρος με άξονα κάθετο στην φορά στην ταχύτητα	Άμελητα	+	Ώση λόγω πίεσης	=	Όλικη ώση
Δίσκοι και λεπτές ελλείψεις κάθετα στην ταχύτητα	Μηδενική	+	Ώση λόγω πίεσης	=	Όλικη ώση
Λεπτές ελλείψεις παράλληλες στην φορά της ταχύτητας	Ώση λόγω τριβής	+	Άμελητα έως μηδέν	=	Όλικη ώση
Καλά λειανμένα αντικείμενα	Ώση λόγω τριβής	+	Μικρή έως αμελητέα	=	Όλικη ώση

### Συντελεστής ώσης:

ο συντελεστής ώσης είναι εξαρτώμενος από τον αριθμό Reynolds σε μικρές και μεσαίες ταχύτητες , και ανεξάρτητος από αυτόν σε μεγάλες ταχύτητες. Όμως σε μεγάλες ταχύτητες ο συντελεστής ώσης είναι εξαρτώμενος με τον αριθμό Mach ,ο οποίος έχει αμελητέα επιρροή σε μικρές ταχύτητες . τα διαγράμματα F, G, και H δείχνουν τις διαφορές για διάφορα γεωμετρικά σχήματα

### Συντελεστής άνωσης:

Ο Kutta δίνει θεωρητικές μέγιστες αξίες στον συντελεστή άνωσης για λεπτούς δίσκους μη κανονικούς στην σχετική ταχύτητα του υγρού

$$C_l = 2\pi \sin a$$

Όπου  $a$  = η γωνία συντριβής που δημιουργείται από τον δίσκο και την φορά της ταχύτητας του υγρού σε κανονική ακτίνα δράσης οι airfoil τομείς έχουν αξίες μέχρι και το 90 % από το θεωρητικό μέγιστο . η γωνία  $a$  δεν πρέπει να ξεπερνά τις  $25^\circ$

Ο αριθμός Mach

Ο αριθμός Mach είναι αδιάστατο μέγεθος σύγκρισης της ταχύτητας του υγρού με την ταχύτητα του ήχου

$$\text{Αριθμός Mach} = Ma = V/c = V/\sqrt{(E/\rho)}$$

Για αέρια  $c = \sqrt{kgRT}$

αξίες της  $V/c$  μέχρι την κρίσιμη τιμή 1,0 δείχνουν ταχύτητα μικρότερη από την ταχύτητα του ήχου . στην τιμή 1,0 ροή με ταχύτητα ίση με αυτή του ήχου και για τιμές πάνω από την μονάδα ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα του ήχου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> :ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ

Εδώ θα παρουσιάσουμε μερικές από τις βασικές αρχές που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή αντλιών τουρμπινών και προπελών.

Τα βασικά εργαλεία είναι οι αρχές της ώθησης και της ορμής, η αρχή της εξαναγκασμένης δύνης και η αρχή της ομοιότητας. Σε γενικές γραμμές οι μοντέρνες υδραυλικές τουρμπίνες και οι κεντρόφυγες αντλίες είναι μηχανές μεγάλης απόδοσης με πολύ λίγες διαφορές στα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά. Για κάθε σχέδιο υπάρχει μια καθορισμένη σχέση μεταξύ της ταχύτητας περιστροφής  $N$ , της απαλλαγής ή ροής  $Q$ , της κεφαλής  $H$ , της διαμέτρου  $D$  του στρεφόμενου στοιχείου, και της δύναμης  $P$

Για υδροστρόβιλους τουρμπίνες και αντλίες ισχύει

1. Ο παράγοντας ταχύτητας  $\phi$  ο οποίος ορίζεται ως  
 $\phi = \text{περιφερειακή ταχύτητα του στρεφόμενου στοιχείου} / \sqrt{(2gH)}$

άρα

$$\phi = u / \sqrt{(2gH)}$$

όπου  $u = r\omega$  ακτίνα του στρεφόμενου στοιχείου σε ft ή m επί την γωνιακή ταχύτητα σε ακτίνια / sec =  $r\omega$  m/ sec  
αυτόν τον παράγοντα μπορούμε να τον εκφράσουμε και ως

$$\phi = \text{διάμετρος σε cm ή inc} \times \text{rpm} / 1840\sqrt{H}$$
$$\phi = D_1 N / 1840\sqrt{H}$$

