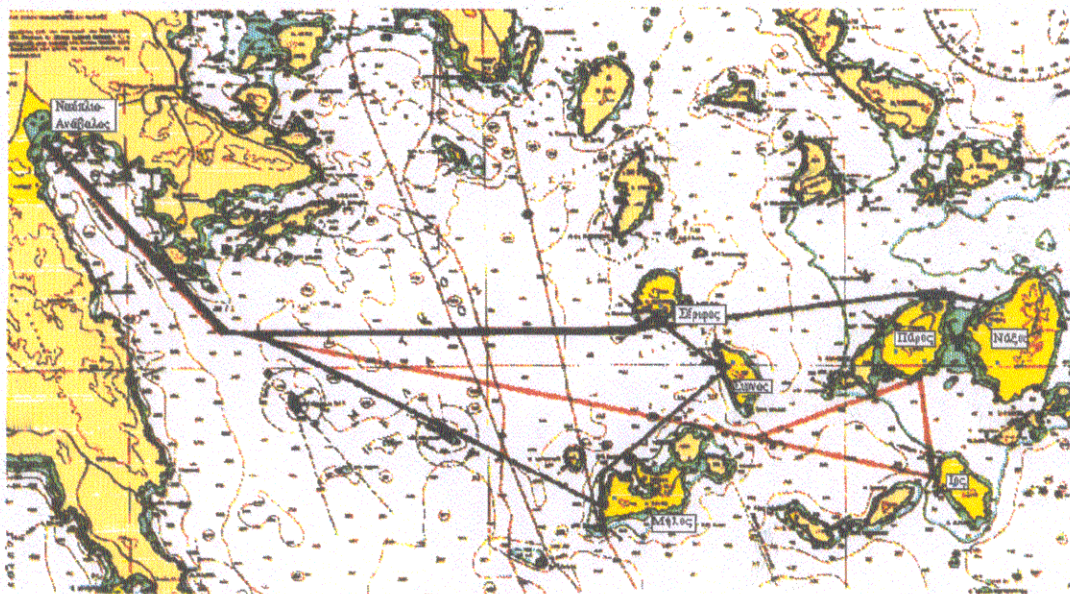


ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕΓΑΛΩΝ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΝΕΡΟΥ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΜΑΡΙΝΑΚΗ

Τότε είπεν και γεννήθηκεν η θάλασσα
Και είδα και θαύμασα
Και στη μέση της έσπειρε κόσμους μικρούς κατ' εικόνα και ομοιώσή μου:
Ίπποι πέτρινοι με τη χαίτη ορθή
και γαλήνιοι αμφορείς
και λοξές δελφινιών ράχες

η Ίος η Σίκινος η Σέριφος η Μήλος

“Κάθε λέξη κι απο 'να χελιδόνι
για να σου φέρνει την άνοιξη μέσα στο θέρος” είπε
Και πολλά τα λιόδεντρα
που να κρησάrouν στα χέρια τους το φώς
κι ελαφρό ν' απλώνεται στον ύπνο σου
και πολλά τα τζίτζικια
που να μην τα νιώθεις
όπως δε νιώθεις το σφυγμό στο χέρι σου

αλλά λίγο το νερό
για να το 'χεις Θεό και να κατέχεις τι σημαίνει ο λόγος του

ΠΙΝΑΚΑΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ABSTRACT

ΣΕΛΙΔΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1) ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	1
1.2) ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ (ιστορικό-περιπτώσεις μεταφοράς).....	3

2. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕ ΔΕΞΑΜΕΝΟΠΛΟΙΑ

2.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
2.2) ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ - ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΟΙΟΥ.....	6
2.3) ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΠΛΟΙΟΥ.....	7
2.4) ΧΡΟΝΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΛΟΙΟΥ-ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.....	9
2.5) ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΛΙΜΕΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΧΕΡΣΑΙΑ ΕΡΓΑ-ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΛΥΣΕΩΣ.....	11
2.6) ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	12

3. ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΑΣΚΟΥΣ

3.1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
3.2) ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΑΣΚΟΥ.....	15
3.2.1 σχήμα-γεωμετρικά χαρακτηριστικά ασκού	15
3.2.2 αρχές λειτουργίας του ασκού	16
3.3) ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	20
3.3.1 τάσεις-αρχές σχεδιασμού	20
3.3.2 ιδιότητες υλικού	21
3.3.3 ενίσχυση υφάσματος	21

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕΓΑΛΩΝ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΝΕΡΟΥ

3.4)	ΦΟΡΤΩΣΗ-ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ ΤΟΥ ΥΔΑΤΟΣ.....	23
3.4.1	γενικές απαιτήσεις κατασκευής	23
3.4.2	χρήση ειδικού εξαρτήματος-docker	23
3.4.3	διαδικασία φορτοεκφόρτωσης-υδραυλική άποψη	24
3.5)	ΡΥΜΟΥΛΚΥΣΗ ΤΟΥ ΑΣΚΟΥ.....	25
3.5.1	γενικές αρχές σχεδιασμού	25
3.5.2	απαιτούμενη ισχύς και δύναμη έλξης	25
3.5.3	επίδραση των ρευμάτων	28
3.5.4	μέτρα επιτάχυνσης των διαδικασιών μεταφοράς	28
3.6)	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ.....	29
3.6.1	κατασκευή σταθμών φορτοεκφόρτωσης-τύπος ναυδέτου	29
3.6.2	κατασκευή-τοποθέτηση υποθαλάσιου αγωγού	30
3.6.3	αντλιοστάσιο-άλλα έργα	32
3.7)	ΚΥΚΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ-ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ.....	34
3.7.1	κύκλος εργασιών-πλήθος ασκών & ρυμουλκών	34
3.7.2	διαδικασία βελτιστοποίησης-συντελεστής απόδοσης	35
3.8)	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	38

4. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ

4.1)	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	41
4.2)	ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ.....	42
4.2.1	εισαγωγή	42
4.2.2	θερμικές μέθοδοι	44
4.2.2.1	πολυσταδιακή εξάτμιση (MSF)	44
4.2.2.2	απόσταξη	45
4.2.2.3	συμπύεση ατμών	45
4.2.3	μέθοδοι μεμβράνης-αντίστροφη ώσμωση (RO)	46
4.2.3.1	οι αρχές της αντίστροφης ώσμωσης	46
4.2.3.2	η μέθοδος αντίστροφης ώσμωσης (RO)	46
4.2.4	κινητές μονάδες αφαλάτωσης	48
4.2.5	χρήση ήπιων μορφών ενέργειας στην αφαλάτωση	50
4.2.6	οικονομικά στοιχεία	53
4.3)	ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΕΣ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΕΣ.....	55
4.3.1	εισαγωγή	56
4.3.2	γενική περιγραφή	59
4.3.3	οικονομικά στοιχεία	

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕΓΑΛΩΝ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΝΕΡΟΥ

5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

5.1) ΥΔΡΕΥΣΗ ΑΘΗΝΑΣ.....	60
5.1.1 μίσθωση tankers	61
5.1.2 αγορά ασκών	63
5.1.3 οικονομικά στοιχεία	65
5.2) ΑΡΔΕΥΣΗ ΝΗΣΙΩΝ.....	68

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	74
--	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

77

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή πραγματεύεται κυρίως τους τρόπους θαλάσσιας μεταφοράς νερού προκειμένου το τελευταίο να χρησιμοποιηθεί είτε για ύδρευση είτε για άρδευση.

Αρχικά περιγράφεται η “παλιά” μέθοδος μεταφοράς με **δεξαμενόπλοια**, μέθοδος που σπάνια χρησιμοποιείται κυρίως, αλλά όχι μόνο, λόγω του μεγάλου οικονομικού κόστους που συνεπάγεται.

Κατόπιν γίνεται λεπτομερής αναφορά στην καινούρια δυνατότητα που μας δίνεται να μεταφέρουμε το νερό με **ΑΣΚΟΥΣ**, ένα φιλόδοξο νέο πρόγραμμα που απαιτεί εντυπωσιακά μικρότερο (σε σχέση με τα tankers) κόστος ανά m^3 μεταφερόμενου νερού.

Στη συνέχεια δίνονται συνοπτικά οι αρχές λειτουργίας **εναλλακτικών** λύσεων του προβλήματος της ικανοποίησης των υδατικών αναγκών άνυδρων περιοχών. Παρουσιάζονται λύσεις παλιές (αφαλάτωση θαλασσινού νερού, κατασκευή λιμνοδεξαμενών), αλλά και πρωτοποριακές (κινητά συστήματα αφαλάτωσης, αφαλάτωση με χρήση ανανεώσιμων μορφών ενέργειας).

Το κύριο βάρος της εργασίας, όμως, βρίσκεται στις προτάσεις που γίνονται για να εφαρμοστούν τα παραπάνω στον **Ελληνικό χώρο**. Συγκεκριμένα διερευνώνται οι περιπτώσεις της μεταφοράς νερού για την ύδρευση των Αθηνών (με tankers ή με ασκούς) και την άρδευση νησιών του Αιγαίου (με ασκούς μόνο). Τα αποτελέσματα είναι κατ' αρχήν αισιόδοξα, κυρίως σε ότι αφορά στην άρδευση των νησιών. Περαιτέρω έρευνα και μελέτη εφαρμογής των παραπάνω θεωρείται απαραίτητη.

1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1

ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

1.2

ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ (ιστορικό, περιπτώσεις μεταφοράς)

1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Τα τελευταία χρόνια το πρόβλημα της λειψυδρίας έχει απασχολήσει πολύ τόσο τους πολίτες, όσο και τις αρμόδιες αρχές, όχι μόνο στην πατρίδα μας, αλλά και σε άλλα κράτη και ειδικότερα σε αυτά της Μεσογειακής λεκάνης.

Το πρόβλημα αυτό είναι πολύ περίπλοκο από την άποψη της αντιμετώπισης, του σχεδιασμού και της διαστασιολόγησης των κατάλληλων έργων που προορίζονται για να καλύψουν τις ανάγκες του πληθυσμού όχι μόνο για ύδρευση αλλά και για άρδευση.

Η σημερινή πραγματικότητα βρίσκει τη χώρα μας απογυμνωμένη και ανήμπορη να αντιμετωπίσει σειρά υδρολογικά φτωχών ετών, κάτι το οποίο καταδείχτηκε στο υδρολογικό έτος **1989-1990** και συνεχίζεται μέχρι και σήμερα.

Τα αίτια που έχουν οδηγήσει το κράτος μας σε τόσο δεινή θέση απέναντι σε πολίτες του (και δη τους κατοίκους της πρωτεύουσας και των περισσότερων νησιών του Αιγαίου, καθώς ευτυχώς σε άλλα διαμερίσματα της χώρας υπάρχει επάρκεια και σε αρκετές περιπτώσεις ακόμη και υδατικό πλεόνασμα), μπορούν να εντοπιστούν αφενός στον **εφησυχασμό** και την έλλειψη πνεύματος μακρόπνοου σχεδιασμού και αφετέρου στην **ανεπάρκεια** των έργων που χρησιμοποιούνται σήμερα για την αποθήκευση και τη μεταφορά του ύδατος, και **όχι** στην εύκολη υπόθεση ότι όλα ανάγονται στο γενικά **ξηρό κλίμα** και την υδατικά φτωχή διάιτα της πατρίδας μας. Πολλά κράτη με πολύ φτωχότερο υδατικό δυναμικό από την Ελλάδα έχουν καταφέρει, με σωστό σχεδιασμό, να είναι καλύψουν πλήρως τις ανάγκες του πληθυσμού τους σε νερό.

Η ιδιομορφία της χώρας μας που αναφέραμε παραπάνω (υδατικά πλούσιο το Δυτικό και το Βόρειο μέρος της και αντίστοιχα φτωχό τόσο το Ανατολικό όσο και το μεγαλύτερο από το Νησιωτικό της τμήμα), σε συνδυασμό με τη συγκέντρωση άνω του 65% του πληθυσμού της στα δεύτερα έχει οδηγήσει στο παρελθόν το κράτος στη λύση της μεταφοράς υδάτων από τα **Δυτικά στα Ανατολικά** διαμερίσματα υψώνοντας φράγματα, δημιουργώντας τεχνητές λίμνες, κατασκευάζοντας διαύλους και διώρυγες μεταφοράς ύδατος και εσχάτως εκτρέποντας ποτάμια και ανοίγοντας σήραγγες.

Τα παραπάνω έργα έχουν καταφέρει να **ανακουφίσουν** το πρόβλημα της λειψυδρίας που προαναφέραμε. Όμως μολαταύτα, σε υδρολογικά φτωχές περιόδους το πρόβλημα αποκαλύπτεται ξανά. Η εργασία αυτή σκοπό έχει να διερευνήσει τις εναλλακτικές λύσεις που μπορεί να προταθούν για την αντιμετώπισή του σε εξαιρετικές περιπτώσεις λειψυδρίας και ειδικότερα, σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια, τη **μεταφορά ύδατος σε πολύ μεγάλες ποσότητες μέσω των πλωτών οδών**.

1.2 ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ (ιστορικό, περιπτώσεις μεταφοράς)

Η θαλάσσια μεταφορά νερού δεν αποτελεί κάποια καινοτομία. Επί χρόνια εφαρμόζεται για την ύδρευση, αλλά και την άρδευση πολλών άνυδρων περιοχών, τόσο στην Ελλάδα, όσο και στο εξωτερικό.

Η ειδοποιός διαφορά όμως της θαλάσσιας μεταφοράς που προανέφερα με τη θαλάσσια μεταφορά που πραγματεύεται η εργασία αυτή βρίσκεται στο **μέγεθος** της μεταφερόμενης ποσότητας.

Στον ελληνικό χώρο, υπάρχουν πάμπολλα παραδείγματα, κυρίως νησιών του Αιγαίου πελάγους, που ικανοποιούν τις ανάγκες της ύδρευσής τους με νερό που προέρχεται από κάποιο άλλο σημείο της ελληνικής επικράτειας. Χαρακτηριστικά μπορούν να αναφερθούν τα παραδείγματα των νησιών του **Αργοσαρωνικού**, τα οποία καλύπτουν όλες σχεδόν τις ανάγκες τους μ' αυτό τον τρόπο (250.000 m³ νερού μεταφέρθηκαν από τον Πειραιά προς Αίγινα, Σαλαμίνα και Αγκίστρι το 1990), όπως επίσης και νησιά των **Κυκλάδων** (20.000 m³ το 1990), αλλά ακόμα και στα απομακρυσμένα από την Αθήνα **Δωδεκάνησα** (150.000 m³ το 1990) [4]. Η μεταφορά αυτή γίνεται με τις πολύ γνωστές σε όλους μας **υδροφόρες**, οι οποίες όμως έχουν μικρή για τα δεδομένα αυτής της εργασίας χωρητικότητα (γύρω στα 10.000 m³).

Όμως θαλάσσιες μεταφορές νερού δε γίνονται μόνο στην Ελλάδα. Παρόμοιες λύσεις στα προβλήματα ύδρευσής τους έχουν βρει και άλλες Μεσογειακές χώρες (Ισπανία, Μαρόκο, Αλγερία, Ισραήλ κ.α.). Φυσικά ένας τέτοιος τρόπος ύδρευσης απέχει πολύ από το να μπορεί να χαρακτηριστεί ιδανικός, τόσο λόγω της **αμφίβολης ποιότητας** του νερού, όσο και λόγω του **δυσβάστακτου οικονομικού κόστους** που συνεπάγεται.

Αντιθέτως οι περιπτώσεις μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων νερού είναι σαφώς λιγότερες. Στο χρονικό διάστημα 1925-1950, το Κουβεΐτ εισήγαγε νερό από το Shatt-al-Arab που βρίσκεται στη Basra με ρυθμό 80.000-90.000 γαλόνια/ημέρα (303-341 m³ την ημέρα). Τα δεξαμενόπλοια που μετέφεραν το νερό αυτό διένειαν απόσταση περίπου 180 χιλιομέτρων. [1] Πότε-πότε γίνεται και μεταφορά νερού

από την Ευρώπη στο Γιβραλτάρ, ενώ τα νησιά Curacao & Aruba υδρεύονται συστηματικά από δεξαμενόπλοια που επιστρέφουν από τη Βόρεια Αμερική (σημείο υδροληψίας είναι ο ποταμός Hudson). [4]

Στις αρχές της δεκαετίας του '60, το Χογκ Κογκ παρουσίασε προβλήματα λειψυδρίας λόγω της χαμηλής βροχόπτωσης και για να τα λύσει μίσθωσε περίπου 50 δεξαμενόπλοια χωρητικότητας 20.000 τόνων (dwt) τα οποία μετέφεραν εκεί νερό προερχόμενο από ποτάμια της Λαϊκής Δημοκρατίας της Κίνας.

Πρόσφατα ένα δεξαμενόπλοιο (supertanker) από την Ταϊβάν (100.000 tons-dwt) μισθώθηκε για να μεταφέρει 83.000 m³ νερό από το λιμάνι Lavera που βρίσκεται στη Νότια Γαλλία στην Tarragona της Ανατολικής Ισπανίας, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε ένα νέο πετροχημικό συγκρότημα. [2]

Ακόμα εταιρεία που εδρεύει στη Μασσαλία της Νότιας Γαλλίας πραγματοποιεί εξαγωγές πόσιμου νερού σε χώρες της Αφρικής (όχι μόνο της Βόρειας, αλλά και της Δυτικής), όπως και σε χώρες του Περσικού Κόλπου. [3]

2

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕ ΔΕΞΑΜΕΝΟΠΛΟΙΑ

2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ
2.2	ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ-ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΟΙΟΥ
2.3	ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΠΛΟΙΟΥ
2.4	ΧΡΟΝΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΛΟΙΟΥ - ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
2.5	ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΛΙΜΕΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ & ΧΕΡΣΑΙΑ
2.6	ΕΡΓΑ - ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΛΥΣΕΩΣ
	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λύση της μεταφοράς πόσιμου νερού με δεξαμενόπλοια έχει προταθεί κατά το παρελθόν σε πολλές περιπτώσεις όπου οι άλλες μέθοδοι παροχής νερού είναι είτε πολύ **ακριβές** (λόγω του όγκου των έργων που πρέπει να γίνουν) είτε **χρονοβόρες**. Σε καμία περίπτωση πάντως δεν έχει αποτελέσει η μεταφορά του νερού με tanker (κυρίως λόγω του μεγάλου κόστους που συνεπάγεται) **μόνιμη** λύση του προβλήματος της ύδρευσης οποιασδήποτε περιοχής του πλανήτη μας.

Παρόλ' αυτά, μεταφορές μεγάλων ποσοτήτων νερού (όπως φαίνεται και στο προηγούμενο κεφάλαιο) έχουν γίνει και μάλιστα με μεγάλη (εμπορική κυρίως) επιτυχία. Στην ευρύτερη περιοχή της πατρίδας μας ιδιαίτερα, υπάρχει η πολύ γνωστή περίπτωση μεταφοράς νερού στη Σαουδική Αραβία από εταιρεία ελληνικών συμφερόντων με αντάλλαγμα ίσο όγκο πετρελαίου.

Στις επόμενες σελίδες θα περιγραφεί γενικά ο τρόπος κατά τον οποίο είναι δυνατόν να γίνει μεταφορά μεγάλων όγκων νερού ύδρευσης με δεξαμενόπλοια. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της ιδιαιτερότητας της συγκεκριμένης λύσης και του χώρου από τον οποίο εκπορεύεται (ναυτιλιακές εταιρείες) η συλλογή στοιχείων και πληροφοριών ήταν εξαιρετικά δύσκολη και επίπονη. Στο παραπάνω πρόβλημα συμβάλλει και η περιορισμένη και αποσπασματική ξένη αλλά και εγχώρια βιβλιογραφία.

2.2 ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ - ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΟΙΟΥ

Τόσο στο πρόσφατο όσο και στο απώτερο παρελθόν μεταφορές έχουν γίνει με κάθε είδους και μεγέθους πλοία. από τις γνωστές μας υδροφόρες που έχουν χωρητικότητα μερικών εκατοντάδων m³, μέχρι τα τεράστια δεξαμενόπλοια των 250.000 μέχρι και 600.000 Dwt.

Στον **πίνακα 2.1** φαίνονται οι διαστάσεις και τα κύρια χαρακτηριστικά των πετρελαιοφόρων δεξαμενοπλοίων που είναι διαθέσιμα στην αγορά.