2. Η σχέση της ταχύτητας μπορεί να εκφραστεί ως

Διάμετρος  $D$  σε ft ή m  $\times$  ταχύτητα  $N$  σε rpm /  $\sqrt{g} \times$  κεφαλή  $H$  σε ft ή m = συνεχόμενο  $C'_N$  όπου το  $g$  είναι ενσωματωμένο με το συντελεστή  $C_N$  ή επίσης  $H = \frac{D^2 \cdot N^2}{C^2}$

Η μονάδα ταχύτητα ορίζεται ως η ταχύτητα ενός γεωμετρικά όμοιου (ομόλογου) περιστρεφόμενου στοιχείου το οποίο έχει διάμετρο 1inch το οποίο περιστρέφεται υπό κεφαλή 1ft. Αυτή η μονάδα ταχύτητας

( $N_u$  σε rpm) συνήθως εκφράζεται με τους όρους  $D_1$  σε inch και με  $N$  σε rpm έτσι προκύπτει

$$N_u = \frac{D \text{ (in)} * \text{rpm}}{\sqrt{H}} = \frac{D * N}{\sqrt{H}}$$

Επίσης

$$N = N_u \frac{\sqrt{H}}{D_1}$$

3. Η σχέση της παροχής μπορεί να εκφραστεί και ως εξής

$$\text{Συνεχής } C_Q = \frac{\text{ροή } Q}{(\text{διάμετρος } D \text{ σε ft})^2 * \sqrt{H \text{ σε ft}}}$$

Επίσης

$$Q = C_Q D^2 \sqrt{H} = C_Q D^2 \left( \frac{DN}{C_N} \right) = C'_Q D^3 N$$

Επίσης ο συντελεστής παροχής ορίζεται από την παροχή ενός ομόλογου στρεφόμενου στοιχείου με διάμετρο 1 inch ή 2.5cm το οποίο δουλεύει κάτω από μια κεφαλή 1 ft ή 30 cm η μονάδα παροχής που προκύπτει είναι  $Q_u$  και ισούται με

$$Q_u = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H}} \text{ ή } Q = Q_u D_1^2 \sqrt{H}$$

Η σχέση της ταχύτητας δίδεται με την χρησιμοποίηση των μεγεθών  $Q$  και  $H$  στις ακόλουθες εξισώσεις:

$$P = \frac{\gamma (C'_Q D^2 \sqrt{H}) H}{D_1^2 \sqrt{H}} = C_p D^2 H^{2/3} \text{ (hp) επίσης}$$

$$C_p \rho D^5 N^3 = P = \frac{\gamma (C_q D^3 N)}{550e} * \frac{D^2 N^2}{g (Cn)^2} \text{ (hp)}$$

Σημείωση: το 550 διαγράφεται για να πάρουμε την ενέργεια σε watt

Η μονάδα ταχύτητας ορίζεται από την ενέργεια που αναπτύσσεται από ένα ομόλογο στρεφόμενο στοιχείο διαμέτρου 1 inch ή 2.5 cm το οποίο λειτουργεί υπό κεφαλή 1ft ή 30cm η μονάδα ενέργειας  $P_u$  είναι

$$P_u = \frac{P}{D_1^2 H^{1.5}} \quad \text{Και } P = P_u D^2 H^{3/2}$$

Η συγκεκριμένη ταχύτητα.

Η συγκεκριμένη ταχύτητα ορίζεται ως η ταχύτητα ενός ομόλογου στρεφόμενου στοιχείου τέτοιας διαμέτρου ώστε να παράγει μια μονάδα ενέργειας για μια μονάδα κεφαλής. Η συγκεκριμένη ταχύτητα  $N_s$  μπορεί να εκφραστεί με 2 μορφές

1. Για τουρμπίνες η γενική εξίσωση είναι  $N_s = \frac{N \sqrt{P}}{\sqrt{\rho}(gH)^{5/4}}$