από τα πλοία αυτά μπορούμε να διαλέξουμε ανάλογα με την κάθε εφαρμογή το προσφορότερο μέγεθος. Φυσικά διαφορετικό μέγεθος θα χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση της συνεχούς παροχής πόσιμου νερού και άλλο στην ευκαιριακή μεταφορά ορισμένης ποσότητας. Όπως μπορούμε να καταλάβουμε από τα παραπάνω, οι παράμετροι που διέπουν το πρόβλημα της διαστασιολόγησης των απαιτούμενων έργων και της επιλογής του κατάλληλου πλοίου είναι πολλές και εξαρτώνται πολλές φορές από τις εκάστοτε ευκαιρίες που μπορεί να παρουσιαστούν. Για παράδειγμα μπορώ να αναφέρω τη διαρκώς μεταβαλλόμενη **αγορά** κτήσεως και ενοικιάσεως των ίδιων των δεξαμενοπλοίων. Μέσα σε λίγους μήνες είναι δυνατόν να πέσουν, αλλά και να ανέβουν, οι τιμές τους έως και κατά 50%. Ακόμα μεγάλο ρόλο παίζει και η παράμετρος της **διαθεσιμότητας** στη χρονική στιγμή της μεταφοράς του συγκεκριμένου tanker που επιλέξαμε.

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΦΟΡΩΝ ΔΕΞΑΜΕΝΟΠΛΟΙΩΝ

Dwt (tons)	εκτόπισμα (tons)	Μήκος (m)	Πλάτος (m)	Ύψος (m)	Μέγιστο Βύθισμα (m)
700		48	8.6	4.2	3.8
1.000		53	9.1	4.7	4.1
2.000		68	10.2	5.5	4.8
3.000		81	11.3	6.3	5.4
4.000		92	12.3	6.9	5.9
5.000		102	13.3	7.5	6.3
6.000		111	14.1	8.1	6.7
8.000		126	15.7	9.0	7.4
10.000		140	17.2	9.8	7.9
12.000		150	18.4	10.4	8.3
15.000		163	20.0	11.2	8.8
17.000		170	21.0	11.7	9.1
20.000		178	22.4	12.3	9.5
25.000	31.000	190	24.2	13.0	10.5
30.000		205	25.8	13.6	10.8
35.000		208	27.4	14.2	11.0
40.000		215	29.0	14.8	11.2
45.000		223	30.0	15.5	11.6
50.000	61.000	230	31.0	16.2	12.0
65.000		250	33.0	18.0	13.3
75.000	90.000	255	34.0	18.5	13.8
85.000		260	38.0	19.2	14.0
100.000	119.000	280	40.0	20.6	15.0
125.000	152.000	288	41.0	21.5	17.0
150.000	180.000	295	43.0	22.0	18.0
175.000	210.000	300	45.0	23.0	19.0
200.000	235.000	310	47.0	23.5	19.5
300.000		330	53.5	32.0	25.0
450.000		380	68.0	33.0	28.0
550.000		415	72.0	36.0	28.6
700.000		450	76.2	39.6	30.0

2.3 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΠΛΟΙΟΥ

Θα πρέπει αρχίζοντας να σημειώσω πως τόσο η τεχνική βιβλιογραφία, όσο και η καθημερινή πρακτική είναι πολύ φτωχή στην περίπτωση του καθαρισμού των δεξαμενών των tankers που έχουν κατά το παρελθόν μεταφέρει πετρελαιοειδή προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για μεταφορά νερού.

Αντίθετα, πολλές πηγές πραγματεύονται τον καθαρισμό των tankers για να αλλάξουν το φορτίο τους από ένα είδος πετρελαιοειδούς σε άλλο (από **crude oil** σε **gasoline** για παράδειγμα). Οι πρακτικές που χρησιμοποιούνται σ' αυτές τις περιπτώσεις έχουν ως σκοπό τον καθαρισμό των δεξαμενών από τα **στερεά κατάλοιπα** του πετρελαίου. Αυτό γίνεται αφού καθαριστούν τα τοιχώματά τους από το πετρέλαιο, είτε με νερό (ψεκασμός, δημιουργία τεχνητής ομίχλης, ξέβγαλμα), είτε με χημικά καθαριστικά, είτε ακόμα και με αργό πετρέλαιο. Φυσικά όλων των παραπάνω προηγείται το γνωστό και απολύτως απαραίτητο σε όλες τις περιπτώσεις **gas free** που σκοπό έχει την απομάκρυνση από τις δεξαμενές όλων των επικίνδυνων και εύφλεκτων αερίων προκειμένου να προστατευτεί τόσο η υγεία του συνεργείου καθαρισμού, όσο και το ίδιο το πλοίο από πιθανή έκρηξη που μπορεί να προκληθεί αν δημιουργηθεί **σπίθα** λόγω του στατικού ηλεκτρισμού που αναπτύσσεται στα τοιχώματα των δεξαμενών κατά τη διάρκεια του καθαρισμού. Το gas free μπορεί να γίνει είτε με μέσα που διαθέτει το ίδιο το πλοίο (σύστημα εξαερισμού) είτε με άλλα μέσα (χρησιμοποιούνται ακόμα και μεγάλοι -μη ηλεκτρικοί- ανεμιστήρες, με προσοχή ώστε να μην υπάρξει επαφή φτερωτής και μεταλλικού περιβλήματος του ανεμιστήρα). [17]

Κατόπιν τούτων, το συνεργείο πρέπει να αφαιρέσει τα στερεά κατάλοιπα τρίβοντας τα τοιχώματα και τον πυθμένα των δεξαμενών με κομμάτια υφάσματος. Αυτά τα κατάλοιπα των καταλοίπων, καθώς δεν μπορούν να απορριφθούν στη θάλασσα για περιβαλλοντικούς λόγους, οδηγούνται σε ειδικά σχεδιασμένες δεξαμενές, τα λεγόμενα **slope tanks**, όπου και παραμένουν.

Για την περίπτωση του καθαρισμού των δεξαμενών προκειμένου να μεταφερθεί νερό ύδρευσης, πρέπει πέρα από τα προηγούμενα να γίνει και οσμητικός (η καλύτερα **αποσμητικός**) καθαρισμός, για να απαλλαγούν οι δεξαμενές από την οσμή του πετρελαίου (κανενός είδους διύλιση δε μπορεί να αφαιρέσει την μυρωδιά αυτή). Πέραν τούτων, θα πρέπει να γίνουν και μετρήσεις καταλληλότητας του νερού μετά τη φόρτωσή του.

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

Η παραπάνω διαδικασία εκτός από επίπονη είναι και ιδιαίτερα επικίνδυνη, καθώς είναι πολύ δύσκολο (ειδικά στην Ελλάδα όπου δεν υπάρχουν ούτε πολλές περιπτώσεις μεταφοράς νερού με tankers, ούτε η απαραίτητη εμπειρία) οι αρμόδιοι μηχανικοί να αναλάβουν την ευθύνη της υγείας εκατομμυρίων ανθρώπων υπογράφοντας την καταλληλότητα του νερού μετά από μια τέτοια μεταφορά.

2.4 ΧΡΟΝΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΛΟΙΟΥ - ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Τα δεξαμενόπλοια κινούνται με ταχύτητες που ξεπερνούν τους **17** κόμβους (1 κόμβος = 1 ν. μίλι την ώρα = 1.852 km/h). Η σχετικά μεγάλη αυτή τους ταχύτητα σε συνδυασμό με την τεράστια χωρητικότητά τους, τους έχουν δώσει τον τίτλο του κυρίαρχου των μεταφορών παγκοσμίως. Ακόμα, με σωστές λιμενικές εγκαταστάσεις, ο χρόνος εκφόρτωσης και παράδοσης του φορτίου είναι μικρός. Βέβαια στις συνηθισμένες εφαρμογές το παραπάνω απέχει αρκετά από την πραγματικότητα, καθώς η **εξυπηρέτηση** των δεξαμενοπλοίων από τα λιγότερο οργανωμένα λιμάνια είναι φτωχή (σε πολλές περιπτώσεις μεγάλα δεξαμενόπλοια περιμένουν αρκετές μέρες μέχρι να μπορέσουν να ξεφορτώσουν). Στις δικές μας εφαρμογές θα θεωρήσουμε πως οι λιμενικές εγκαταστάσεις που θα κατασκευαστούν, θα χρησιμοποιούνται -στην περίοδο εφαρμογής της μεταφοράς νερού- αποκλειστικά για τα tankers μεταφοράς νερού.

Εκτός από το χρόνο αναμονής των δεξαμενοπλοίων, ο οποίος διαφέρει σε κάθε εφαρμογή, υπάρχει ο χρόνος που απαιτείται για τους ελιγμούς ελλιμενισμού αλλά και ο καθαρός χρόνος εκφόρτωσής τους. Στο σημείο αυτό θα εξετάσουμε τον **καθαρό** χρόνο εκφόρτωσης για tankers που μεταφέρουν υγρό φορτίο, διότι άλλα ισχύουν για αυτά και άλλα για μεταφορά ξηρού φορτίου.

Στις επόμενες σελίδες δίνεται το παράδειγμα ημερήσιας εκφόρτωσης 120.000 m³ από tanker σε κυκλική δεξαμενή εξίσωσης διαμέτρου 10m προκειμένου να τροφοδοτηθεί αντλιοστάσιο με ρυθμό 5.000 m³ την ώρα.

Ο **πίνακας 2.2** δείχνει την πορεία της εκφόρτωσης από το δεξαμενόπλοιο στη δεξαμενή και από εκεί στο αντλιοστάσιο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στην τρίτη, την τέταρτη και την πέμπτη στήλη φαίνονται αντίστοιχα οι ποσότητες που αδειάζει το tanker, γεμίζει η δεξαμενή και οδηγούνται στο αντλιοστάσιο. Κατόπιν υπολογίζεται ο όγκος που αποθηκεύεται και ανάγεται σε υψομετρική διαφορά για τη συγκεκριμένη επιφάνεια της δεξαμενής (78.5 m²). Στην τελευταία στήλη παρουσιάζεται το απόλυτο ύψος της επιφάνειας του νερού στη δεξαμενή. από τον πίνακα αυτό προκύπτει ότι το μέγιστο ύψος του νερού στην περίπτωση αυτή είναι 9.64 m, οπότε η δεξαμενή μας θα πρέπει να έχει τουλάχιστον 10 m βάθος.

Το **σχήμα 2.3** δείχνει πιο παραστατικά την εξέλιξη της στάθμης του νερού στη

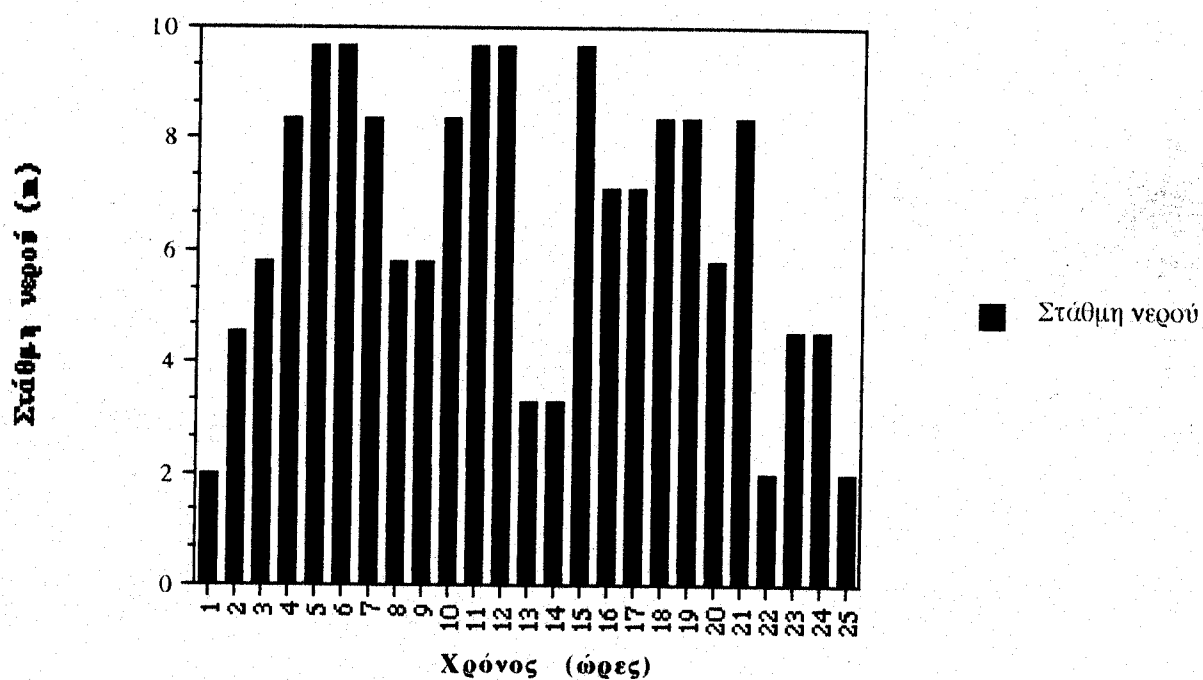
ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

δεξαμενή, κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Τα στοιχεία για τα σχήματα αυτά παραχωρήθηκαν από τη διεύθυνση Δ6 του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε..

Σχήμα 2.3:

ΕΞΕΛΙΞΗ ΣΤΑΘΜΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ
ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ TANKER



FLOW ROUTING (TANKER - RESERVOIR - P.STATION)

time	dt	tanker	vol	vol	vol	reserv	dh	water
hour	hr	disch.	enter	leav.	stored	area	m	elevat
0						78.50		2.00
1	1	5200	5200	5000	200	78.50	2.55	4 55
2	1	5100	5100	5000	100	78.50	1.27	5.82
3	1	5200	5200	5000	200	78.50	2.55	8.37
4	1	5100	5100	5000	100	78.50	1.27	9.64
5	1	5000	5000	5000	0	78.50	0.00	9.64
6	1	4900	4900	5000	-100	78.50	-1.27	8.37
7	1	4800	4800	5000	-200	78.50	-2.55	5.82
8	1	5000	5000	5000	0	78.50	0.00	5.82
9	1	5200	5200	5000	200	78.50	2.55	8.37
10	1	5100	5100	5000	100	78.50	1.27	9.64
11	1	5000	5000	5000	0	78.50	0.00	9.64
12	1	4500	4500	5000	-500	78.50	-6.37	3.27
13	1	5000	5000	5000	0	78.50	0.00	3.27
14	1	5500	5500	5000	500	78.50	6.37	9.64
15	1	4800	4800	5000	-200	78.50	-2.55	7.10
16	1	5000	5000	5000	0	78.50	0.00	7.10
17	1	5100	5100	5000	100	78.50	1.27	8.37
18	1	5000	5000	5000	0	78.50	0.00	8.37
19	1	4800	4800	5000	-200	78.50	-2.55	5.82
20	1	5200	5200	5000	200	78.50	2.55	8.37
21	1	4500	4500	5000	-500	78.50	-6.37	2.00
22	1	5200	5200	5000	200	78.50	2.55	4.55
23	1	5000	5000	5000	0	78.50	0.00	4.55
24	1	4800	4800	5000	-200	78.50	-2.55	2.00
sum =		120000						

Πίνακας 2.2:

ΠΟΡΕΙΑ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ
ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ TANKER

2.5 ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΛΙΜΕΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΧΕΡΣΑΙΑ **ΕΡΓΑ - ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΛΥΣΕΩΣ**

Όπως είπαμε και προηγούμενα, τόσο η ταχύτητα όσο και ο χρόνος κύκλου της μεταφοράς νερού με δεξαμενόπλοια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα **λιμενικά** αλλά και τα **χερσαία** έργα που θα κατασκευαστούν. Τα έργα αυτά ως σκοπό έχουν την ασφαλή και ταχεία φόρτωση και εκφόρτωση του νερού (θαλάσσια έργα), καθώς και τη μεταφορά του από την ακτή στην κατανάλωση (χερσαία έργα).

Τα θαλάσσια έργα που απαιτούνται αφορούν κυρίως στην κατασκευή ναυδέτων φόρτωσης και εκφόρτωσης και στην τοποθέτηση των υποθαλάσσιων αγωγών που άγουν και απάγουν το νερό απ' αυτά. Τα ναύδετα που θα χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση μας θα είναι τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιούνται σε πετρελαϊκές εγκαταστάσεις. Τα πλέον πρόσφορα συστήματα ναυδέτων είναι τα λεγόμενα **Ναύδετα Ενός Σημείου** (Single Point Moorings, S.P.M.'s). Στη συνέχεια της εργασίας και συγκεκριμένα στο **κεφάλαιο 3** θα συναντήσουμε και θα περιγράψουμε με μεγαλύτερη λεπτομέρεια 2 τύπους S.P.M.'s, τον **S.A.L.M.** (Single Anchor Leg Mooring) και τον **S.P.B.M.** (Single Point Buoy Mooring).

Το κύριο χαρακτηριστικό των θέσεων παραβολής των tankers είναι η μεγάλη **απόστασή** τους από την ακτή (αρκετές εκατοντάδες μέτρα, ακόμα και χιλιόμετρα) -κάτι που κάνει εξαιρετικά δαπανηρή την τοποθέτηση του υποθαλάσσιου αγωγού- και το σχετικά μεγάλο **βάθος** τους που πρέπει να φτάνει τα 20 m (λίγο μεγαλύτερο από το βύθισμα του tanker).

Τα χερσαία έργα αφορούν στην κατασκευή τόσο **Δεξαμενής** Εξίσωσης, όσο και **αντλιοστασίου** που μεταφέρει το νερό προς το διυλιστήριο και την κατανάλωση.

Στο παρακάτω **σχήμα 2.4** φαίνεται ενδεικτικό χρονοδιάγραμμα κατασκευής των χερσαίων έργων για μεταφορά 200.000 m³ νερού ημερησίως και έχει παρθεί από τη μελέτη [6]. Ο χρόνος παράδοσης των έργων προσδιορίζεται στους 10 μήνες.

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

Σχήμα 2.4: ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΧΕΡΣΑΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΧΕΛΩΟ ΜΕ TANKERS

ΜΗΝΕΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ΕΓΚΑΤΑΣΤ. ΕΡΓΟΤΑΞΙΩΝ	****	**									
ΝΕΑ ΟΔΟΣ		***	****	*****	*****	**					
ΔΕΞΑΜΕΝΗ		***	****	*****	*****	*****	*****	*			
ΑΓΩΓΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ			****	*****	*****	*****	*****	*****	**		
ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΑ Π/Μ			**	*****	*****	*****	*****				
ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΑ Η/Μ							*****	*****	*****	**	
ΔΟΚΙΜΕΣ - ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ						*****	*****	*****	*****	*****	

2.6 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Για να αντιληφθούμε το κόστος που συνεπάγεται η μεταφορά με δεξαμενόπλοια θα πρέπει να σκεφτούμε ότι ο ναύλος που χρεώνεται συνήθως για μεταφορά **πετρελαίου** με tankers αυτού του μεγέθους φτάνει και τα 10 U.S.\$ (2.500 δρχ) ανά κυβικό μέτρο, αλλά για μεγάλες αποστάσεις μεταφοράς (π.χ. Arabian Gulf-Continent). Φυσικά μια τέτοια τιμή είναι απαγορευτική για οποιαδήποτε μεγάλης διάρκειας μεταφοράς νερού που προορίζεται είτε για ύδρευση είτε -ακόμα περισσότερο- για άρδευση.