Επίσης  $N_s = N_u \sqrt{P_u}$

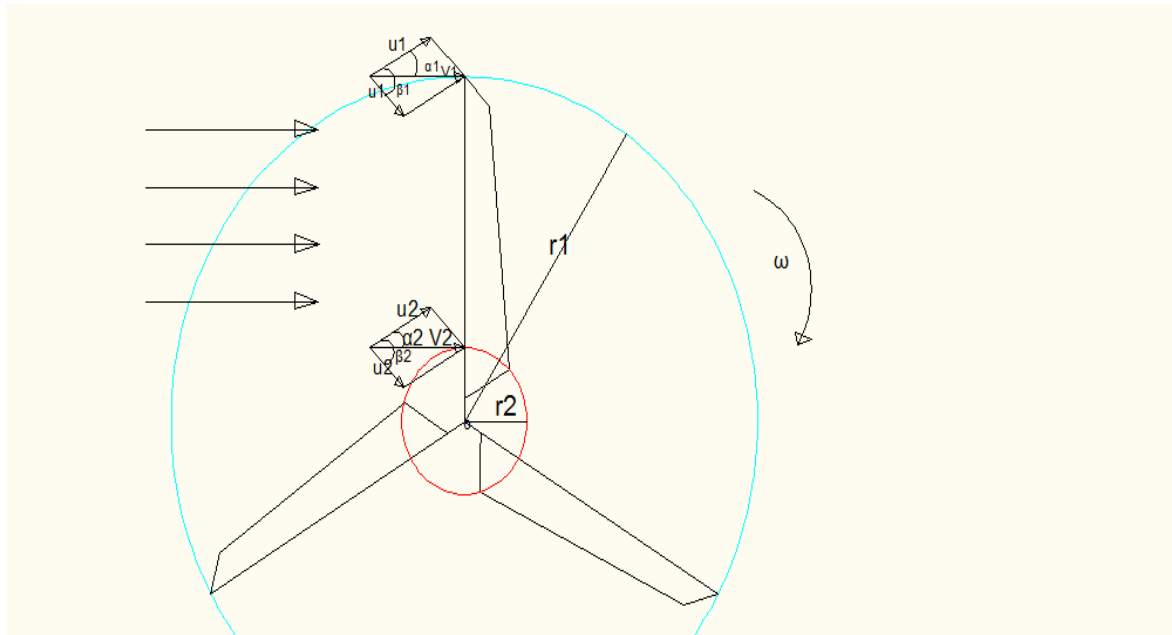
2. Για αντλίες η γενική εξίσωση είναι

$$N_s = \frac{N \sqrt{Q}}{(gH)^{3/4}} \quad \text{και επίσης } N_s = N_u \sqrt{Q_u}$$

Ολική επάρκεια  $e = \eta$  ενέργεια που εξέρχεται της καταπακτής / ενέργεια που προμηθεύεται από το νερό

Υδραυλική επάρκεια  $e_h = \eta$  ενέργεια που αξιοποιείται από την μονάδα / την ενέργεια που προμηθεύεται από το νερό.

Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται επάνω στην τουρμπίνα μας λόγω της ταχύτητας του νερού φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



**Σχήμα 7.1** Αναπτυσσόμενες δυνάμεις στους έλικες

Τώρα για την στοιχειώδη μάζα νερού που ρέει σε  $dt$  δευτερόλεπτα η γωνιακή ορμή προκαλείται από την γωνιακή ώθηση που εξέρχεται από τον δρομέα

**Αρχική γωνιακή ορμή + γωνιακή ώθηση = τελική γωνιακή ορμή**

Ή πρακτικότερα και με βάση το σχήμα μας

$$(dM)V_1 \cdot r_1 \cos \alpha_1 + \text{ροπή} \cdot dt = (dM)V_2 \cdot r_2 \cos \alpha_2$$

$$\text{Όμως } dM = (\gamma/g)Q dt$$

αντικαθιστώντας και λύνοντας για τη ροπή που ασκείται στο νερό, λαμβάνουμε

$$\text{ροπή } T = (\gamma/g) Q (V_2 r_2 \cos \alpha_2 - V_1 r_1 \cos \alpha_1)$$

κατά συνέπεια η ροπή που ασκείται από το ρευστό στο περιστρεφόμενο μέρος είναι

$$T = (\gamma/g) Q (V_1 r_1 \cos \alpha_1 - V_2 r_2 \cos \alpha_2)$$

Η δύναμη είναι ανάλογη με την ροπή και την γωνιακή ταχύτητα

$$P = T\omega = (\gamma/g) Q (V_1 r_1 \cos \alpha_1 - V_2 r_2 \cos \alpha_2) \omega$$

Και αφού το  $u_1=r_1\omega$  και  $u_2=r_2\omega$  η εξίσωση γίνεται

$$P = (\gamma/g) Q (V_1 u_1 \cos a_1 - V_2 u_2 \cos a_2)$$

### **Υπολογισμός στροφών ανά λεπτό (rpm)**

Οι στροφές ανά λεπτό που θα δουλεύει ο τρίτων θα υπολογιστεί με τον τύπο  $N = \frac{N_s H^{5/4}}{\sqrt{P}}$  ο διορθωτικός παράγοντας  $N_s$  θα υπολογιστεί με το ιδεατό μοντέλο και μετά το αποτέλεσμα θα εισαχθεί στην εξίσωση που αντιστοιχεί στο πραγματικό μοντέλο.