Κάνοντας κάποια ορθολογικότερη εκτίμηση του **λειτουργικού κόστους** ενός δεξαμενοπλοίου 250.000 tons dwt για μεταφορά 250.000 m³ σε απόσταση λ.χ. 75 ν.μ. (απόσταση Αχελώου - Άσπρων Σπιτιών) βρίσκουμε ότι η ποσότητα των **καυσίμων** που θα χρησιμοποιήσει θα είναι 150 gr πετρελαίου ανά ίππο ισχύος και ώρα πλεύσης. Υπολογίζοντας ότι ένα τέτοιο δεξαμενόπλοιο το κινούν μηχανές ισχύος 40.000 ίππων και ότι η απόσταση καλύπτεται σε 5 ώρες, βρίσκουμε κόστος καυσίμων 1.200.000 δρχ (αγορά πετρελαίου 40.000 δρχ/τόνος). Στα παραπάνω αν προσθέσουμε τα καύσιμα που θα κάψουν οι **γεννήτριες** του πλοίου και το κόστος των **λιπαντικών**, προκύπτει κόστος γύρω στα 2.000.000 δρχ ανά ταξίδι (4.000.000 δρχ ανά δρομολόγιο). Στα παραπάνω θα πρέπει να προσθέσουμε και τα **πάγια έξοδα** του πληρώματος (μισθοί, διατροφή κλπ) που φτάνουν τις 500.000 δρχ ημερησίως. Έτσι, για τον πλήρη κύκλο φόρτωση-μετάβαση-εκφόρτωση-επιστροφή που διαρκεί 3 μέρες χρειάζονται περίπου 5.500.000 δρχ, για τη μεταφορά 250.000 m³, δηλ. **22 δρχ/m³**. Φυσικά η παραπάνω τιμή καλύπτει μόνο τα έξοδα μεταφοράς και δεν περιλαμβάνει γενικά έξοδα, απόσβεση του πλοίου και το **κέρδος** του πλοιοκτήτη. Τα τελευταία μπορεί να ανεβάσουν την παραπάνω τιμή κατά 100% ως και 500%, ανάλογα με το χρόνο μίσθωσης, τις συνθήκες της αγοράς και τη οικονομική ανάγκη του πλοιοκτήτη. Πάντως μία τιμή γύρω στις **50 δρχ/m³** θα πρέπει να θεωρείται πολύ καλή, αναφερόμενοι πάντα στην καθαρή μεταφορά του νερού και μη υπολογίζοντας ούτε το κόστος του καθαρισμού των δεξαμενοπλοίων, ούτε το κόστος χρήσης των λιμενικών εγκαταστάσεων (στην περίπτωση που αυτές υπάρχουν) ή της απόσβεσής τους (στην περίπτωση κατασκευής τους), αλλά ούτε και το κόστος άντλησης του νερού. Τα παραπάνω παρουσιάζονται παραστατικότερα στον **πίνακα 2.5**

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

Πίνακας 2.5: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
ΜΕ TANKERS

ΕΙΔΟΣ ΕΞΟΔΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΝΑ ΚΥΚΛΟ	ΠΟΣΟ ΑΝΑ ΕΞΟΔΟ (δρχ)	ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΝΕΡΟΥ (δρχ/m ³)
ΚΛΥΣΙΜΑ κινητήρα	60 tons	2.400.000	9.6
γεννητριών	20 tons	800.000	3.2
ΛΙΠΑΝΤΙΚΑ		800.000	3.2
ΕΞΟΔΑ ΠΛΗΡΩΜΑΤΟΣ		1.500.000	6
ΚΕΡΔΟΣ ΠΛΟΙΟΚΤΗΤΗ	125%	6.875.000	28

Τελική επιβάρυνση νερού
(τιμή μεταφοράς ΜΟΝΟ) : ~ 50 δρχ/m³

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μέχρι πρότινος, σκεπτόμενοι τη θαλάσσια μεταφορά νερού, στο μυαλό μας ερχόταν αυτομάτως η λύση της μεταφοράς με δεξαμενόπλοια, την οποία πραγματεύτηκα ήδη στο προηγούμενο κεφάλαιο αυτής της εργασίας.

Εσχάτως όμως επινοήθηκε μία **νέα** μέθοδος. Η μεταφορά του νερού σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή γίνεται μέσω “πλαστικών” εύκαμπτων **ασκών** πολύ μεγάλου μεγέθους. Παρόλο που η πλήρης ανάλυση της κίνησης και της συμπεριφοράς των ασκών κατά την πορεία τους τόσο μέσα όσο και έξω από τη θάλασσα είναι εξαιρετικά πολύπλοκη, η όλη σύλληψη της λειτουργίας τους είναι απλούστατη. Οι αρχές που τη διέπουν είναι οι αρχές κίνησης μεμβράνης στο νερό.

Η ιδέα για την κατασκευή των ασκών ανοίκει στον Καναδό **James Cran** και την εκμετάλλευσή τους έχει αναλάβει η εταιρεία **MEDUSA** την οποία προεδρεύει ο ίδιος ο εφευρέτης. [14]

Ο κάθε ασκός είναι φτιαγμένος από εύκαμπτο **συνθετικό υλικό** που έχει την υφή και τη μορφή υφάσματος. Όταν ο ασκός είναι άδειος επιπλέει (ακριβώς όπως επιπλέει κάποιο αδιάβροχο φύλλο) πάνω στην επιφάνεια της θάλασσας. Αντίθετα, όταν γεμίζει, το μεγαλύτερο μέρος του (άνω του 95%) **βυθίζεται**, λόγω όμως της διαφορετικής πυκνότητας θαλάσσιου-καθαρού ύδατος, ένα μικρό κομμάτι του προεξέχει. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει σ’ αυτό το σημείο η αλληλεπίδραση του ασκού με τους κυματισμούς της θάλασσας. Σύμφωνα με πειράματα που έγιναν από την κατασκευάστρια εταιρεία σε δεξαμενή προσομοίωσης κυμάτων, τα **κύματα** της θάλασσας συνεχίζουν κανονικά τη διαδρομή τους μέσα στον βυθισμένο και εξαιρετικά εύκαμπτο ασκό διατηρώντας όλη τους σχεδόν την ενέργεια αναλλοίωτη. Χάρης στο παραπάνω, τα τοιχώματα του ασκού δε δέχονται ιδιαίτερα μεγάλες δυνάμεις, πράγμα το οποίο μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε στην κατασκευή του φθινό υλικό.

Το **μέγεθος** των ασκών είναι εντυπωσιακά μεγάλο, καθώς προβλέπεται κατασκευή ασκού εκτοπίσματος 2.000.000 m³, δηλαδή ο κάθε ασκός να είναι ικανός να μεταφέρει τόσο νερό όσο η κατανάλωση της Αθήνας για τρεις περίπου μέρες. Ένας ασκός τέτοιου μεγέθους θα έχει βύθισμα γύρω στα 25m, το οποίο όμως επιβάλλει την απομάκρυνση των σταθμών φόρτωσης και εκφόρτωσης από

την ακτή. Φυσικά πιο εύκολη είναι η κατασκευή μικρότερων ασκών, κάτι που διευκολύνει σε κάθε περίπτωση μεταφοράς την εξεύρεση της κατάλληλης λύσης.

Οι ασκοί κινούνται με τη βοήθεια **ρυμούλκού**. Η ρυμούλκηση τους μπορεί να γίνει από τα συνηθισμένα (και ευρέως χρησιμοποιούμενα σε κάθε λιμάνι) ρυμουλκά μεσαίου μεγέθους, και με ταχύτητα που να φτάνει τους 2 κόμβους.

Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου βρίσκεται στο **ελάχιστο κόστος** που συνεπάγεται. Το δε κόστος αυτό εξαρτάται κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό από τον τρόπο φόρτωσης και εκφόρτωσης του νερού. Όπως θα περιγράψω και εκτενέστερα πιο κάτω, η εταιρεία κατασκευής των ασκών προτείνει η μεν φόρτωση να γίνεται είτε απ'ευθείας από την πηγή, είτε από δεξαμενή συγκέντρωσης (εδώ ας σημειωθεί ότι λόγω της υψής του υλικού του ασκού δε θα υπάρχει εγκλωβισμένος αέρας μέσα του, οπότε κατά τη φόρτωση του νερού δε θα δημιουργηθεί κανένα πρόβλημα εκκένωσής του), η δε εκφόρτωση μέσω σταθμού SALM ή ακόμα και μέσω του φθηνότερου SPBM, οι οποίοι αμφότεροι χρησιμοποιούνται για την εκφόρτωση πετρελαίου.

Δυστυχώς η σκέψη αυτή δεν έχει προς το παρόν δοκιμαστεί στην πράξη παρόλο που στο Ισραήλ έχει γίνει εδώ και 5 περίπου χρόνια μια αρκετά εκτενής μελέτη εφαρμογής τους (φυσικά για τα δεδομένα του Ισραήλ), από την Ισραηλινή εταιρεία **TAHAL CONSULTING ENGINEERS LTD.** από τη μελέτη αυτή, καθώς και από φυλλάδια της κατασκευάστριας εταιρείας προέρχονται οι περισσότερες από τις πληροφορίες που παρατίθενται στο υπόλοιπο του κεφαλαίου.

3.2 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΑΣΚΟΥ**3.2.1 ΣΧΗΜΑ - ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΚΟΥ**

Οι ασκοί είναι σχεδιασμένοι ώστε αφενός να γεμίζουν με καθαρό νερό και αφετέρου να μεταφέρονται επιπλέοντας στη θάλασσα, με τη βοήθεια ρυμούλκου.

Οι ασκοί αποτελούνται από δύο επίπεδα επιμήκη φύλλα υφάσματος που ενώνονται γύρω από τις άκρες τους (των φύλλων) μορφώνοντας **υδροδυναμικό σχήμα**. Τόσο η κάτοψη όσο και μία εγκάρσια τομή του ασκού παρατίθενται στα παρακάτω σχέδια **3.1** και **3.2**. Το **μπροστινό** μέρος του ασκού συντίθεται όταν δύο κυκλικά τόξα τέμνονται υπό γωνία 60 deg. Αντίστοιχα, το **πίσω** μέρος του αποτελείται από ευθύγραμμα τμήματα, τεμνόμενα υπό γωνία 30 deg. Το σχήμα αυτό δοκιμάστηκε σε δεξαμενή ρυμούλκησης στο Κέντρο Ερευνών της British Columbia, στο Vancouver του Καναδά. Κατά τα πειράματα αυτά βρέθηκε ότι μικρότερη γωνία συναρμογής της πλώρης, ενώ συνεπάγεται μικρή μείωση της απαιτούμενης δύναμης έλξης (για τον ίδιο μεταφερόμενο όγκο), οδηγεί σε απαράδεκτα επιμήκεις ασκούς. Οι ευθύγραμμες πλευρές της πρύμνης δημιουργούν συνθήκες σταθερότητας κατά τη ρυμούλκηση. Το προηγούμενο αποδείχθηκε και πειραματικά, σε στερεά όμως ομοιώματα, υπό κλίμακα 1:500. Η επαλήθευση των ανωτέρω και για μεγαλύτερα αλλά και εύκαμπτα ομοιώματα έχει γίνει, αλλά προς το παρόν, μόνο για μικρές ταχύτητες. Παρόλ' αυτά, τα όρια της ταχύτητας κατά την οποία ο ασκός παύει να είναι σταθερός, δεν έχουν ακόμα προσδιοριστεί.

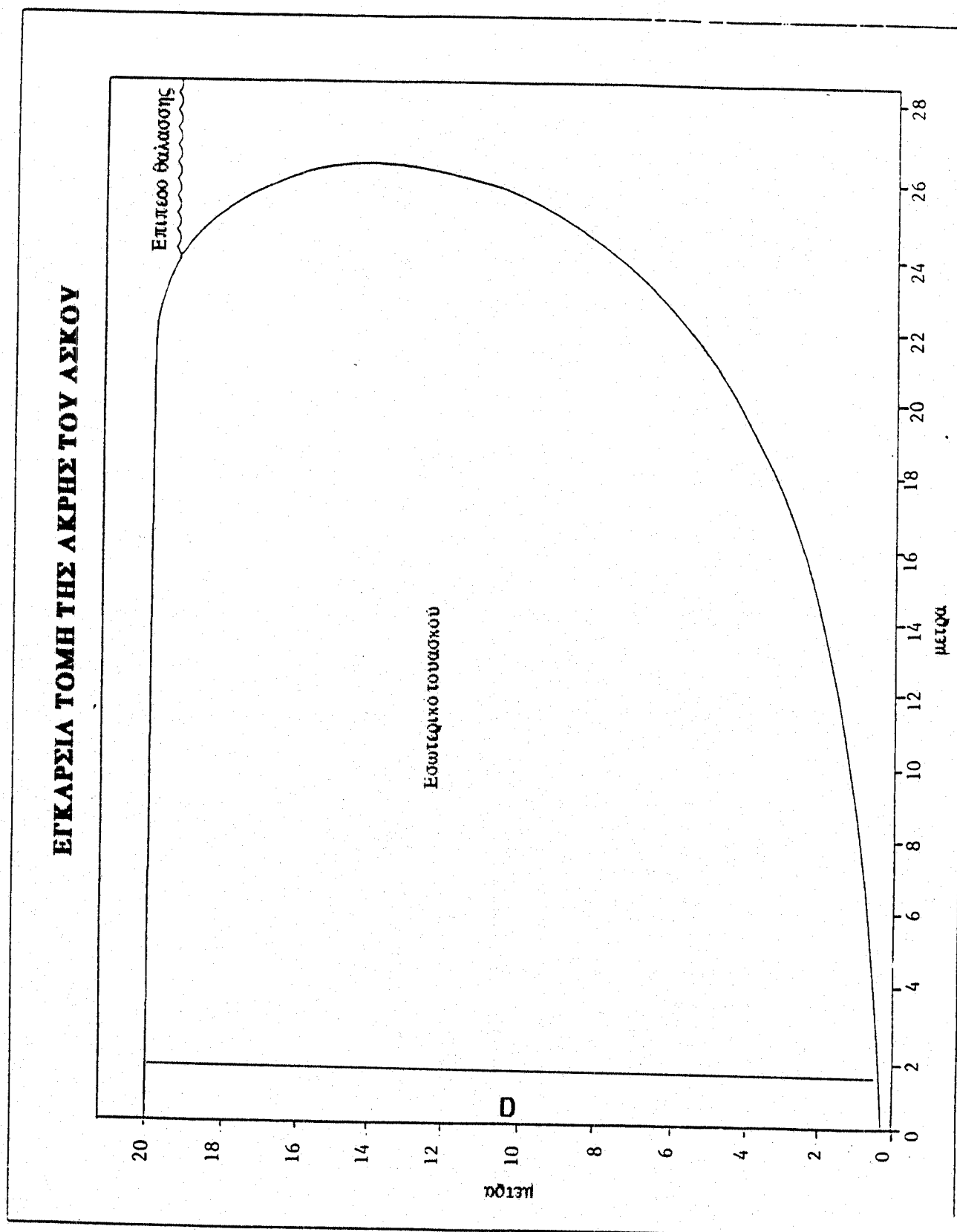
Η **γεωμετρία** του ασκού περιγράφεται από τούς παρακάτω τύπους, όπου **L** είναι το μήκος, **W** το πλάτος και **D** το βάθος του ασκού.

Εμβαδόν κατόψεως:

$$0.14941 * L^2$$

Όγκος περιεχομένων:

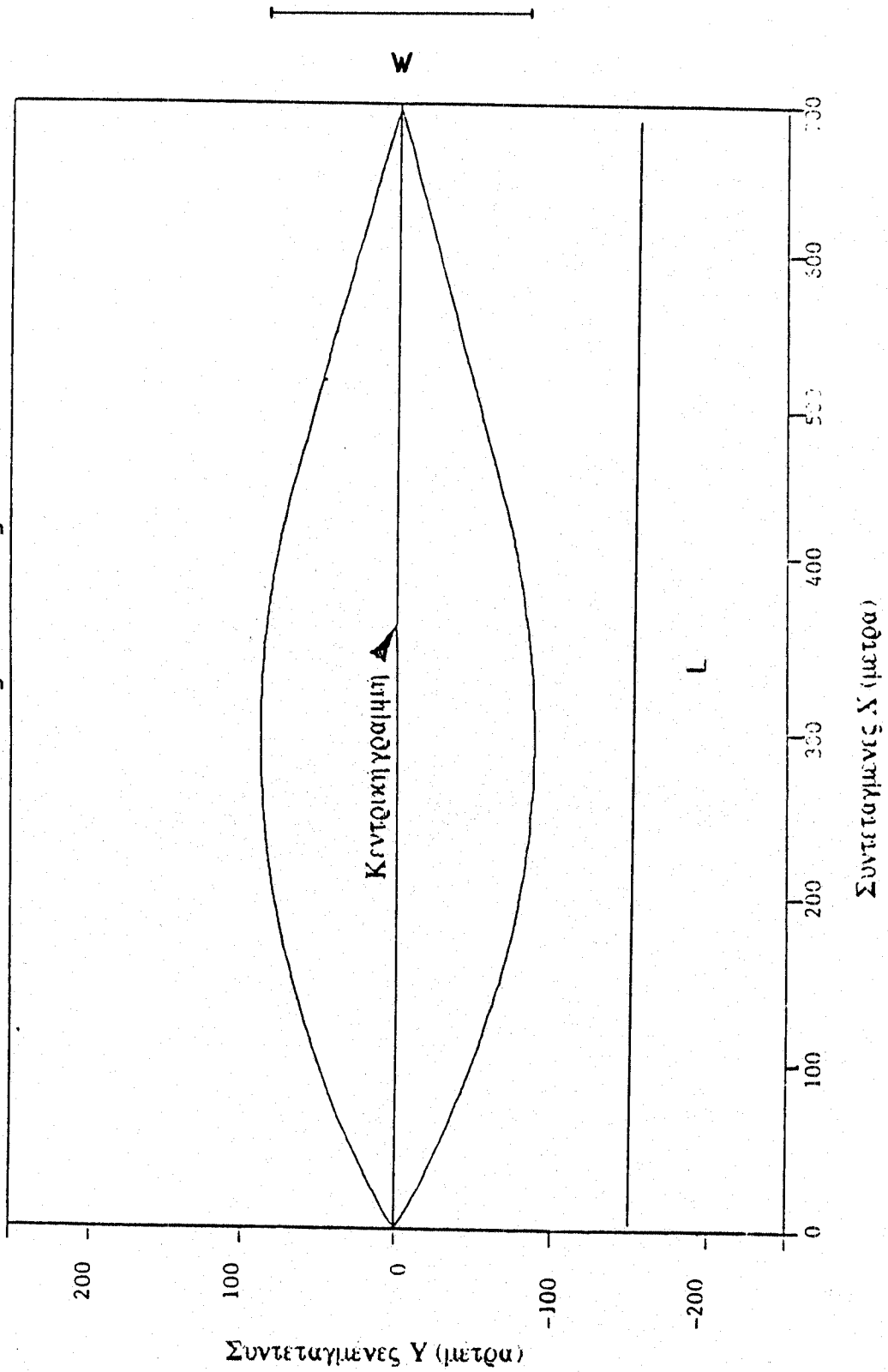
$$0.95 * \text{εμβαδόν} * D * (1.03)^3$$



Σχήμα 3.2: ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΤΟΜΗ ΤΗΣ ΑΚΡΗΣ ΤΟΥ ΑΣΚΟΥ

ΑΣΧΟΣ MEDUSA

Ενδεικτικές διαστάσεις



Σχήμα 3.1: ΚΑΤΟΨΗ ΑΣΚΟΥ

Η σταθερά 0.95 αντικατοπτρίζει τη μείωση του βάθους καθώς η πλώρη του ασκού πλησιάζει την πρόμνη, λόγω βάρους. Ο παράγοντας $(1.03)^3$ αντιπροσωπεύει την επιμήκυνση του υφάσματος όταν ο ασκός είναι γεμάτος, η οποία οφείλεται στη συνεπίπεδη εφελκυστική τάση της επιφάνειάς του. Η τιμή του παράγοντα αυτού είναι βασισμένη σε συντελεστή ασφαλείας 10 που θα τον εξηγήσουμε παρακάτω.

Βρεχόμενη Επιφάνεια:

$$(0.14941 L^2 + 1.94 D * L) * (1.03)^2$$

Ο πρώτος όρος περιγράφει το κάτω μέρος του ασκού, ενώ ο δεύτερος όρος τις πλευρές του και είναι ίσος με : $2 * 0.972 * 0.95 D * 1.05 L$, με το 0.972 να αντιπροσωπεύει το βυθισμένο μέρος του ασκού και το 1.05 L το μήκος της ημιπεριμέτρου.

Συνολικό Εμβαδόν Επιφάνειας του Υφάσματος:

$$2*(\text{εμβαδόν} + L*D)$$

3.2.2 ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΑΣΚΟΥ

Ο ασκός, όταν είναι άδειος, επιπλέει στην επιφάνεια της θάλασσας. Όταν κατά τη διάρκεια της φόρτωσής του αρχίσει να γεμίζει με νερό, το κάτω μέρος του βυθίζεται όπως κάθε επίπεδη οριζόντια επιφάνεια, ενώ το πάνω μέρος του παραμένει πολύ κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας. Το ύφασμα σε όλο του το μήκος και πλάτος υποβάλλεται σε **στατική τάση** οφειλόμενη στη διαφορά πυκνότητας μεταξύ θαλάσσιου και πόσιμου (μεταφερόμενου) ύδατος. Η τάση αυτή έχει, γενικά, μέτρο που μπορεί να βρεθεί από τον τύπο

$$T \text{ (kp/cm}^2\text{)} = 0.0274 * D^2$$

όπου **D** το βάθος του ασκού που μετράται από το μέσο της άνω, μέχρι το μέσο της κάτω επιφάνειάς του (σε m)[13]. Το **βύθισμα** του ασκού αποτελεί το 97.2% του συνολικού βάθους του, ενώ μόνο το υπόλοιπο 2.8% του ασκού βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Αυτό οφείλεται στη μικρότερη πυκνότητα του θαλάσσιου σε σχέση με το μεταφερόμενο καθαρό νερό.

Ο ασκός (στις εξαιρετικά επιμήκεις πάνω και κάτω επιφάνειές του), ως κατασκευή που υποβάλλεται σε **ορθή** μόνο τάση, δεν υπόκειται στους περιορισμούς που διέπουν τις συνηθισμένες κατασκευές και τις εμποδίζουν από το να αποκτούν οποιοδήποτε μέγεθος επιθυμούμε (π.χ. ψηλά κτίρια).

Η αντοχή του ασκού θα πρέπει να είναι ανάλογη του τετραγώνου του βάθους, γεγονός το οποίο επιβάλλει από οικονομικής απόψεως ένα αβαθές, **πλατύ** σχήμα. Ένα τέτοιο σχήμα βοηθάει ακόμα, τόσο στο ότι ο ασκός θα έχει τη δυνατότητα να πλησιάσει κοντύτερα στην ακτή, όσο και στο ότι η ένταση που προκαλείται από τη διέλευση μεγάλων κυμάτων μειώνεται.

Πρόβλημα μπορεί να δημιουργηθεί λόγω της παρουσίας των **λωρίδων ενίσχυσης**, οι οποίες, στην περίπτωση που υποβάλλονται σε συνεχή τάση (π.χ. κατά τη διάρκεια που δέχονται τις δυνάμεις ρυμούλκησης), είναι πιθανό να μην αφήσουν τον ασκό να ανταποκριθεί πλήρως στην κίνηση των κυμάτων, με απρόβλεπτες συνέπειες. Φυσικά, ακόμα και σε αυτή την περίπτωση, η λύση είναι απλή και συνίσταται στην αναίρεση των τοπικών τάσεων που θα δημιουργηθούν, με ενίσχυση της ραφής υφάσματος - λωρίδων ενίσχυσης.

Η ελευθερία που έχουμε να σχεδιάσουμε τον ασκό πρακτικά σε όποιο μέγεθος επιθυμούμε, μας επιτρέπει να κατασκευάσουμε πολύ μεγάλους ασκούς. Ένα πιθανό μέγεθος που παρατίθεται ενδεικτικά είναι :

εκτόπισμα: 2.000.000 m³

μήκος: 747 m

πλάτος: 177 m

βάθος: 22 m

Το μέγεθος που θα χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση μπορεί να προσδιοριστεί από διαδικασίες βελτιστοποίησης.

Το οικονομικό όφελος που προκύπτει από τη χρήση τόσο μεγάλων ασκών δεν οφείλεται στο ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο ασκός, τόσο μικρότερο είναι το κόστος του ανά κυβικό που μεταφέρει, καθώς χοντρικά το κόστος του ασκού είναι ανάλογο με την τέταρτη δύναμη των διαστάσεών του, ενώ το κόστος των περιεχομένων του ασκού αυξάνει στον κύβο, δηλ. γενικά το τελικό κόστος του νερού ανά κυβικό αυξάνεται γραμμικά σε συνάρτηση με το μέγεθος του ασκού

στον οποίο περιέχεται. Παρόλ' αυτά το κόστος της ρυμούλκησης ανά κυβικό μέτρο μειώνεται πολύ σημαντικά για μεγάλους ασκούς, καθώς η δύναμη ρυμούλκησης είναι ανάλογη μόλις του τετραγώνου των διαστάσεων, ενώ όπως είδαμε και πιο πριν, το κόστος των περιεχομένων είναι ανάλογη του κύβου τους. Επομένως το όφελος των μεγάλων ασκών προκύπτει από την **οικονομία στη ρυμούλκηση**.

Ασκοί τέτοιου μεγέθους είναι φυσικό να απαιτούν σχετικά μεγάλους χρόνους απόκρισης στις δυνάμεις έλξης από συμβατικά ρυμουλκά. Η επιτάχυνση μέχρι της τελικής ταχύτητας των 2-3 κόμβων θα διαρκέσει περίπου 2-3 ώρες. Αντίστοιχα για να σταματήσει ο ασκός, θα χρειαστεί περίπου 1 ώρα και 1 χιλιόμετρο διαδρομής. Η επίδραση του ανέμου είναι αμελητέα, αφού μόνο το 2.8% του ασκού εκτίθεται σ' αυτόν και έχοντας μάλιστα επίπεδη και χωρίς ανωμαλίες επιφάνεια προσβολής. Τα κύματα αντιθέτως ασκούν δύναμη στον ασκό, αλλά η δύναμη αυτή υπολογίζεται να ισούται το πολύ με το εν τέταρτο της συνολικής δύναμης ρυμούλκησης, στην περίπτωση που τα κύματα χτυπήσουν τον ασκό εγκάρσια. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στα θαλάσσια ρεύματα, ειδικά αν τα τελευταία δεν είναι απλά επιφανειακά ρεύματα. Η επίδραση των ρευμάτων γίνεται ιδιαίτερα έντονη στην περίπτωση κατά την οποία το βάθος του βυθού είναι μικρό ενώ ο ασκός είναι γεμάτος (π.χ. κατά τη διαδικασία δεσίματός του στα σημεία υδροληψίας και εκφόρτωσης του ύδατος.)

Εξ αιτίας των πολύ μεγάλων δυνάμεων που μπορεί να δημιουργηθούν είτε από τα ρεύματα είτε σε μικρότερη έκταση από τα εγκάρσια κύματα, είναι απαραίτητο το δέσιμο του ασκού να γίνεται από ένα και μόνο σημείο, επιτρέποντάς του να περιστρέφεται ελεύθερα γύρω από το σημείο πρόσδεσης (σημαδούρα-ναύδετο). Το σημείο αυτό θα αποτελεί την κατάληξη του αγωγού τροφοδοσίας, ο οποίος σημειωτέον θα είναι τοποθετημένος στο βυθό. Ο αγωγός αυτός με τη σειρά του θα καταλήγει σε ένα εύκαμπτο μέρος πολύ μεγάλης διαμέτρου, το οποίο και θα συνδέεται με τον ασκό τόσο κατά τη φόρτωση όσο και κατά το άδειασμά του.

Η **ευκαμψία** του ασκού διασφαλίζεται από το γεγονός ότι το 96% περίπου της χωρητικότητάς του χρησιμοποιείται για τη μεταφορά νερού και όχι το 100%.

Άλλο ένα πιθανό πρόβλημα που μπορεί να παρουσιαστεί οφείλεται στις **ταλαντώσεις** που θα προκύψουν στον ασκό κατά τη διέλευση συνεχών και ομαλώς διατεταγμένων κυμάτων, ταλαντώσεις οι οποίες είναι ενδεχόμενο να υπάρξουν λόγω της ελαστικότητας της μεμβράνης - ασκού στην οποία περιέχεται το νερό. Παρόλ' αυτά, βρέθηκε ότι η πρώτη αρμονική είναι πολύ μεγαλύτερη για

τα ομαλώς διατετεγμένα (100 sec.) παρά για τα μεγάλα κύματα (11-13 sec.), τα οποία σε κάθε περίπτωση δεν είναι και συνηθισμένα κατά τη διάρκεια των θυελλών [14]. Οπότε πρακτικά η πιθανότητα να δημιουργηθούν επικίνδυνες αρμονικές ταλαντώσεις είναι πολύ μειωμένη, σχεδιαστικά αμελητέα.

Η εσωτερική πίεση του ασκού είναι αρκετή ώστε να τον κρατάει τεντωμένο στο αρχικό του σχήμα ενάντια στην πίεση που του ασκεί η θάλασσα κατά τη διάρκεια της ρυμούλκησης. Το μόνο πρόβλημα που μπορεί να υπάρξει θα είναι μια **στρέβλωση** η οποία δημιουργείται όταν ρυμουλκηθεί ο ασκός σε διεύθυνση διαφορετική από τη διεύθυνση του άξονά του (banana action), ή όταν προσδεθεί από την πρύμνη **και** από την πλώρη σε προβλήτα. Το παραπάνω μπορεί να βρει εφαρμογή, στην περίπτωση που αποφασιστεί, προκειμένου να μειωθεί το μήκος του “ακριβού” υποθαλάσσιου αγωγού φόρτωσης και εκφόρτωσης, να ρυμουλκείται ο ασκός με τον άξονα πλώρης - πρύμνης παράλληλα με την ακτή, με τη βοήθεια του αναπληρωματικού ρυμουλκού που προβλέπεται να υπάρχει στα σημεία παραβολής.

3.3 ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**3.3.1 ΤΑΣΕΙΣ - ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**

Ο ασκός υπακούει ως σύνολο σε δύο διαφορετικές μεταξύ τους καταστάσεις κατανομής τάσεων. Στις μεν μεγάλες επιφάνειές του (στο άνω και στο κάτω μέρος του), οι δυνάμεις ασκούνται μόνο στο επίπεδο του υφάσματος, με την εξαίρεση προσωρινών κυρτώσεων του λόγω της δράσης των κυμάτων. Στις δε παράπλευρες επιφάνειες του ασκού έχουμε μονίμως εγκάρσια-διατμητική πίεση. Στην πρώτη περίπτωση, τις δυνάμεις αναλαμβάνουν κατά πρώτο λόγο οι ενισχύσεις και κατόπιν τις μεταφέρουν στο φλοιό του υφάσματος, ενώ στη δεύτερη πρέπει να μεταφερθούν μέσω του φλοιού στις ενισχύσεις.

Η εξωτερική πίεση του ασκού καθ' όλες τις διευθύνσεις υποβάλλει το συνθετικό υλικό του ασκού σε τάση που μεταβάλλεται ανάλογα με το τετράγωνο του βυθίσματος. Παραδείγματος χάριν για βύθισμα 21 m, η ένταση θα είναι αφ' ενός ομοιόμορφη καθ' όλο το μήκος του ασκού και αφ' ετέρου θα έχει μέτρο περίπου 3 t/m [13].

Το υλικό πρέπει να έχει τις κατάλληλες μηχανικές ιδιότητες ώστε να αναλάβει τάσεις τέτοιου μεγέθους και μάλιστα πολλαπλασιασμένες με μεγάλο **συντελεστή ασφαλείας**, της τάξεως του **10**. Το υλικό έχοντας τη δυνατότητα να αντεπεξέλθει σε τάσεις αυτού του μεγέθους θα επιτρέπει την κυκλοφορία πεζών ή ακόμα και μικρών οχημάτων πάνω στην επίπεδη επιφάνεια της άντυγας του ασκού.

Η αντοχή σχεδιασμού που πρέπει να έχει το συνθετικό ύφασμα εξισώνεται με την στατική τάση στην οποία υποβάλλεται ο ασκός, όπως εξηγήσαμε παραπάνω, πολλαπλασιασμένη με κάποιο συντελεστή ασφαλείας, στην περίπτωσή μας ίσο με 10. Πειράματα που έγιναν σε δεξαμενές προσομοίωσης κυμάτων κατέδειξαν ότι στα μεγαλύτερα των κυμάτων η τάση του υφάσματος μπορεί στιγμιαία να αυξηθεί κατά 200% από την αρχική τιμή της στατικής τάσης. Ακόμα και κάτω απ' αυτές τις συνθήκες υπάρχει διαθέσιμος συντελεστής ασφαλείας ίσος με 3.3, ο οποίος κρατάει την παραμόρφωση του υφάσματος σε επίπεδα πολύ κάτω του 40% της παραμόρφωσης θραύσης (σ' αυτό το σημείο αρχίζει η πλαστική περιοχή του υλικού, με συνέπεια να μειώνεται σημαντικά η διάρκεια ζωής του υλικού εξ αιτίας της κόπωσης).

Παρόλ' αυτά ο ασκός πρέπει να σχεδιαστεί αρκετά εύκαμπτος ούτως ώστε τα κύματα να μπορούν να περάσουν από το θαλάσσιο στο μεταφερόμενο νερό και μετά πάλι στο θαλάσσιο, χωρίς να υπάρξουν δυσάρεστες συνέπειες.

Χρησιμοποιώντας ίνες **nylon** η διαμήκης παραμόρφωση που προκαλείται από το πέρασμα των κυμάτων πάνω από τον ασκό μπορεί να απορροφηθεί από την ελαστικότητα του nylon, το οποίο αντέχει παραμόρφωση μέχρι και 10%, η οποία καλύπτει ακόμα και τα μεγαλύτερα των κυμάτων (το Εθνικό Συμβούλιο Ερευνών του Καναδά στην Ottawa έχει πραγματοποιήσει εκτεταμένη έρευνα πάνω σ' αυτό το ζήτημα, χρησιμοποιώντας τη δεξαμενή προσομοίωσης κυμάτων που διαθέτει).

3.3.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ

Το υλικό από το οποίο κατασκευάζεται, τελικά, ο ασκός είναι **υφαινόμενο nylon**, το οποίο προστατεύεται στις άκρες του επικαλυπτόμενο τόσο στην πάνω, όσο και στην κάτω επιφάνειά του με **βινύλιο**. Το βινύλιο αφ' ενός κάνει το ύφασμα αδιάβροχο και αφ' ετέρου το προστατεύει τόσο από το θαλάσσιο νερό, όσο και από το πετρέλαιο αλλά και από τις υπεριώδεις ακτίνες του ηλίου.

Το είδος του βινυλίου που χρησιμοποιείται είναι το Dupont Elvaloy, υλικό με τεράστια εμπορική επιτυχία και εφαρμογή. Η ιδιαιτερότητα αυτού του υλικού έγκειται στο ότι οι συνηθισμένοι πλαστικοποιητές του βινυλίου έχουν αντικατασταθεί από την αλκοόλη του βινυλ-πολυαιθυλενίου, η οποία δε στερεοποιείται, με συνέπεια να αποφεύγεται ο κίνδυνος της **ψαθυρής θραύσης** της επικάλυψης.

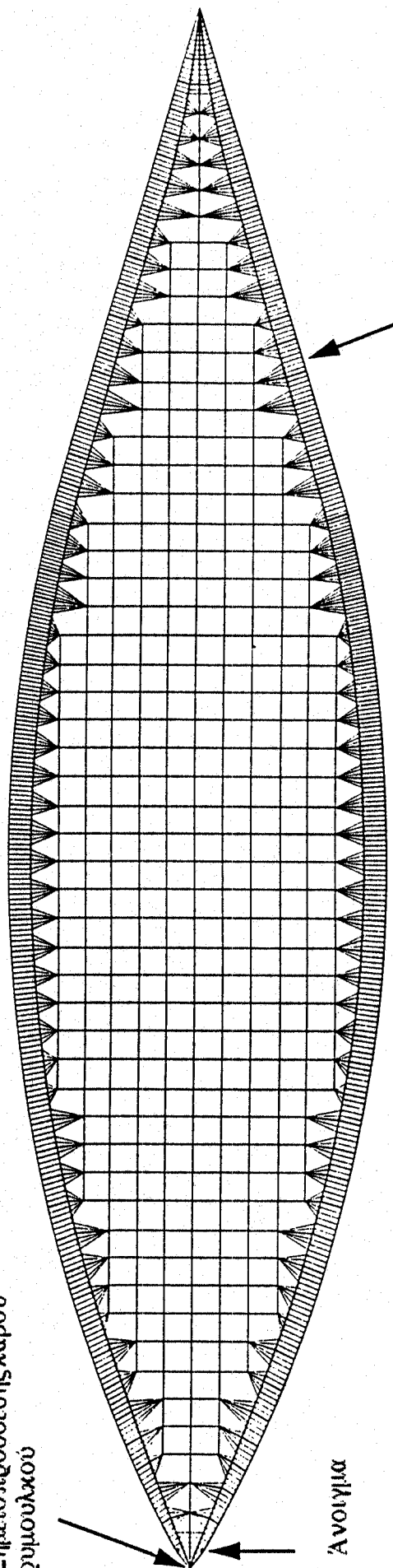
3.3.3 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΦΑΣΜΑΤΟΣ

Το ύφασμα με την επικάλυψη έχει ενισχυθεί επιπλέον με πολύ ανθεκτικές λωρίδες nylon (σχ. 3.3, 3.4) με σκοπό τον περιορισμό της επέκτασης σκισίματος του ασκού, το οποίο μπορεί να οφείλεται είτε σε λανθασμένους χειρισμούς του, είτε σε σύγκρουση του ασκού με άλλο πλωτό μέσο, είτε ακόμα και σε δολιοφθορά. Επιπροσθέτως, αυτές οι λωρίδες αναλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό της τάσης στις μεγάλες επίπεδες επιφάνειες του ασκού, τόσο στο πάνω, όσο και στο κάτω μέρος του. Μ' αυτό τον τρόπο οι τάσεις που καλείται να αναλάβει το ύφασμα είναι σημαντικά μικρότερες. (Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι οι όποιες αναφορές γίνονται στο "**ύφασμα**", αναφέρονται στο σύνθετο υλικό και όχι στο

ΣΧΕΔΙΟ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΥΦΑΣΜΑΤΟΣ ΑΣΚΟΥ

ΚΑΙΜΑΚΑ ~ 1:2000

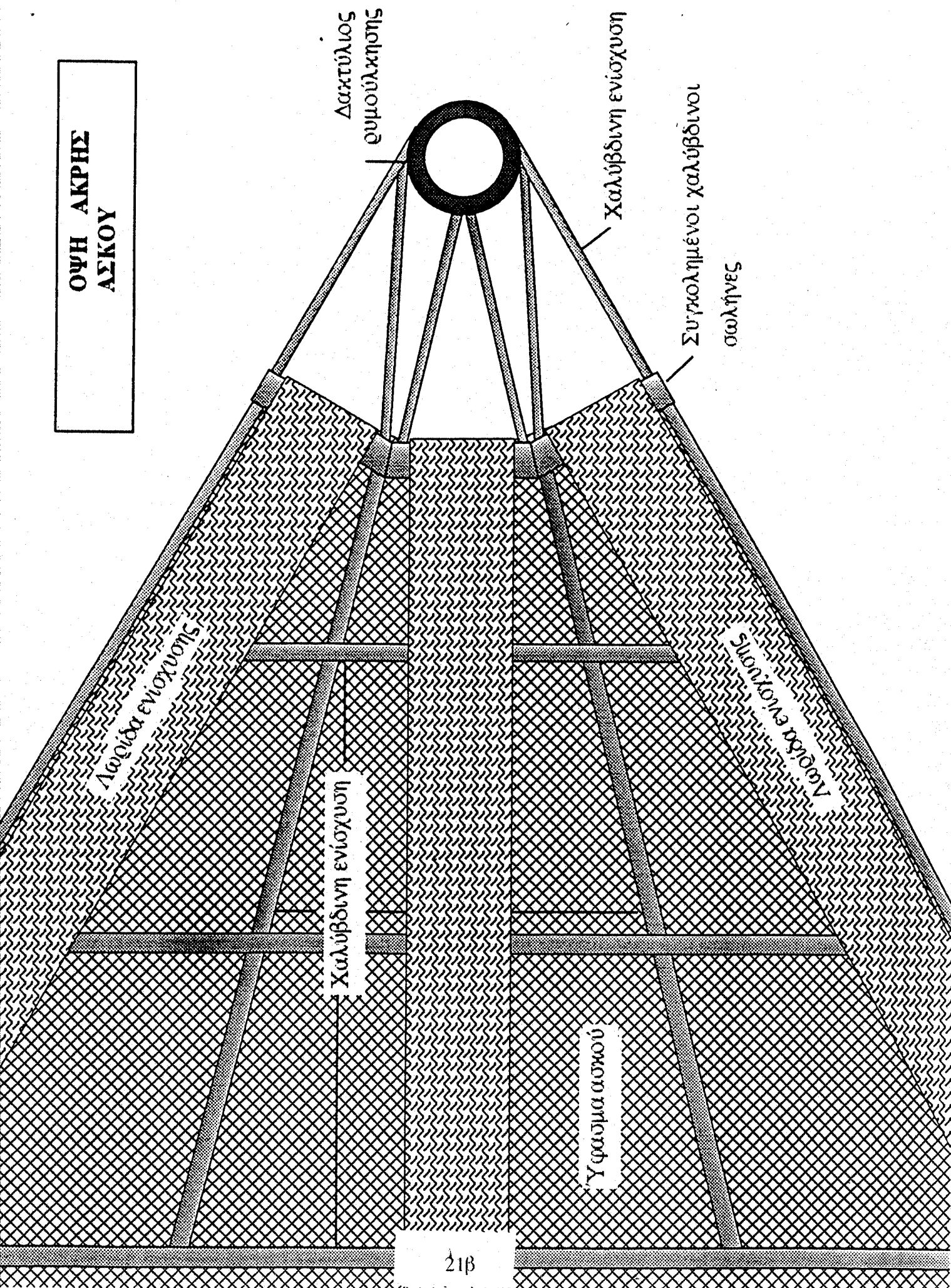
Σημείο πρόσδεσης
κυμουλκού



Η εξωτερική γραμμή δαχτυλίου
του ασκού και όχι καλοία ενίσχυση

Σχήμα 3.3

**ΟΨΗ ΑΚΡΗΣ
ΑΣΚΟΥ**



απλό υφαινόμενο nylon, υλικό που χρησιμοποιείται ως βάση για την κατασκευή του υλικού του ασκού).