### **Υπολογισμός $\omega$**

Η γωνιακή ταχύτητα  $\omega$  θα υπολογιστεί απευθείας από τον τύπο

$$Y = \frac{\omega^2}{2g}$$

### **Τα ερωτήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν:**

- 1) με ποια γωνία θα βρει το υποθαλάσσιο ρεύμα τα φτερά του τρίωνα?
- 2) Πόση επιφάνεια του φτερού έρχεται σε επαφή και σύγκρουση με το υποθαλάσσιο ρεύμα? Ωστε να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε έναν ιδεατό αγωγό
- 3) η γωνία και η ταχύτητα είναι η ίδια πάνω και κάτω ?



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup> :ΛΥΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Θεωρούμε ως θεωρητικό μοντέλο την συσκευή τρίτων με

ύψος λεπίδας = 10 m

πλάτος λεπίδας = 3. 92m στην βάση και

πλάτος λεπίδας = 1 m στην κορυφή της

Λύνοντας το τραπέζιο που δημιουργείται προκύπτει ότι το εμβαδό της λεπίδας ισούται με  $23.1 \text{ m}^2$  . Τώρα το νερό το οποίο συγκρούεται με την λεπίδα είναι υπαίτιο για την κίνηση της τουρμπίνας άρα και για την παραγωγή ρεύματος.

Το σύστημα υποθαλάσσιο ρεύμα – τρίτων βρίσκεται κάτω από την θάλασσα και το υποθαλάσσιο ρεύμα είναι στην ουσία ένας φυσικός αγωγός. Άρα το πρόβλημα μας υπάγεται στους κλειστούς αγωγούς υπό πίεση.

Η παροχή που μας ενδιαφέρει είναι η ποσότητα του νερού που βρίσκει την άνω λεπίδα του τρίτωνα . η παροχή αυτή ισούται με το εμβαδόν της λεπίδας (ωφέλιμο εμβαδόν ) και την ταχύτητα του εκάστοτε υποθαλάσσιου ρεύματος.

Για το μοντέλο θεωρούμε ότι η ταχύτητα του νερού είναι  $1 \text{ m/sec}$  και η επιφάνεια του φτερού ως αναφέρθηκε πιο πάνω, ήτοι  $23.1 \text{ m}^2$  άρα η παροχή είναι

$$Q=23,1*1 =23,1 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Καθώς το νερό «βομβαρδίζει» τον τρίτωνα και συγκεκριμένα το άνω μέρος της λεπίδας δημιουργείται μια κρουστική δύναμη και μια ωστική δύναμη. Ο υδροδυναμικός σχεδιασμός του σώματος του τρίτωνα εμποδίζει τις 2 αυτές δυνάμεις από το να βλάψουν και να μετακινήσουν τον Τρίτωνα, όμως η λεπίδα θα δεχθεί τόσο την ωστική δύναμη η οποία είναι και η κινητήριος δύναμη της συσκευής όσο και την κρουστική δύναμη η οποία θα βλάψει την λεπίδα. Το πρόβλημα της κρουστικής δύναμης που θα δεχθεί η λεπίδα θα λυθεί με το να δώσουμε μια γωνία κλίσης σε όλη την κεφαλή και τον άξονα.

Η γωνία της κεφαλής και του άξονα θα πρέπει να δοθεί λαμβάνοντας υπ όψιν τους παρακάτω παράγοντες.

1) Το υποθαλάσσιο ρεύμα δεν είναι σταθερό αλλά κινείται με μια απόκλιση η οποία προσεγγίζει το φάσμα από 5 μοίρες έως και 25 μοίρες. οπότε σε καμία περίπτωση δεν πρέπει το υποθαλάσσιο ρεύμα να βγαίνει εκτός του περιθωρίου όπου οι λεπίδες του τρίωνα θα έχουν μια βέλτιστη έως καλή απόδοση.

2) Η γωνία που θα τοποθετηθούν οι λεπίδες θα πρέπει τέτοια έτσι ώστε να μειώνεται η κρουστική δύναμη σε τέτοιο βαθμό έτσι ώστε να μην βλάπτει την συσκευή.