Όπως περιγράφηκε και προηγουμένως, η ύπαρξη ισχυρής ενίσχυσης του υφάσματος, δίνει τη δυνατότητα στο ύφασμα να περιορίζει την επέκταση σχισμών, με την εξαίρεση ιδιαίτερος μεγάλων (επιμήκων) ασκών. Τα παραπάνω συμπεράσματα βασίζονται τόσο στην απλοποιητική ανάλυση του φαινομένου που έγινε από τον Cran [14], όσο και σε αναλυτικό κατασκευαστικό προσομοίωμα ηλεκτρονικού υπολογιστή της Ισραηλινής εταιρίας Tahal [13]. Η εργασία της Tahal οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το μήκος των ασκών θα ήταν κρίσιμο μόνο αν οι ασκοί είχαν μήκος το διπλάσιο του προτεινόμενου από τον Cran, και αυτό διότι σε περίπτωση σκισίματος του υλικού, οι λωρίδες ενίσχυσης που βρίσκονται κοντά στην πρώτη λωρίδα που θα συναντήσει η ρωγμή, είναι σχεδιασμένες να αντέξουν σημαντικό φορτίο, όπως ακριβώς συμβαίνει και για το μη σκισμένο ύφασμα.

Η έρευνα της Tahal όμως προχώρησε και σε άλλες **ποιοτικές παραμέτρους**, οι οποίες είναι οι εξής :

(α) Η κόλληση των λωρίδων ενίσχυσης με το ύφασμα δε χρειάζεται να είναι ισχυρή, αλλά απλώς να κρατάει τις λωρίδες στη θέση τους για πρακτικούς λόγους κατά τη διάρκεια της ζωής του ασκού.

(β) Το ίδιο ισχύει και για την κόλληση των λωρίδων μεταξύ τους, όπου αυτές τέμνονται, και μάλιστα αν η κόλληση γίνει ιδιαίτερα ασθενής, θα αυξηθεί (ευμενώς) το κρίσιμο μήκος ρηγμάτωσης.

(γ) Στην περίπτωση που ρηγματωθεί το ύφασμα της βάσης του ασκού, η ρωγμή μπορεί να επεκταθεί προσωρινά, αλλά τελικά θα σταματήσει.

(δ) Η πιθανότητα να αποκολληθούν οι λωρίδες από το ύφασμα λόγω συγκέντρωσης τάσεων ανάμεσά τους, μειώνεται αν διαμορφωθεί η άκρη της λωρίδας σε σχήμα φτερού ! Αυτό γίνεται αν προτού κολληθεί η λωρίδα, κολλήσουμε ένα δεύτερο κομμάτι ύφασμα πάνω στο ύφασμα της βάσης. Κατόπιν, πρέπει να τοποθετήσουμε 2 παχιές λωρίδες (στενότερες όμως από το ύφασμα) τη μια πάνω από την άλλη και από πάνω τους να κολλήσουμε την ακόμα στενότερη λωρίδα ενίσχυσης.

3.4 ΦΟΡΤΩΣΗ - ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ ΥΔΑΤΟΣ

3.4.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Για την κάλυψη του τεχνικού αυτού προβλήματος προβλέπονται ανοίγματα και στις δύο πλευρές της πλώρης, τα οποία κλείνουν με φουσκωτές μεμβράνες όταν ταξιδεύει ο ασκός, ασχέτως αν αυτός είναι άδειος ή γεμάτος.

Η πλώρη του ασκού θα πρέπει να είναι αρκετά στέρεη ούτως ώστε να είναι δυνατή η πλοήγησή του ακόμα και όταν είναι άδειος και χαλαρός.

3.4.2 ΧΡΗΣΗ ΕΙΔΙΚΟΥ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ - DOCKER

Κατά τη διάρκεια της φόρτωσης και της εκφόρτωσης θα είναι αναγκαία η χρήση ενός ειδικού εξαρτήματος - **docker**, το οποίο θα “αγκαλιάζει” την πλώρη και θα “κλειδώνει” στο ακραίο της σημείο, από το οποίο και θα ρυμουλκείται. Το εξάρτημα αυτό θα έχει ανοίγματα στις ίδιες θέσεις που θα βρίσκονται και τα ανοίγματα της πλώρης, τα οποία κατά τη διάρκεια της φόρτωσης, αλλά και της εκφόρτωσης, θα απομονώνονται από το θαλάσσιο νερό μέσω φουσκωτών δακτυλίων που θα εφαρμόζουν σ’ αυτά (τόσο το εξάρτημα όσο και τα ανοίγματα της πλώρης θα βρίσκονται αρχικά στο επίπεδο της θάλασσας και κατόπιν θα βυθίζονται λίγο κάτω απ’ αυτό, βοηθώντας τη διαδικασία της εκφόρτωσης).

Το docker διαθέτει στο κάτω μέρος του έναν εύκαμπτο σωλήνα, ο οποίος συνδέεται με τον υποθαλάσσιο αγωγό που προμηθεύει το νερό, στο κατάλληλο βάθος (π.χ. 30 m), ούτως ώστε να υπάρχουν περιθώρια ελιγμών. Λόγω του ότι ο σωλήνας είναι εύκαμπτος, δε θα αστοχήσει από τη μικρή αρνητική πίεση που θα δημιουργηθεί. Το docker έχει ακόμα φουσκωτές βαλβίδες που χρησιμεύουν όταν το docker “κλειδώνει” πάνω στην πλώρη. Τότε ανοίγουν αυτόματα οι βαλβίδες, τόσο του docker όσο και του ασκού, δημιουργώντας έναν πλήρη υδραυλικό διάυλο από το αντλιοστάσιο (που βρίσκεται στην ακτή) στο εσωτερικό του ασκού.

Στο τέλος του υποθαλάσσιου αγωγού υπάρχει επίσης μία μεγάλη σημαδούρα-ναύδετο, ικανό να συγκρατήσει (από ένα μόνο σημείο) το φορτωμένο ασκό. Το docker βρίσκεται ακριβώς δίπλα από τη σημαδούρα, αλλά δεν αποτελεί μέρος της. Η σημαδούρα είναι επανδρωμένη και εξοπλισμένη με μηχανήμα έλξης, ικανό να φέρει τον ασκό κοντά της. Από εκεί και πέρα, το docker προσαρμόζεται στον ασκό μέσω ειδικού ηλεκτρικού μηχανισμού και ακολουθείται η διαδικασία

φόρτωσης.

3.4.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΦΟΡΤΟΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ - ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΠΟΨΗ

Κατά το γέμισμα του ασκού ακολουθείται μια πολύ απλή διαδικασία. Η μέγιστη πίεση (back pressure) του ασκού θα είναι περίπου 60 cm, όταν αυτός κοντεύει να γεμίσει. από την άλλη, η εκφόρτωση παρουσιάζει το πρόβλημα ότι η εσωτερική πίεση μειώνεται κατά τη διάρκεια του αδειάσματος, με συνέπεια να υπάρχει κάποια ποσότητα μη απολήψιμου ύδατος.

Η εξέταση από υδραυλικής απόψεως του **γεμίσματος** του ασκού είναι απλούστατη. Η πηγή τροφοδοσίας ύδατος μπορεί να είναι είτε ένα αντλιοστάσιο ισχύος αρκετών χιλιάδων ίππων (του οποίου το νερό να προέρχεται από συλλεκτήρες Rainey, δηλ. πηγάδια σκαμμένα λίγο ανάντη της εκβολής του ποταμού), είτε αγωγός προερχόμενος απευθείας από την ανυψωμένη κοίτη του ποταμού η και της λίμνης. Ο ασκός είναι ικανός να δεχτεί το νερό με το ρυθμό που προδιαγράφεται για κάθε ασκό (μέχρι και 1 εκατομ. κ.μ. την ημέρα), από την αρχή έως το τέλος του γεμίσματος και ο οποίος είναι μεγαλύτερος κατά το γέμισμα, παρά κατά το άδειασμα του ύδατος. Το κατά πόσο ο ασκός είναι γεμάτος η όχι, μπορεί να προσδιοριστεί από το βάθος που έχει φτάσει ο ασκός, μέσω βυθομέτρου.

Η διαδικασία **αδειάσματος** είναι πιο περίπλοκη. Πιστεύεται πως είναι δυνατόν να τοποθετήσουμε το αντλιοστάσιο στην ακτή (δηλ. 2-3 km περίπου μακριά από τη σημαδούρα) και να μεταφέρουμε το νερό στην ακτή διά της αναρροφήσεως, μέσω του υποθαλάσσιου αγωγού. Ίσως μάλιστα να υπάρχει ανάγκη το τέλος του αγωγού, αυτός να κατέβει 5m ή και παραπάνω κάτω από το επίπεδο της θάλασσας για να καλυφθούν οι μανομετρικές του απώλειες. Στην περίπτωση που τα προηγούμενα κριθούν ανεφάρμοστα, υπάρχει και η λύση της τοποθέτησης αντλίας μεγάλου όγκου στη σημαδούρα.

3.5 ΡΥΜΟΥΛΚΗΣΗ ΤΟΥ ΑΣΚΟΥ**3.5.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**

Το είδος του ρυμουλκού που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι κατάλληλο για συνεχή λειτουργία σε ανοικτή θάλασσα. Το ρυμουλκό προβλέπεται να έχει πλήρωμα αποτελούμενο από 7 άτομα (π.χ. 3 βάρδιες των 2 συν ο μηχανικός). Είναι προτιμότερο το σύστημα διεύθυνσης να αποτελείται από μία μεγάλη προπέλα που να καθοδηγείται από δίδυμο κινητήρα (μέσω κιβωτίου ταχυτήτων), παρά να χρησιμοποιηθούν twin screws, τα οποία ενδείκνυνται σε περιπτώσεις που είναι αναγκαίοι ταχείς ελιγμοί. Με αυτή τη λύση δεν θα παρουσιαστεί πρόβλημα, ακόμα και στη σπάνια και απευκτέα περίπτωση που χαλάσει ο ένας από τους 2 κινητήρες. Τότε η ρυμούλκηση μπορεί να συνεχιστεί με το 75% της αρχικής ταχύτητας και με τον ένα μόνο κινητήρα σε λειτουργία. Μπορούμε ακόμα να τοποθετήσουμε στην προπέλα του ρυμουλκού ένα κυλινδρικό σωλήνα (Kort nozzle) αυξάνοντας την προωθητική ικανότητα του κατά περίπου 3%. Η επάρκειά του από άποψη καυσίμων, πρέπει να βρίσκεται στο επίπεδο των 20 ημερών πλήρους λειτουργίας, πάντα για την περίπτωση της μεταφοράς από την Τουρκία στο Ισραήλ. Ακόμα χρειαζόμαστε μηχανές ικανές να αποδίδουν συνεχώς και αδιαλείπτως την ισχύ σχεδιασμού τους, κάτι το οποίο απαιτεί τον περιορισμό της ταχύτητας του ρυμουλκού στο 87.5% της μέγιστής του. Τέτοιου είδους ρυμουλκά έχουν πολύ ευρεία χρήση και χρειάζονται 10 μέρες το χρόνο συντήρηση για να έχουν χρόνο ζωής που να φτάνει τα 15 έτη.

Οι μηχανές των ρυμουλκών πρέπει να δουλεύουν στις 80-100 rpm (Sulzer, Burmeister & Wein) [13], αντί των συνηθισμένων ντιζελοκινητήρων που δουλεύουν στις 800-1000 rpm. Ο λόγος είναι ότι παρόλο που οι πρώτες είναι κατά 40% ακριβότερες των δευτέρων (ανεβάζοντας κατά 6% το συνολικό κόστος του ρυμουλκού), παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι η κατανάλωση καυσίμων τους είναι 135 g/Hp/hour έναντι 170 g/Hp/hour των ντιζελ. Ακόμα έχουν μικρότερο κόστος συντήρησης και σαφώς μεγαλύτερη αξιοπιστία.

3.5.2 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ ΕΛΕΞΗΣ

Κατ' αρχήν θέλω να σημειώσω ότι τα παρακάτω στοιχεία πρωτοπαρουσιάστηκαν από τη μεγαλύτερη εταιρία ρυμουλκήσεων των Ηνωμένων Πολιτειών, τη Crowley Maritime, συνεπώς οι μονάδες δεν ανήκουν στο μετρικό σύστημα που

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

χρησιμοποιούμε στην Ευρώπη. Ειδικότερα, η **Δύναμη Έλξης** (**Bollard Pull**, εφεξής **BP**) εκφράζεται σε Short Tons, εφεξής ST.

Η **Δύναμη Έλξης** (**BP**) είναι η δύναμη που μπορεί να ασκήσει το ρυμουλκό όταν αυτό είναι ακίνητο. Η πλειονότητα των ρυμουλκών έχουν BP από 10 έως 100 ST. Η Ικανότητα Πρόωσης, (**PE**, **Propulsive Efficiency** ορίζεται ως ο λόγος της ιπποδύναμης προς το BP) έχει μία ελαφρά τάση να μειώνεται σ' αυτό το διάστημα BP, λόγω της χρήσης ασυνήθιστα μεγάλων πτερυγίων που είναι απαραίτητα στις προπέλες για να συγκρατήσουν τις μεγάλες δυνάμεις όσο το BP πλησιάζει τους 100 ST.

Τα περισσότερα ρυμουλκά έχουν PE της τάξης των 17-30 lbf/Hp. Με τη χρήση κυλινδρικού σωλήνα στην προπέλα μπορούμε να έχουμε PE 27 lbf/Hp. Αυτό το μέγεθος επιλέχτηκε να δοκιμαστεί, καθώς οι διαδικασίες οικονομικής βελτιστοποίησης ζητούν BP ίση ή λιγότερη από 50 ST. Αναδιατάσσοντας τα παραπάνω, παίρνουμε τη σχέση :

$$\text{Ιπποδύναμη} = 74.1 * \text{BP} \text{ (σε ST)}$$

Για το σκοπό αυτής της εργασίας προτείνεται να δίνεται η δυνατότητα να καθορίζεται η απαιτούμενη ιπποδύναμη με περιθώριο ασφαλείας 10% στην ταχύτητα, δηλ. 21% στην ιπποδύναμη. Μ' αυτό τον τρόπο το ρυμουλκό θα μπορεί να λειτουργήσει σε 3 επίπεδα από άποψη ισχύος (άρα και **BP**), τα εξής :

- ι) **Μέγιστης Ιπποδύναμης** (συνεχής λειτουργία σ' αυτό το επίπεδο αυξάνει κατακόρυφα το κόστος συντήρησης, την πιθανότητα εμπλοκής και μειώνει το χρόνο ζωής του ρυμουλκού),
- ii) **Μέγιστης Ισχύος Πλεύσης** (μπορεί να διατηρηθεί εσαεί, χωρίς πρόβλημα και ισούται με το γινόμενο **Μέγιστη Ιπποδύναμη * 0.875**)
- iii) **Προτεινόμενης Ισχύος Πλεύσης** (το ρυμουλκό μπορεί να ταξιδέψει με ασφάλεια ακόμα και με ταχύτητα 10% μεγαλύτερη, σε συνεχή βάση. Ισούται με το πηλίκο **Μέγιστη Ισχύος Πλεύσης / 1.21**)

Για παράδειγμα, κάποιο ρυμουλκό με απαιτούμενο **BP**, 35 ST θα έχει :

<u>Προτεινόμενη Ισχύ Πλεύσης:</u>	$74.1 * 35 = 2593 \text{ Hp}$
<u>Μέγιστη Ισχύ Πλεύσης:</u>	$2593 * 1.21 = 3137 \text{ Hp}$
<u>Μέγιστη Ιπποδύναμη:</u>	$3137 / .875 = 3585 \text{ Hp}$

Το κόστος των ρυμουλκών εξαρτάται ασφαλώς και από το απαιτούμενο μέγεθος του κάθε ρυμουλκού, δηλ. τελικά από τη δύναμη έλξης BP που μπορεί να ασκήσει στον ασκό. Η απαιτούμενη BP καθορίζεται από τη δύναμη αντίστασης του ύδατος, **d** (drag) στη συγκεκριμένη ταχύτητα. Η δύναμη αυτή μπορεί να αναλυθεί σε 3 συνιστώσες. Την αντίσταση λόγω κυμάτων **W_d**, λόγω σχήματος **F_d** και λόγω επιφανειακής τριβής **SF**. Τη μεν πρώτη μπορούμε να την αγνοήσουμε, διότι λόγω της πολύ μικρής ταχύτητας των ασκών σε σχέση με το μήκος τους, δε δημιουργούνται κυματισμοί ούτε στην πλώρη αλλά ούτε και στην πρύμνη, αλλά δεν μπορούμε να αγνοήσουμε κανέναν από τους άλλους 2 όρους. Συγκεκριμένα έχουμε :

Αντίσταση λόγω σχήματος (**F_d**): Οφείλεται σε φαινόμενα τύρβης που δημιουργούνται ακριβώς πίσω από τους ασκούς και μπορεί να προσδιοριστεί ως το γινόμενο :

$$F_d = \frac{1}{2} * \rho * C_d * V_w^2 * A_n, \text{ σε Newtons}$$

όπου:

- ρ** η πυκνότητα του θαλασσίου ύδατος,
- C_d** ο συντελεστής σχήματος, ο οποίος για την περίπτωση μας βρέθηκε ίσος (κατόπιν πειραμάτων) με 0.05,
- V_w** η σχετική ταχύτητα ως προς το νερό (σε m/s) και
- A_n** το εμβαδόν της επιφάνειας του ασκού που βρίσκεται κάθετα στο επίπεδο της κίνησής του (εδώ **$0.972 * D * W$**).

Αντίσταση λόγω επιφανειακής τριβής (**SF**) : Αναφέρεται στη βυθισμένη επιφάνεια του ασκού και δίνεται από τον τύπο:

$$SF = \frac{1}{2} * \rho * C_f * V_w^2 * A_w, \text{ σε Newtons}$$

με:

- A_w** το εμβαδόν της βρεχόμενης επιφάνειας, δηλ. του πάτου και του πλαϊνού μέρους του ασκού και
- C_f** το συντελεστή τριβής, που μπορεί να βρεθεί από **$C_f = .075 / (\log_{10} Re - 2)^2$** όπου **Re** ο αριθμός Reynolds του αντικειμένου, με **$Re = V_w * L_w / \nu$** . Το **L_w** συμβολίζει το βρεχόμενο μήκος του ασκού και **ν** η κινηματική

συνεκτικότητα του θαλασσίου ύδατος η οποία ισούται με $1.1887 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

3.5.3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ

Οι τρόποι με τους οποίους είναι δυνατόν να προστατευθούν οι ασκοί από τα θαλάσσια ρεύματα είναι οι ακόλουθοι 2 :

- i) διατήρηση πραγματικής πορείας προσαρμόζοντάς την κάθε φορά σύμφωνα με την πορεία του ρεύματος, ούτως ώστε να μην υπάρξει στροφή του ασκού λόγω των δυνάμεων που θα του προξενήσει το ρεύμα αυτό καθ' εαυτό, και
- ii) χάραξη πορείας ώστε το σκάφος να διασχίσει το ρεύμα όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Το σκάφος αρχικά θα παρασυρθεί ως ένα σημείο έξω από την πορεία του λόγω της ροής του ρεύματος, αλλά κατόπιν, αφού γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις, θα επανέλθει στην εξαρχής χαραγμένη του ρότα.

Παρόλο που στη δεύτερη λύση ο ασκός θα ταξιδέψει λίγο περισσότερο, την προτιμούμε, αφ' ενός διότι η διαφορά αυτή είναι μικρή και αφ' ετέρου διότι δεν υπάρχει πραγματική ανάγκη να διορθώνουμε συνεχώς την πορεία του ασκού, ενώ αυτός βρίσκεται μέσα στο ρεύμα, καθώς η ολική παράκαμψη που προκαλεί το ρεύμα είναι της τάξης των 2 km/ημέρα (στην Ανατολική Μεσόγειο), και μάλιστα μειώνεται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ασκού.

3.5.4 ΜΕΤΡΑ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Υπάρχουν διάφορες εναλλακτικές λύσεις σε περίπτωση που για οποιονδήποτε λόγο παρουσιαστούν καθυστερήσεις στον κύκλο των ασκών. Π.χ. αν τα ρυμουλκά (και πιθανότατα όλα τα άλλα έργα που συνδέονται με τη μεταφορά, όπως π.χ. οι σταθμοί φόρτωσης και απόθεσης του ύδατος) υπερδιαστασιολογηθούν κατά 10%, θα μπορούν αυξάνοντας την ταχύτητά τους να καλύψουν ενδεχόμενη καθυστέρηση. Εδώ πρέπει όμως να σημειωθεί ότι αύξηση 10% της ταχύτητας συνεπάγεται αύξηση 20% στην απαιτούμενη ιπποδύναμη. Μία άλλη εναλλακτική πρόταση είναι κατά τις ήρεμες από πλευράς καιρού εποχές να γεμίζουμε τους ασκούς 10% πιο πολύ. Αυτό όμως θα είχε ως άμεση συνέπεια την κατά 5% αύξηση του βυθίσματος του ασκού και φυσικά τη μείωση της ταχύτητάς του. Ακόμα, σ' αυτή την περίπτωση, θα πρέπει να απομακρύνουμε ακόμα πιο πολύ τους σταθμούς φόρτωσης και απόθεσης του ύδατος από την ακτή, κάτι οπωσδήποτε πολύ δαπανηρό.

3.6 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**3.6.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΑΘΜΩΝ ΦΟΡΤΩΣΗΣ, ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ - ΤΥΠΟΣ ΝΑΥΔΕΤΟΥ**

Λόγω του μεγάλου κόστους που συνεπάγεται η κατασκευή του υποθαλάσσιου αγωγού, το ναύδετο πρέπει να τοποθετηθεί όσο κοντύτερα γίνεται στην ακτή, ούτως ώστε αφ' ενός η κατασκευή να είναι οικονομική και αφ' ετέρου να μην υπάρχει κίνδυνος να συρθεί το κάτω μέρος του ασκού στο βυθό, κατά τη διαδικασία προσέγγισής του. Ακόμα προσοχή πρέπει να δοθεί στην πιθανή παρουσία αντικειμένων που θα προεξέχουν από το βυθό, π.χ. βράχια, τα οποία μπορούν να τραυματίσουν τον ασκό. Για τους παραπάνω λόγους είναι απαραίτητο να προκαθορίσουμε την ακριβή απόσταση που θέλουμε να υπάρχει μεταξύ του πάτου του ασκού και της επιφάνειας του βυθού. Το προηγούμενο είναι δυνατόν να επιτευχθεί με την κατασκευή **πειραματικού ομοιώματος** από latex μήκους 10 m και τη διεξαγωγή πειραμάτων, σε εργαστηριακές συνθήκες, σε κάποια ρηχή δεξαμενή. Τα πειράματα αυτά θα μας δείξουν το μέγεθος των κατακόρυφων κινήσεων κοντά στην ακτή υπό συνθήκες κακοκαιρίας.

Ακόμα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν το εύρος της **αμπώτιδος**, το μέγεθος του βυθίσματος του μεγίστου κύματος που μπορεί να προσβάλλει τον ασκό ενώ είναι αραγμένος, η εξωτερική διάμετρος του υποθαλάσσιου αγωγού και το περιθώριο ασφαλείας που θα θέσουμε. Για να προσδιοριστεί η θέση του σταθμού υποτέθηκε ότι αν τα κύματα ξεπεράσουν κάποιο επίπεδο (π.χ. ύψος μεγαλύτερο των 2.5 m), θα σταματήσει η λειτουργία του σταθμού.

Γνωρίζοντας ότι στην Ανατολική Μεσόγειο το μέγιστο εύρος της αμπώτιδας φτάνει το 0.3 m και υποθέτοντας ότι εκείνη τη στιγμή θα έχουμε το μέγιστο κύμα με βύθισμα (trough) 1.2 m κάτω από την επιφάνεια του ακίνητου ύδατος, προκύπτει με περιθώριο ασφαλείας 1 m απαιτούμενη υψομετρική διαφορά βυθού-πάτου του ασκού 2.5 m, χωρίς να υπολογίζουμε την παρουσία του υποθαλάσσιου αγωγού. Έτσι για ασκό βυθίσματος 21 m και σωλήνα διαμέτρου 2.5 m, το βάθος της θάλασσας στο σημείο που θα τοποθετηθεί ο σταθμός-σημαδούρα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον **26 m**. Φυσικά το ίδιο πρέπει να συμβεί και για την περιοχή κοντά στη σημαδούρα (σε κύκλο ακτίνας ένα μήκος ασκού συν το μήκος του κάβου συν κάποιο περιθώριο ασφαλείας για ελιγμούς), καθώς ο ασκός είναι ελεύθερος να περιστραφεί γύρω της.

Ο τύπος του σταθμού που θα κατασκευαστεί θα επιλεγεί από τους ήδη υπάρχοντες, για πετρελαιϊκή χρήση, σε πολλά σημεία του κόσμου. Ένας από τους υποψήφιους σταθμούς είναι ο **SPBM** (Single Point Buoy Mooring), στον οποίοι εύκαμπτοι επιπλέοντες σωλήνες συνδέουν τον ασκό με τη σημαδούρα οδηγώντας το μεταφερόμενο υγρό (είτε αυτό είναι πετρέλαιο είτε είναι νερό) διά της σημαδούρας στον υποθαλάσσιο αγωγό μέσω άλλων εύκαμπτων σωλήνων. Οι σωλήνες αυτοί πρέπει να είναι εύκαμπτοι για να μπορούν να ανταπεξέλθουν τόσο στις κατακόρυφες, όσο και στις οριζόντιες, οφειλόμενες στα ρεύματα και στα κύματα, μετακινήσεις του νερού. Ακόμα υπάρχει και η περίπτωση του σταθμού τύπου **SALM** (Single Anchor Leg Mooring, **Σχήμα 3.5**) που διαφέρει με τον **SPBM** κυρίως στον τρόπο που το υγρό φτάνει στον υποθαλάσσιο αγωγό και στο σύστημα αγκύρωσης. Συγκεκριμένα το υγρό, περνώντας από τους εύκαμπτους επιπλέοντες σωλήνες μεταφέρεται στον υποθαλάσσιο αγωγό μέσω ειδικού μηχανισμού που απορροφά τις οριζόντιες κινήσεις, ενώ τις κατακόρυφες αναλαμβάνει η προεντεταμένη αλυσίδα που παίζει το ρόλο της άγκυρας. Όμως η παραπάνω λύση, αν και είναι ασφαλέστερη της πρώτης, έχει πολύ μεγαλύτερο κόστος κατασκευής και τοποθέτησης, γεγονός το οποίο την κάνει ανεπιθύμητη.

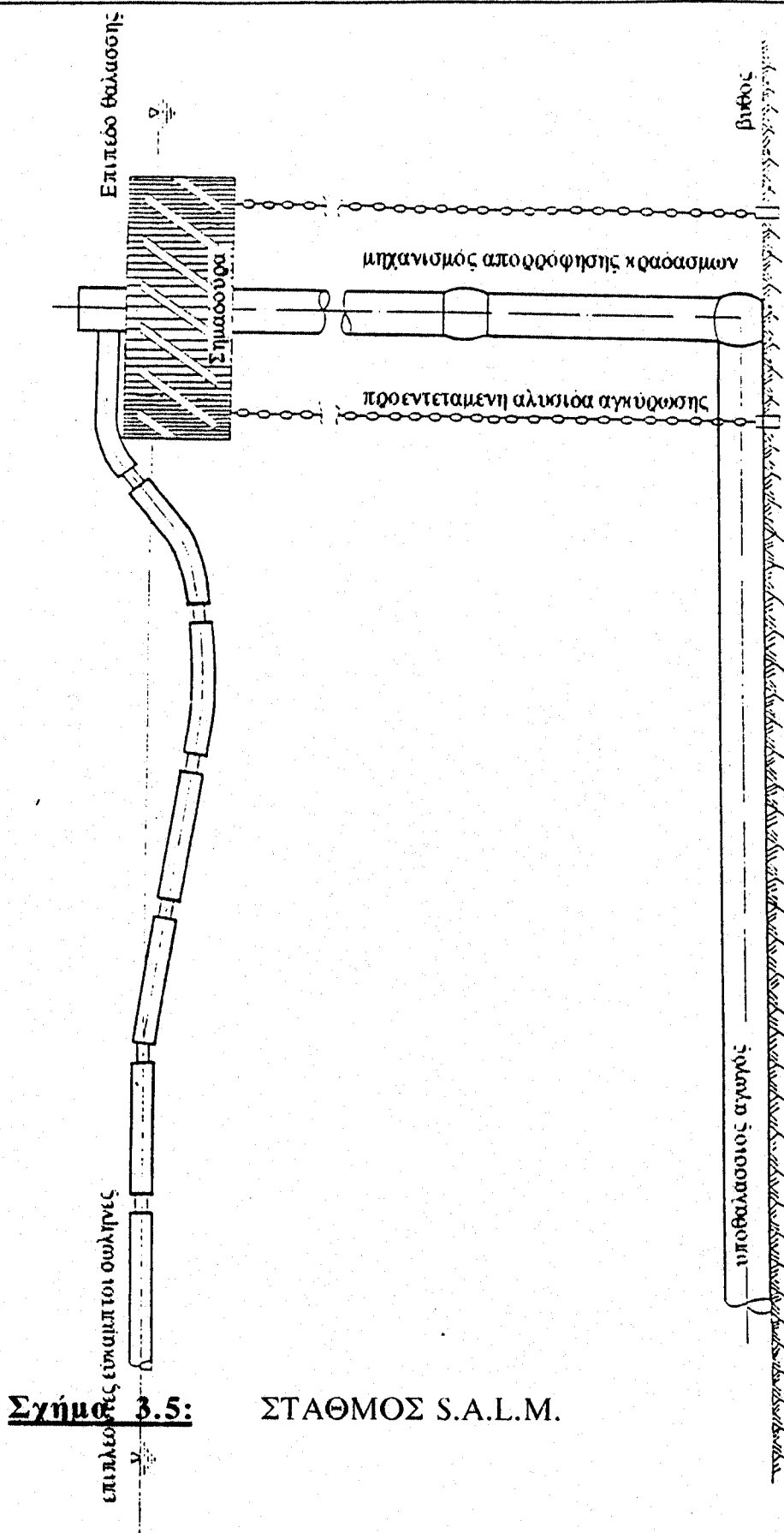
Πάντως γενικά η διάταξη που χρησιμοποιείται είναι παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται για το άδειασμα των tankers, με τη διαφορά ότι στην προκείμενη περίπτωση οι **αντλίες** βρίσκονται στην ακτή και όχι πάνω στο ίδιο το σκάφος.

3.6.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΑΓΩΓΟΥ

Η μελέτη πάνω στην οποία στηρίχθηκαν τα παρακάτω, έχει γίνει από την προαναφερθείσα Ισραηλινή τεχνική εταιρία **Tahal** και αφορά στην εφαρμογή της τεχνολογίας **MEDUSA** για μεταφορά νερού από την **Τουρκία** στο **Ισραήλ**, στο λιμάνι του Ashqelon. Για αυτό το λόγο παραθέτονται τα κάτωθι κυρίως για ποιοτικούς και συγκριτικούς λόγους.

Για την ανεμπόδιστη προσέγγιση ενός ασκού εκτοπίσματος περίπου 2.000.000 m³ και βυθίσματος περίπου 21 m, η απόσταση της σημαδούρας από την ακτή θα πρέπει να είναι γύρω στα 3 km, για την περίπτωση πάντα του Ashqelon.

Ο υποθαλάσσιος αγωγός που θα φτάνει μέχρι τη σημαδούρα θα έχει ενδεικτική διάμετρο 2250 mm (90 inch). Από στοιχεία που αφορούν το αντλιοστάσιο της



ΣΤΑΘΜΟΣ S.A.L.M.

ακτής, προκύπτει ότι για το συγκεκριμένο αντλιοστάσιο, το επίπεδο της άντιγας (invert) του σωλήνα αναρρόφησης στην ακτογραμμή πρέπει να προσδιοριστεί στα 7m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας ούτως ώστε να καλυφθούν οι απώλειες της πιεζομετρικής γραμμής τόσο κατά το μήκος του αγωγού, όσο και οι τοπικές στην ακτή (Σχ. 3.8). Γιά να πετύχουμε το παραπάνω, πρέπει να γίνει υποθαλάσσια εκσκαφή τάφρου που να ξεκινάει από την ακτογραμμή και να καταλήγει σε σημείο όπου η θάλασσα θα έχει βάθος 7.00 m. από το σημείο αυτό και πέρα ο αγωγός απλώς θα τοποθετηθεί πάνω στην επιφάνεια του βυθού. Το μήκος της τάφρου μπορεί να βρεθεί από βυθομετρικούς χάρτες, και για το λιμάνι του Ashkelon είναι περίπου 600 m.

Όσο για τη μορφή και το είδος του αγωγού που θα κατασκευαστεί, υπάρχουν 2 λύσεις:

- (i) Η χρησιμοποίηση χαλύβδινων σωλήνων, η οποία όμως είναι δυστυχώς τεχνικά ανεφάρμοστη (και οι 2 γνωστοί - συμβατικοί τρόποι τοποθέτησής τους είναι αβέβαιοι για αγωγούς τέτοιου μεγάλου μεγέθους) και
- (ii) η χρήση σωλήνων εκ σκυροδέματος, η οποία, αν και είναι η μόνη που προσφέρεται για την επίλυση του τεχνικού αυτού προβλήματος, παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι οι ενώσεις των κομματιών του αγωγού θα πρέπει να γίνουν μέσα στη θάλασσα, κάτι το οποίο εκτός από το προφανές του κόστος, συνεπάγεται και αύξηση του κινδύνου της ελλιπούς υδατοστεγανότητας του αγωγού αυτού καθ' εαυτού.

Οι 2 εναλλακτικές προτάσεις που υπάρχουν σχετικά με την κατασκευή του υπό μελέτη αγωγού εκ σκυροδέματος παρατίθενται στις επόμενες γραμμές.

(1) Σωλήνας εκ προεντεταμένου σκυροδέματος: Ο σωλήνας θα κατασκευαστεί στη στεριά. Για να μπορέσουμε να μεταφέρουμε τα τμήματα του αγωγού από την τοποθεσία κατασκευής τους στο σημείο όπου θα φορτωθούν σε φορτηγίδες προκειμένου να τοποθετηθούν στο βυθό, πρέπει να ζυγίζουν λιγότερο από 40 τόνους το καθένα, εν ξηρώ και λιγότερο από 25 τόνους υπό άνωση. Αυτό για αγωγούς προεντεταμένου σκυροδέματος, κυλινδρικής διατομής διαμέτρου 2.5 m, σημαίνει μήκος το πολύ 7 m. Ένας ακόμα παράγοντας, που θα παίξει σημαντικό ρόλο τόσο στην κατασκευή, όσο και στην τελική επιλογή της λύσης είναι το μήκος της τάφρου, την ανάγκη ύπαρξης της οποίας αναφέραμε προηγουμένως.

Λόγω του μεγάλου κόστους της διαδικασίας τοποθέτησης των κομματιών του αγωγού, τα πάντα πρέπει να γίνουν με τη μέγιστη ταχύτητα και αξιοπιστία. Αξίζει να σημειώσουμε ενδεικτικά εδώ την πιθανότητα να συμπέσει η τοποθέτηση του αγωγού με καταιγίδα. Στην περίπτωση αυτή χρειάζεται να περάσουν αρκετές μέρες για να αποκτήσει το νερό της θάλασσας την απαιτούμενη διαύγεια ούτως ώστε να μπορέσουν οι δύτες να συνδέσουν τα κομμάτια του αγωγού μεταξύ τους. Η διαδικασία τοποθέτησης - εν περιλήψει - είναι η ακόλουθη :

κατέβασμα κομματιού στο βυθό / δημιουργία υδατοστεγούς ενώσεως του με το προηγούμενο κομμάτι / μετακίνηση της φορτηγίδας για την τοποθέτηση του επόμενου κομματιού.

(2) Παράλληλοι χαλύβδινοι σωλήνες, επενδεδυμένοι με σκυρόδεμα: Έχει το πλεονέκτημα ότι είναι σαφώς φτηνότερη της προαναφερθείσας λύσης. Το σκεπτικό είναι ότι αντί για έναν αγωγό διαμέτρου 2.5m, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε 6 χαλύβδινους σωλήνες διαμέτρου 1150mm (46 inch), να τους επενδύσουμε με σκυρόδεμα (για να διευκολύνουμε την τοποθέτησή τους και να διασφαλίσουμε τη σταθερότητά τους κατά τη διάρκεια καταιγίδων μετά την τοποθέτηση) και να τους βάλουμε να λειτουργούν εν παραλλήλω. Μέ τη διάταξη αυτή πετυχαίνουμε περίπου 5% μικρότερο μήκος αγωγού.

Η τοποθέτησή τους θα γίνει ως εξής: Αφού κατασκευαστούν, επενδυθούν και ηλεκτροκολληθούν σε “κορδόνια” μήκους 200 m περίπου, τοποθετούνται κάθετα προς την ακτή, πάνω σε κυλίσματα εφένδρανα.

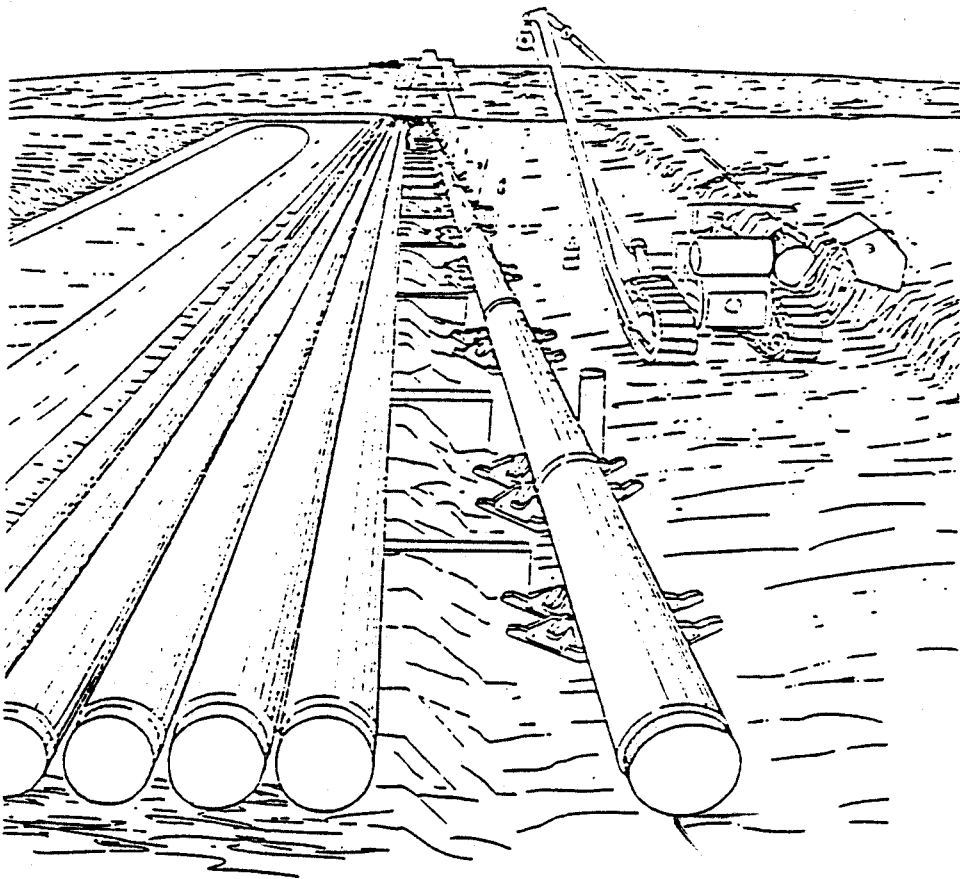
Κατόπιν ένα ρυμουλκό τραβάει το πρώτο “κορδόνι” παρασύροντάς το στο βυθό. Όταν κοντεύει να πέσει στη θάλασσα και το πίσω μέρος του πρώτου “κορδονιού”, ξεκινάμε τη ρυμούλκηση του δεύτερου “κορδονιού” κ.ο.κ., μέχρι να φτάσει το ρυμουλκό στη σημαδούρα (**Σχήμα 3.6**).