Βέλτιστη γωνία λειτουργίας τουρμπίνας =  $90^{\circ}$  δηλαδή κάθετη τοποθέτηση στο υποθαλάσσιο ρεύμα

Βέλτιστη γωνία για τον μηδενισμό της κρουστικής δύναμης =  $0^{\circ}$  δηλαδή τοποθέτηση τουρμπίνας κατά μήκος τ5ου υποθαλάσσιου ρεύματος

Βέλτιστη γωνία για απόδοση-μείωση κρούσης =  $45^{\circ}$  + ή - την γωνία που θα αποκλίνει το ρεύμα δηλαδή η γωνία που θα βρίσκει το νερό την λεπίδα θα είναι στις  $45^{\circ}$  και περιστασιακά θα κυμαίνεται από  $25^{\circ}$  το ελάχιστο μέχρι τις  $75^{\circ}$  το μέγιστο

Αφού λοιπόν έχουμε την ταχύτητα του νερού του μοντέλου μας και θεωρήσουμε ότι οι λεπίδες της συσκευής θα έχουν τέτοιο μοτέρ και τέτοια φρένα ώστε να επιτρέπουν μια κίνηση στην λεπίδα των 0.5 m/sec

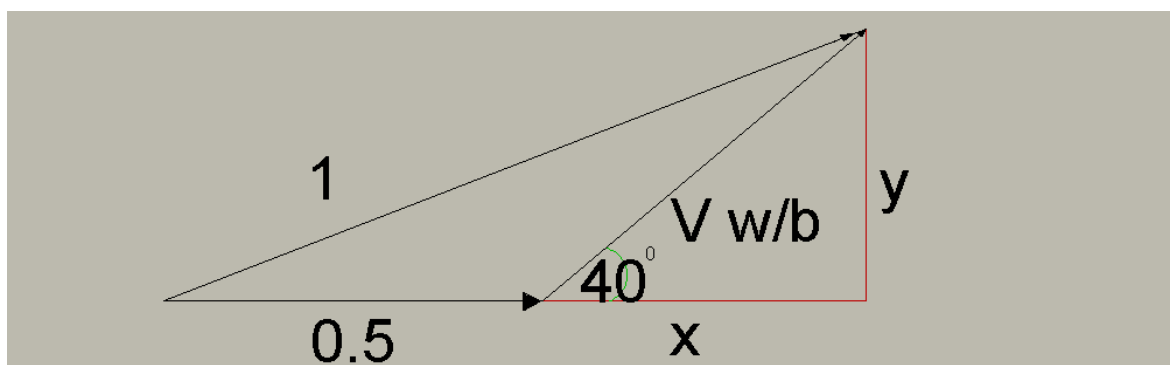
Η γωνία που θα πρέπει το νερό να βομβαρδίζει τις λεπίδες χωρίς να δημιουργείται κρούση θα είναι ίση με

$$\text{Ταχύτητα νερού} = \text{Ταχύτητα νερού/λεπίδας} + \rightarrow \text{ταχύτητα λεπίδας}$$

$$1 \text{ στα } \perp \partial_{\chi} = ? 40^{\circ} + \rightarrow 0.5 \text{ λύνοντας το σχήμα (α)}$$

Προκύπτει ότι η γωνία στην οποία δεν θα υπάρχει κρουστική δύναμη θα είναι στις 21 Μοίρες

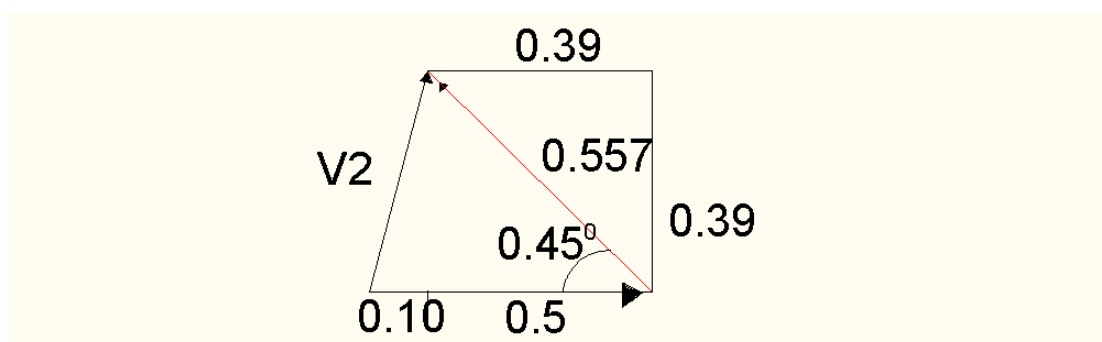
Σχήμα 8.1



Λύνοντας τώρα το σχήμα 8.1 για την ταχύτητα του νερού με σεβασμό(δεν θα αστοχήσουν) στις λεπίδες έχουμε ότι