3.6.3 ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ - ΑΛΛΑ ΕΡΓΑ

Η προτεινόμενη ικανότητα σχεδιασμού του αντλιοστασίου είναι 13 m³/sec, έναντι συνολικού μανομετρικού ύψους 75 m (60 m ολικό ύψος άντλησης + 10 m ύψος απωλειών στον υποθαλάσσιο αγωγό + 5 m απώλειες στην ακτή). Το αντλιοστάσιο πρέπει να έχει 3 αντλίες ικανότητας 6.5 m³/sec η κάθε μία, 2 να δουλεύουν και μία εφεδρική. Αντλίες τέτοιου τύπου (π.χ. της SEWZ) βρίσκονται ήδη σε

Σχήμα 3.6:

**‘ΚΟΡΔΟΝΙΑ’ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ
ΕΠΕΝΔΕΔΥΜΕΝΩΝ ΜΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ,
ΕΤΟΙΜΑ ΠΡΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ**

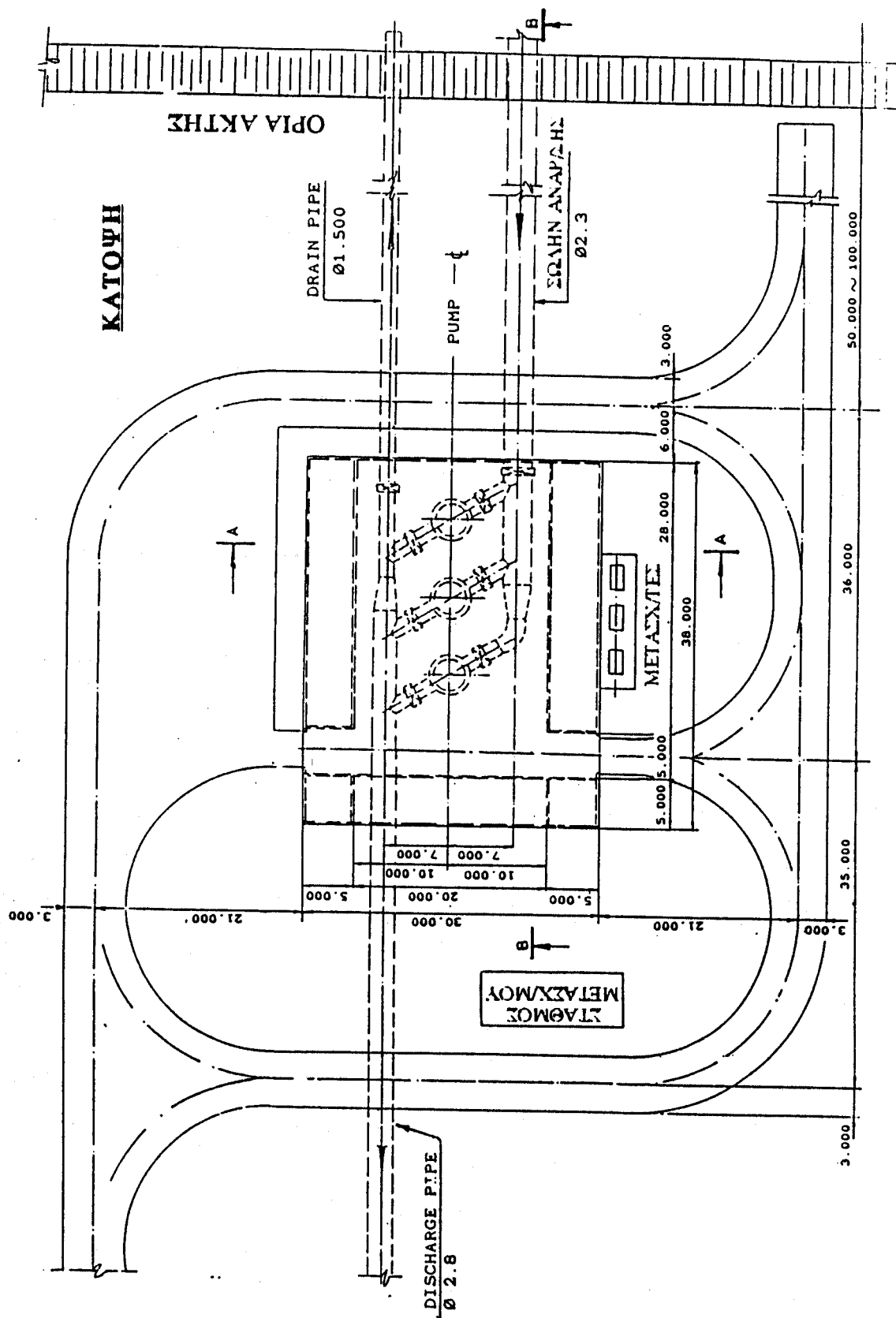


εφαρμογή και παρά το σημαντικό βάθος στο οποίο πρέπει να τοποθετηθούν (19.5m) προσφέρουν υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας. Η ενέργεια που θα κινεί τους κινητήρες των αντλιών, ισχύος 7500 HP, είναι ηλεκτρική και απαιτεί τάση 11.5kV.

Εκτός των αντλιών, το αντλιοστάσιο θα εξοπλιστεί με :

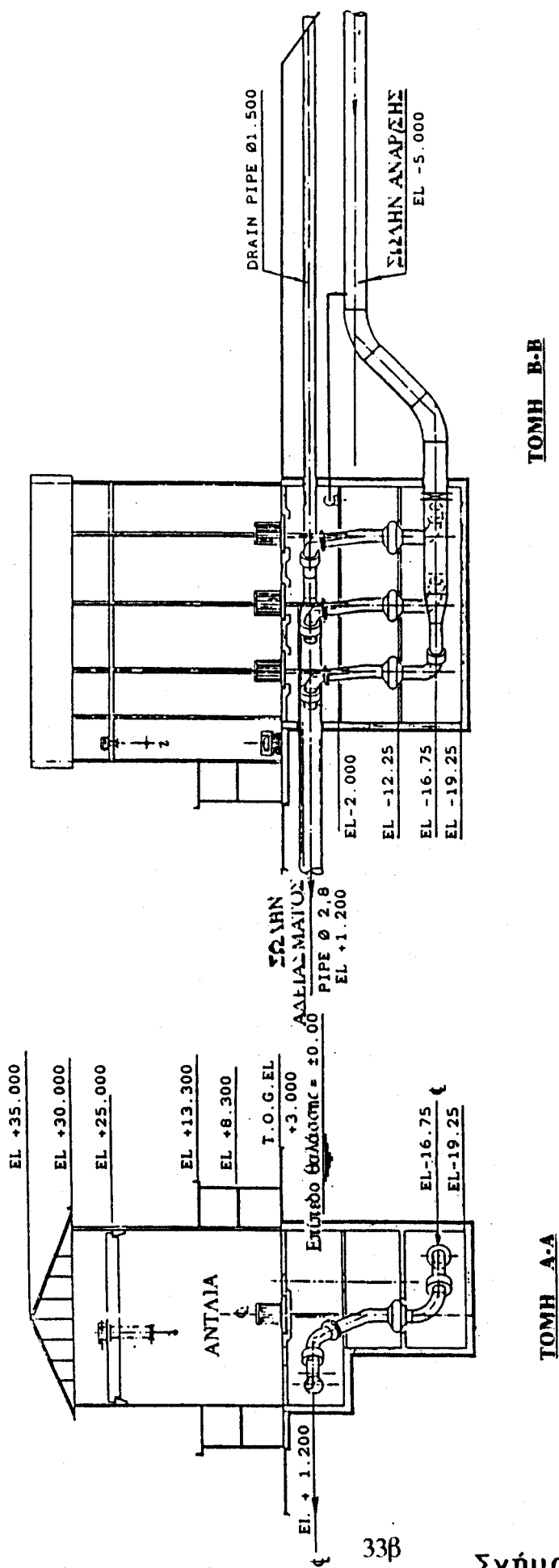
- **Σωλήνα αναρρόφησης** διαμέτρου 2.3 m και κεντρική βαλβίδα που θα ενεργοποιείται όταν θα πρέπει να γίνουν εργασίες συντήρησης στις υπόλοιπες βαλβίδες,
- **Σωλήνα απόθεσης** (discharge) διαμέτρου 2.8 m,
- **Βραχύ** (100-200 m) **σωλήνα** που θα αδειάζει το απόθεμα και παράλληλα θα προστατεύει το αντλιοστάσιο από υδραυλικό πλήγμα, και
- **Μετασχηματιστή** τάσεως 161 kV (**Σχήμα 3.7, 3.8**)

Τα υπόλοιπα χερσαία έργα που κρίνονται απαραίτητα για την ολοκλήρωση του έργου της υδροδότησης με νερό προερχόμενο εκ θαλάσσιας μεταφοράς, είναι ασφαλώς τα έργα που συνδέουν το αντλιοστάσιο με το υπάρχον σε κάθε περίπτωση σύστημα υδροδότησης. Αυτά τα έργα όμως, πέρα από το ότι για κάθε περίπτωση είναι εντελώς διαφορετικά, δεν μπορούν να εξεταστούν διεξοδικά διότι δεν αποτελούν τμήμα μιας εργασίας ασχολούμενης με τη θαλάσσια μεταφορά του νερού.



ΚΑΤΟΨΗ
ΑΝΤΑΙΟΣΤΑΣΙΟΥ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ

Σχήμα 3.7



3.7 ΚΥΚΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ - ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

3.7.1 ΚΥΚΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ - ΠΛΗΘΗ ΑΣΚΩΝ, ΡΥΜΟΥΛΚΩΝ

Στη συγκεκριμένη μελέτη ετήσιας μεταφοράς 250.000.000 m³ νερού από την Τουρκία στο Ισραήλ, προτείνεται να ακολουθηθεί ο παρακάτω κύκλος :

1	ασκός να γεμίζει
3	ασκοί να ταξιδεύουν γεμάτοι
1	ασκός να αδειάζει, και
<u>1</u>	ασκός να επιστρέφει άδειος
6	ασκοί σε σύνολο

Φυσικά μπορούν να ακολουθηθούν στην πράξη κύκλοι με λιγότερους, ή και με περισσότερους ασκούς, το κόστος όμως θα παραμείνει σχεδόν αμετάβλητο, επειδή για κάθε περίπτωση επιλέγουμε διαφορετικό μέγεθος ασκού, μέσω της διαδικασίας βελτιστοποίησης.

Άλλοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν προκειμένου να επιλεγεί ο κατάλληλος κύκλος εργασιών των ασκών είναι οι παρακάτω:

(i) Σταθερή, πλήρης εκμετάλλευση των **σταθμών** φόρτωσης και εκφόρτωσης του ύδατος. Είναι απαραίτητο και οι δύο σταθμοί να βρίσκονται όσο πλησιέστερα γίνεται στην πλήρη ικανότητά τους, ώστε να είναι δυνατή η ισοκατανομή του φόρτου εργασίας και να ελαχιστοποιηθεί η στιγμιαία απαιτούμενη χωρητικότητα των σταθμών.

(ii) Το **μέγεθος** τόσο των ασκών όσο και των ρυμουλκών μειώνεται όσο ο συνολικός αριθμός των ασκών αυξάνεται, και ενώ για τους ασκούς ισχύει το όσο μικρότεροι, τόσο καλύτερα, για τα ρυμουλκά πρέπει να προσέξουμε να κρατηθούμε σε κάποιο πρακτικό φάσμα μεγεθών.

(iii) Με μεγαλύτερο συνολικό αριθμό ασκών και ρυμουλκών, οι συνέπειες πιθανών ανωμαλιών η ακόμα και **δολιοφθοράς** μειώνονται.

Όσον αφορά στον αριθμό των ρυμουλκών, αυτά θα πρέπει να είναι όσα και οι

ασκοί στο πλήθος, μείον δύο (αυτά που αντιστοιχούν στους ασκούς που θα βρίσκονται στους σταθμούς), συν ένα σε αναμονή, συνολικά, ένα λιγότερο από τους ασκούς. Παρόλ' αυτά προκειμένου να αυξήσουμε το συντελεστή απόδοσης του συστήματος, μπορούμε να έχουμε άλλο ένα ρυμουλκό αραγμένο σε έναν από τους σταθμούς, για να αντιμετωπίσουμε πιθανές επείγουσες καταστάσεις και να διευκολύνουμε τις μανούβρες προσέγγισης των σταθμών.

3.7.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ - ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Για να ξεκινήσουμε τη διαδικασία βελτιστοποίησης υποθέτουμε κάποιο βαθμό προσφοράς υπηρεσιών ίσο με το 80% της σχεδιασμένης χωρητικότητας του συστήματος. Αυτός ο αριθμός προκύπτει αν αναλογιστούμε ότι αφ' ενός σχεδιάσαμε το όλο μας σύστημα (ικανότητα αντλιοστασίου, ταχύτητα ρυμούλκησης κ.λ.π.) ώστε να λειτουργεί στο 90% της συνολικής του δυνατότητας, και αφ' ετέρου λάβουμε υπ' όψιν μας και το χρόνο αναμονής των ασκών στους σταθμούς, το οποίο μειώνει την απόδοσή μας κατά άλλα 10%, δηλ συνολικά θα έχουμε απόδοση $\sim 80\%$.

Η διαδικασία βελτιστοποίησης σκοπό έχει την εύρεση των κατάλληλων διαστάσεων του συστήματος που θα μεταφέρει την απαιτούμενη ποσότητα ύδατος με το ελάχιστο δυνατό ετήσιο κόστος. Ως μέγεθος συστήματος πάντα θα εννοούμε τις διαστάσεις των ασκών, την απαιτούμενη ισχύ των ρυμουλκών, το βάθος των σταθμών, την ταχύτητα ρυμούλκησης κ.ο.κ.

Το πρόβλημα στο σύνολό του είναι μη γραμμικό εξαιτίας της μη-γραμμικότητας της συνάρτησης του κόστους. Μολαταύτα το μέγεθος του προβλήματος είναι αρκετά μικρό ώστε να μην παρίσταται ανάγκη για πολύπλοκους μαθηματικούς υπολογισμούς.

Η βασική σταθερά του προβλήματός μας είναι η ποσότητα του ύδατος που πρέπει να δοθεί στην κατανάλωση ανά έτος, W_A . Αν ο όγκος του νερού Q_B (m^3), που περιέχεται σε κάθε ασκό δίνεται από τις τιμές των βασικών του διαστάσεων (μήκος L , πλάτος W , βάθος D) τότε ο σχεδιασμός προβλέπει το πόσες φορές πρέπει να φτάνει ο κάθε ασκός στον προορισμό του κάθε χρόνο. Π.χ. αν πάρουμε ασκούς χωρητικότητας 2 εκατομ. τόνων και χρειαζόμαστε λ.χ. 250 εκατομ. τόνους κάθε χρόνο, θα έχουμε 125 αφίξεις ανά έτος.

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

Το πλήθος των ετήσιων αφίξεων (N_{Arr}) και το πλήθος των χρησιμοποιούμενων-ενεργών ρυμουλκών N_T καθορίζουν την απαιτούμενη ταχύτητα ρυμούλκησης. Αυτή με τη σειρά της μας βοηθάει να υπολογίσουμε τη ζητούμενη δύναμη έλξης BP και μέσω αυτής το μέγεθος του ρυμουλκού. Η μαθηματική έκφραση των παραπάνω είναι η εξής :

Απαιτούμενη ποσότητα W_A = παραδιδόμενη ποσότητα

$$N_{Arr} = W_A / Q_B$$

$$\text{Χρόνος κύκλου ρυμουλκού} = \frac{365}{N_{Arr}} * N_T = \frac{365 * Q_B * N_T}{W_A} \quad (\text{μέρες})$$

Ο χρόνος κύκλου που δίνεται παραπάνω περιλαμβάνει το χρόνο διαδρομής του γεμάτου ασκού και το χρόνο επιστροφής του. Αν R_F είναι ο χρόνος επιστροφής ως κλάσμα του χρόνου διαδρομής του γεμάτου ασκού, έχουμε :

$$\begin{aligned} \text{χρόνος διαδρομής του γεμάτου ασκού} &= \frac{365 * Q_B * N_T}{W_A * (1 + R_F)} \\ (\text{μέρες}) \end{aligned}$$

αλλά και

$$\text{χρόνος διαδρομής γεμάτου ασκού} = \frac{\text{απόσταση}}{\text{ταχύτητα}} = \frac{DIST}{V_w + V_c}$$

με

V_w την ταχύτητα του ασκού στο νερό και

V_c την ταχύτητα του ρεύματος.

Εξισώνοντας τις 2 τελευταίες εκφράσεις, και λύνοντας ως προς τη απαιτούμενη ταχύτητα του ρυμουλκού στο νερό, προκύπτει :

$$V_w = \frac{DIST * W_A * (1 + R_F) - V_c}{365 * Q_B * N_T}$$

Εδώ ας σημειωθεί πως ο όρος **DIST* W_A** αντικατοπτρίζει τα τονο-μίλια που θα διανυθούν, και από τη στιγμή που μόνο εδώ εμφανίζονται, η λύση που θα προκύψει θα εφαρμοστεί και σε κάθε άλλη περίπτωση παρομοίων απαιτήσεων σε τονο-μίλια, ανεξάρτητα από την απόσταση που θα απέχουν οι σταθμοί φόρτωσης και απόθεσης του ύδατος μεταξύ τους.

Η παραπάνω έκφραση συσχετίζει το μέγεθος του ασκού και την ταχύτητά του για κάποιο δεδομένο απαιτούμενο όγκο νερού. Για τον όγκο **Q_B** αυτό και για την ταχύτητα **V_w** μπορεί εύκολα να προκύψει το **BP**. Τα μεγέθη αυτά είναι αρκετά για να εκτιμηθεί το ετήσιο κόστος της μεταφοράς του νερού. Για συγκεκριμένα **Q_A** και **N_B**, η βελτιστοποίηση συνίσταται στη μεταβολή του **Q_B** μέχρι να βρεθεί το ελάχιστο κόστος.

Στην πράξη τα ίδια αποτελέσματα από απόψεως **Q_B** μπορούν να προκύψουν από πολλούς συνδυασμούς **L** και **D**, οπότε παρουσιάζεται η ανάγκη να βρεθεί ο κατάλληλος συνδυασμός τους για να ελαχιστοποιηθεί το τελικό κόστος συνυπολογίζοντας και το ανακύπτον σε κάθε περίπτωση κόστος του σταθμού.

Το βάθος **D** του ασκού καθορίζει και το ελάχιστο βάθος στο οποίο μπορεί να προσδεθεί ο ασκός, συνεπώς και το μήκος του υποθαλάσσιου αγωγού. Ακόμα στο ελάχιστο αυτό βάθος παίζει ρόλο και το μήκος του ασκού **L**, καθώς ο τελευταίος είναι ελεύθερος να περιστρέφεται γύρω από τη σημαδούρα. Επίσης, ας σημειωθεί ότι το κόστος των εκάστοτε σταθμών, όπως και το κόστος όλων των υπόλοιπων χειραίων εγκαταστάσεων εξαρτάται ασφαλώς από την ποσότητα του αποδιδόμενου σε κάθε εκφόρτωση ύδατος.