$$Y = 1 \sin \theta_{\chi} = 1 \sin 21^{\circ} = 0.5 \text{ m/sec και } V_{w/b} = y / (\sin 40^{\circ}) = 0.5562 \text{ m/sec}$$

Επίσης από το σχήμα 8.2 βλέπουμε ότι το απόλυτο  $V_{\chi 2} = 0.10$  στα δεξιά οπότε έχουμε ότι



Σχήμα 8.2

Η παροχή στο μοντέλο μας είναι  $23.1 \text{ m}^3/\text{sec}$  άρα η δύναμη που θα αναπτυχθεί στο μοντέλο θα είναι

$$F_x = \frac{62.4 * 105.59}{32.2} [3.28 * 0.906 - (0.10)] \Rightarrow$$

$$F_x = 587.60 \text{ lb}$$

$$\text{Ή αλλιώς } F_x = 267.1 \text{ kg}$$

και η ενέργεια  $E_x = 963.11 \text{ ft-lb/sec} = 963.11 * (1/3.28) \text{ m} * (1/2.20) \text{ kg} \Rightarrow$

$$E_x = 133.47 \text{ kgm/sec}$$

Το πρόβλημα είναι όμως ότι στα 963,11 ft-lb/sec κατά την μετατροπή των μονάδων τα 2,20 Pounds δεν είναι μονάδα μάζας αλλά μονάδα δύναμης .άρα πολλαπλασιάζοντας με την επιτάχυνση της βαρύτητας έχουμε :

$$E_x = 133.47 \text{ kgm/sec} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 1309,33 \text{ kgm}^2/\text{s}^3 = 1309,33 \text{ watt}$$

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. International temperature scale 1990 (Wikipedia)
2. Τριπλό σημείο νερού (Wikipedia)
3. Πίνακας των Τριπλών σημείων (U.S National Bureau of Standards) (N.I.S.T)
4. International union of pure and applied chemistry
5. Definition of the Kelvin at BIPM
6. Yunus A. Cengel , Robert H. TUNNER
7. Fundamentals of thermal-fluid sciences Mc Grow-Hill 2004 p78
8. Walas S.M ,chemical process equipment – selection and design
9. Χάρτης ωκεάνιων ρευμάτων (U.S. Navy Oceanographic office)
10. Open university corrsetean (ocean circulation oxford U.K pergamon press 1989)
11. Pond Stephen and George . L. Pichard Introductory Dynamical Oceanography (Oxford U.K. Pergamon press 1983 )
12. Shmitz William J. “On the world ocean Circulation Vol I – II Woods hole Oceanographic Institution Technical Reports WHOI 96-03 and 96-08 M Woods Hole MA WHOI 1996

13. Tomczak Matt and J. Stuart Godfres Regional Oceanography : An Introduction (Oxford U.K. pergamon press 1994)
14. STOMMEL MODEL
15. Βιβλιογραφία ένταξης για τον Πίνακα ταχύτητας Υποθαλάσσιων ρευμάτων
16. Coble, Charles R., Elaine G. Murray, and Dale R. Rice. *Earth Science*. 3rd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1987: 256-257
17. Adams, John, et al. "Ocean Currents." *Microsoft Encarta*. 2 vols. CD-ROM. Redmond: Microsoft, 1999. 191.
18. Gaskell, T F. *The Gulf Stream*. New York: John Day Company, 1973. 95.
19. Gross, M.G. *Oceanography: A View of the Earth*. 3rd ed. New York: Prentice Hall, 1982: 173, 177
20. Gross, M G. *Oceanography*. 6th ed. Columbus: Merrill, 1990: 74-75
21. Schaum's Theory and problems fluid mechanics and hydraulics 3<sup>rd</sup> edition R.V. Giles , J.B. Evett , C Liu
22. Οδηγός τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. (πρόγραμμα Leonardo Da Vinci Ευρωπαϊκής επιτροπής)
23. Βιβλίο