3.8 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Όπως και στις προηγούμενες παραγράφους του κεφαλαίου αυτού, τα δεδομένα που παρουσιάζονται πιο κάτω στηρίζονται στη μελέτη [13] της Ισραηλινής εταιρείας TAHAL και κατόπιν τούτου παρατίθενται περισσότερο ενδεικτικά, καθότι αφορούν κυρίως στη συγκεκριμένη περίπτωση μεταφοράς από την Τουρκία στο Ισραήλ.

Το κόστος που προκύπτει ανά κυβικό μέτρο είναι συνάρτηση των επι μέρους κοστών των σταθμών φόρτωσης και εκφόρτωσης, των ρυμουλκών, των αντλιοστασίων και των λοιπών χερσαίων έργων. Στην προαναφερθήσα μελέτη προέκυψε κόστος νερού U.S. \$0.23/m³ (**57.5 δρχ/m³**) για μεταφορά 2 εκατομμυρίων m³ ανά ημέρα χρησιμοποιώντας:

6 ασκούς χωρητικότητας 1.6 εκατομμυρίων m³ ο καθένας και
6 ρυμουλκά με bollard pull 35t και ιπποδύναμη 2594 Hp έκαστο.

Οι μεν ασκοί κοστίζουν συνολικά περίπου \$20 εκ. (5 δις δρχ), τα δε ρυμουλκά περί τα \$25 εκ. (7.25 δις δρχ). Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την εποχή που συντάχθηκε η μελέτη [13], η τιμή αγοράς των ρυμουλκών ήταν πολύ ψηλότερη απ' ότι στο πρόσφατο παρελθόν. Παρόλ' αυτά, η πρόταση για χρησιμοποίηση μεταχειρισμένων ρυμουλκών αποκλείστηκε λόγω του μικρού χρόνου ζωής τους. Το παραπάνω μπορεί να αγνοηθεί στην περίπτωση που η μεταφορά με ασκούς εφαρμοστεί στην Ελλάδα, καθώς ούτως η άλλως η λειτουργία τους θα είναι περιοδική και όχι συνεχής.

Κατά τα άλλα, το αντλιοστάσιο στο Ισραήλ κοστίζει (σε U.S.\$ του 1988 πάντοτε, επικαιροποιημένα για το 1994) \$32 εκ. (8 δις δρχ), με παροχή 13 m³/sec και μανομετρικό ύψος 75 m, το ναύδετο \$15 εκ. (3.75 δις δρχ), ο υποθαλάσσιος αγωγός \$32 εκ. (8 δις δρχ) και τα λοιπά χερσαία έργα \$67 εκ. (16.5 δις δρχ), ανεβάζοντας το κόστος της επένδυσης στο Ισραήλ στα \$145 εκ. (36 δις δρχ). Το αντίστοιχο κόστος για τα έργα που θα γίνουν στην Τουρκία ανέρχονται σε \$37.5 εκ. (9.5 δις δρχ) -δεν υπάρχει ούτε αντλιοστάσιο, ούτε χερσαία έργα, ούτε τόσο μεγάλος υποθαλάσσιος αγωγός-. Επίσης στη μελέτη [13] προβλέπεται ένα ποσό γύρω στα \$30 εκ. (7.5 δις δρχ) για γενικά, σχεδιαστικά και τρεχούμενα έξοδα.

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

Υπολογίζοντας το χρόνο απόσβεσης των έργων Πολ. Μηχ. στα 30 χρόνια, των ρυμουλκών στα 15 και των ασκών στα 7 χρόνια με επιτόκιο 12% και απρόβλεπτα 10%, προκύπτει για την τελική επένδυση των \$280 εκ. (70 δις δρχ), με ετήσια έξοδα \$12 εκ. (3 δις δρχ), κόστος νερού μόλις **\$0.223/m³**, δηλαδή περίπου **56 δρχ/m³**. Τα παραπάνω είναι πιο εύκολο να παρακολουθηθούν στον **πίνακα 3.9** που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.9: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΑΣΚΟΥΣ

ΕΙΔΟΣ ΕΞΟΔΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	ΠΟΣΟ ΑΝΑ ΕΞΟΔΟ (εκ. δρχ)	ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΝΕΡΟΥ (δρχ/m ³)
ΑΓΟΡΑ ΑΣΚΩΝ	6 * 1.6 εκ. m ³	5.000	14.6
ΑΓΟΡΑ ΡΥΜΟΥΛΚΩΝ	6 * 35t BP	6.250	
ΣΥΣΤΗΜΑ ΝΑΥΔΕΤΩΝ	SPBM	3.750	12.325
ΥΠΟΘΑΛ/ΟΣ ΑΓΩΓΟΣ	3.000m	8.000	
ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟ ΙΣΡΑΗΛ	Q = 13m ³ /sec Dh = 75m	8.000	12.75
ΛΟΙΠΑ ΧΕΡΣΑΙΑ ΕΡΓΑ		16.750	
ΕΡΓΑ ΤΟΥΡΚΙΑΣ		9.375	6.875
ΓΕΝΙΚΑ ΕΞΟΔΑ		7.500	9.45

Τελική τιμή νερού ~ 56 δρχ/m³

Για να υπολογίσουμε το κόστος κάποιου άλλου σεναρίου, ο Cran [14] μας λέει πως η τιμή του νερού εξαρτάται από τον όγκο και την απόσταση της μεταφοράς, καθώς και από το κόστος των ναυδέτων. Για παράδειγμα, για να μεταφέρουμε ετησίως 250 εκ. κυβικά μέτρα νερού σε μιά απόσταση γύρω στα 400 μίλια, θα χρειαστεί να πληρώσουμε \$0.15 με 0.20 (3.75 - 5 δρχ) ανά κυβικό, με επιτόκιο 7%. Επίσης υποστηρίζει πως κάθε επιπλέον κυβικό μέτρο νερού θα κοστίζει μόλις \$0.1 (25 δρχ). Φυσικά στην περίπτωση που έχουμε πάνω από ένα σημείο εκφόρτωσης το συνολικό κόστος θα ανέβει κατά τι. Το καθαρό κόστος της μεταφοράς χωρίς τα ναύδετα και τα χερσαία έργα, αλλά με εξυπηρέτηση κεφαλαίου είναι **\$0.015 (3.75 δρχ)/m³ ανά 100 μίλια διαδρομής.**

4

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ

4.1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

4.2

ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

4.2.1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

4.2.2

ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.2.2.1

Πολυσταδιακή Εξάτμιση (MSF)

4.2.2.2

Απόσταξη (MED)

4.2.2.3

Συμπύεση ατμών (VC)

4.2.3

ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ- Αντίστροφη Ώσμωση (RO)

4.2.3.1

Οι αρχές της αντίστροφης ώσμωσης.

4.2.3.2

Η μέθοδος αντίστροφης ώσμωσης (RO)

4.2.4

ΚΙΝΗΤΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

4.2.5

ΧΡΗΣΗ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

4.2.6

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

4.3

ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΕΣ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

4.3.1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

4.3.2

ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

4.3.3

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αν και το θέμα που πραγματεύεται η εργασία αυτή είναι σχετικό με τη **θαλάσσια μεταφορά** νερού, κρίνεται απαραίτητη και η παράθεση τρόπων και λύσεων που έχουν προταθεί στο παρελθόν για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας, είτε έχουν εφαρμοστεί είτε όχι.

Αρχικά αναφέρομαι στη λύση της αφαλάτωσης, η οποία έχει εφαρμοστεί εδώ και πολλά χρόνια σε όλα τα μήκη και τα πλάτη της γης και αποτελεί αυτή τη στιγμή την πιο διαδεδομένη μέθοδο εκμετάλλευσης της μοναδικής “αστείουρης” πηγής νερού του πλανήτη μας, τη θάλασσα.

Κατόπιν, περνάμε σε μια κάπως πιο εξειδικευμένη περίπτωση εξοικονόμησης και αποταμίευσης των επιφανειακών και των κατακρημνιζομένων υδάτων, τις εξωποτάμιες λιμνοδεξαμενές. Η λύση αυτή φαίνεται “κομμένη και ραμμένη” στα μέτρα της Ελλάδας και ειδικότερα των υδατικά φτωχών νησιών της.

4.2 ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

4.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μία από τις πιο διαδεδομένες διεξόδους στο πρόβλημα της έλλειψης νερού δίνει η λύση της αφαλάτωσης. Όταν το μέρος που πάσχει από έλλειψη νερού βρέχεται από θάλασσα, και ιδίως στην περίπτωση των νησιών που περιβρέχεται από αυτή, η λύση της μετατροπής του θαλάσσιου νερού σε πόσιμο φαντάζει ιδιαίτερα πρακτική.

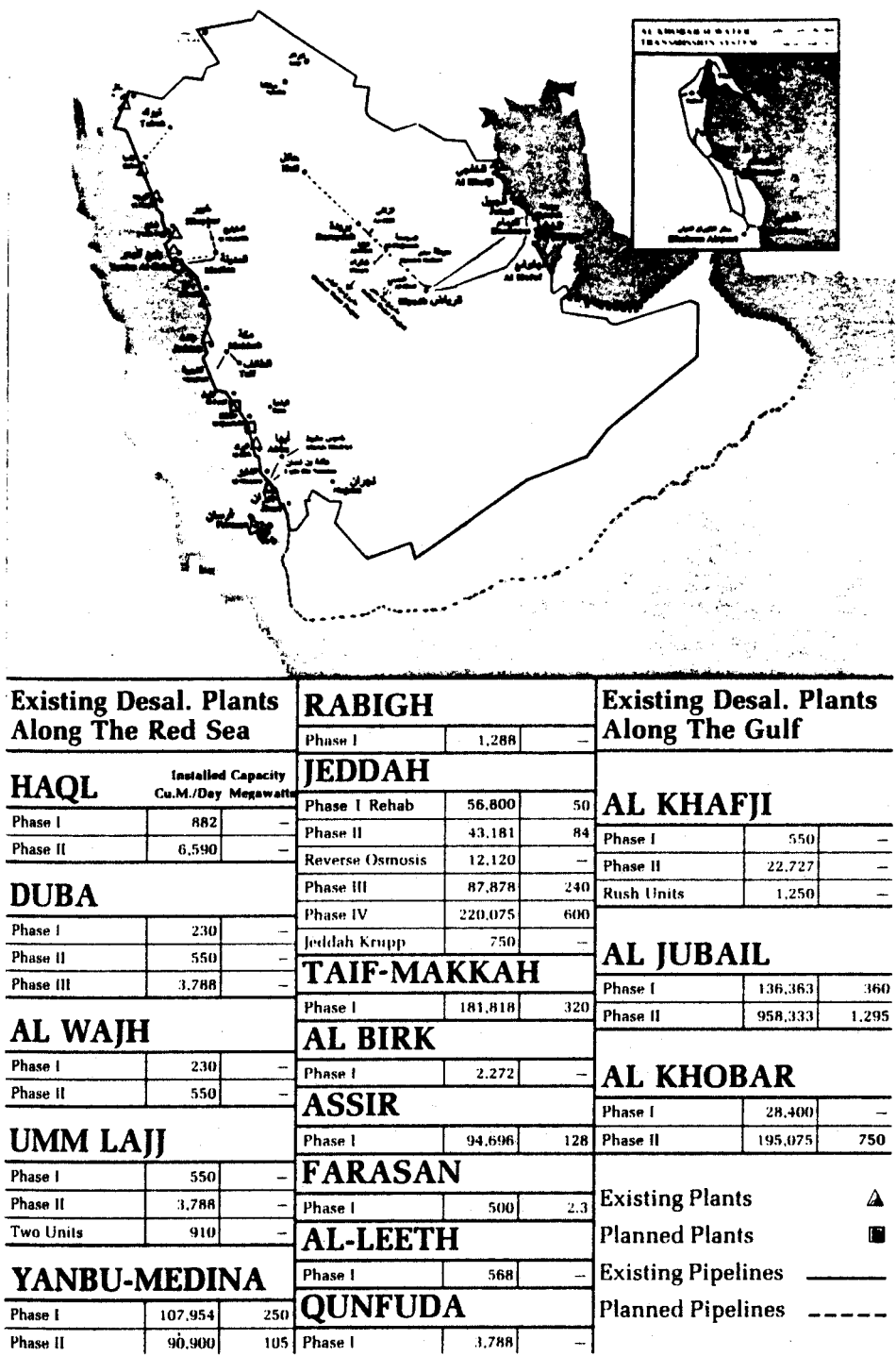
Φυσικά η τεχνική της αφαλάτωσης δεν εφαρμόζεται μόνο στην παραπάνω περίπτωση. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα στη σύγχρονη πρακτική όπου το νερό που αφαλατώνουμε είναι είτε υφάλμυρο είτε ακάθαρτο (π.χ. νερό προερχόμενο από βιολογικό καθαρισμό λυμάτων).

Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου μπορεί να ανιχνευθεί στην πραγματικά εκτεταμένη εφαρμογή της, τόσο από την άποψη αριθμού και μεγέθους εγκαταστάσεων, όσο και από τη σκοπιά της γεωγραφικής της διασποράς.

Χαρακτηριστικά μπορεί να αναφερθεί το παράδειγμα της Σαουδικής Αραβίας, όπου αυτή τη στιγμή λειτουργούν πάνω από 30 εγκαταστάσεις αφαλάτωσης (σχ. 4.1), οι οποίες συνολικά παράγουν γύρω στα 3.000.000 m³ την ημέρα, δηλαδή πάνω από 1 δισεκατομύριο m³ το χρόνο! Το περισσότερο φυσικά νερό που παράγεται με αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιείται από τη γεωργία για την άρδευση των αχανών άνυδρων και ερημικών εκτάσεων της τεράστιας αυτής χώρας (η έκτασή της ξεπερνάει τα 2.000.000 km²). [1]

Βεβαίως μια χώρα σαν τη Σαουδική Αραβία, με μέση ετήσια βροχόπτωση σε ολόκληρη την επικράτειά της γύρω στα 50 mm το χρόνο (και αυτή συγκεντρωμένη στους “βροχερούς” μήνες, από Νοέμβριο μέχρι Απρίλιο), στην οποία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες επικρατούν θερμοκρασίες μεταξύ 38-49⁰ C, δε μπορεί υπό φυσιολογικές συνθήκες να συγκριθεί με τη μικρή και σχετικά πλούσια σε υδατικό δυναμικό Ελλάδα. Όμως, παρόλ’ αυτά σε μερικές άνυδρες περιοχές της ελληνικής επικράτειας η βροχόπτωση είναι αρκετά χαμηλή (π.χ. στη Σαντορίνη το μέσο

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ



Σχήμα 4.1: ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΣΤΗ ΣΑΟΥΔΙΚΗ ΑΡΑΒΙΑ

ετήσιο ύψος βροχόπτωσης είναι περίπου 300-350 mm) και η επικοινωνία τους με υδατικά πλούσια μέρη της πατρίδας μας είναι μικρή και οικονομικά ασύμφορη, κάτι που μας οδηγεί στη λύση της γενικά πολυέξοδης αφαλάτωσης.

Στην Ελλάδα υπάρχουν 18 εγκαταστάσεις αφαλάτωσης συνολικής δυναμικότητας κάτω από 30.000 m³ την ημέρα, το 50% των οποίων παράγεται στη μονάδα της Κέρκυρας, δυναμικότητας 14.500 m³ την ημέρα (Σχ. 4.2).

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι αφαλάτωσης. Κοινό χαρακτηριστικό όλων τους είναι η προσπάθεια της αφαίρεσης των διαφόρων ιόντων από το “ακάθαρτο” νερό ούτως ώστε αυτό να αποκτήσει τη ζητούμενη από κάποιους κανονισμούς “καθαρότητα” (η τελευταία μετριέται συνήθως με τη συνολική περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένα στερεά **TDS** -total dissolved solids).

Οι συνηθισμένες μέθοδοι αφαλάτωσης κατατάσσονται σε δύο κύριες κατηγορίες.

- (α) τις **θερμικές** και
- (β) τις μεθόδους που χρησιμοποιούν **μεμβράνες**.

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις μεθόδους της

- πολυσταδιακής εξάτμισης (**MSF- multi stage evaporation**),
- απόσταξης (**MED-multi effect distillation**) και
- συμπίεσης των ατμών (**VC- vapour compression**),

ενώ η δεύτερη τις μεθόδους της

- αντίστροφης ώσμωσης (**RO- reverse osmosis**) και
- ηλεκτροδιάλυσης (**ED- electrodialysis**).

Ακόμα υπάρχει και μια τρίτη κατηγορία, η κατηγορία των “**ειδικών**” μεθόδων.

Στις επόμενες σελίδες της εργασίας αυτής θα περιγράψω περιληπτικά τις βασικές αρχές κάθε μίας από τις παραπάνω.

ΕΛΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Country	Location	Capac. m ³ /d	Unit	Proce	Equip	Featu	Customer	Water User	On Op Year	Manufacturer	Additional Information
ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΣΤΙΓΜΙΑΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (MSF)											
Greece GR	Corinth	2400	1 MSF	FLASH	MDH		SEA	INDU	79 80	Bosco I	MC:77L
Greece GR	Corinth	2400	1 MSF	FLASH	MDH		SEA	INDU	83 84	Bosco I	MC:77L
Greece GR	Lavris	500	2 MSF	FLASH			SEA	POWER	71 72	Kr. 100 2	
Greece GR	Lavris	500	2 MSF	FLASH	Ministry		SEA	POWER	71 72	USA F	
Greece GR	Syros	1000	1 MSF	FLASH	Government		SEA	MUNI	69 70	Mannesmann U	
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕ ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΩΝ (VC)											
Greece GR		656	3 VC	NTE	Fluor		SEA	INDU	79 80	Aqua Chem USA	
Greece GR	Crete	114	1 VC	NTE	Public Power		SEA	POWER	74 75	Aiton 66	
Greece GR	Kavala	669	3 VC	NTE			SEA	INDU	80 81	Aqua Chem USA	
ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ (RO)											
Greece GR		300	1 RO	MTU	Int. Operation		SEA	INDU	80 81	Meyer CH	
Greece GR	Corfu	144	1 RO	MTU	Coca Cola		BRACK	INDU	85 86	Portals 83	
Greece GR	Ithaka	300	1 RO	NFM	Municipality		BRACK	MUNI	81 82	Christ 84	in 80P
Greece GR	Mykonos	500	2 RO	NFM			SEA	MUNI	80 81	Aqua Chem USA	in 80P
Greece GR	Nea Sakri	2271	1 RO	SWH	US Government		SEA	MIL	85 86	Hydronautics USA	in 80P
Greece GR	Pireus	227	1 RO	SWH	US Navy		BRACK	INDU	84 85	Hydronautics USA	in 80P
ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗ (ED)											
Greece GR		800	1 ED	FM	EDR		BRACK	INDU	76 77	Ionics USA	
Greece GR		800	1 ED	FM	EDR		BRACK	INDU	76 77	Ionics USA	
Greece GR		900	1 ED	FM	EDR		BRACK	INDU	76 77	Ionics USA	
Greece GR	Corfu	14500	1 ED	FM	EDR	Municipality	BRACK	MUNI	76 78	Ionics USA	
Συμβολισμοί :											
ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ / ΕΙΔ. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ / ΤΡΩΦΟΔ. ΝΕΡΟ / ΧΡΗΣΗ											
FLASH flash evaporator						SEA sea water					
NTE horizontal tube falling film evaporator						BRACK brackish water or inland water					
SWH spiral wound membrane						INDU fresh water used as industrial or process water					
NFM hollow fibre membrane						MIL fresh water used for military purposes					
FM flat membrane						MUNI fresh water used as municipal drinking water					
MTU membrane type unknown						POWER fresh water used as process water in power stations					
EDR reversal polarization in ED-plants											

Σχήμα 4.2

4.2.2 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.2.2.1 Πολυσταδιακή Εξάτμιση (MSF)

Η μέθοδος αυτή άρχισε να εφαρμόζεται από το 1960 και είναι από τις πιο διαδεδομένες διεθνώς. Μειονέκτημά της σε σύγκριση με την αντίστροφη ώσμωση είναι το υψηλό της κόστος (ιδίως για μονάδες μικρής δυναμικότητας) το οποίο οφείλεται στο υψηλό ποσό ενέργειας που απαιτεί. [15] Παρόλ' αυτά μέρος της ενέργειας που απαιτείται για την απόσταξη μπορεί να ανακτηθεί με την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από το πλεόνασμα θερμικής ενέργειας που δημιουργείται.

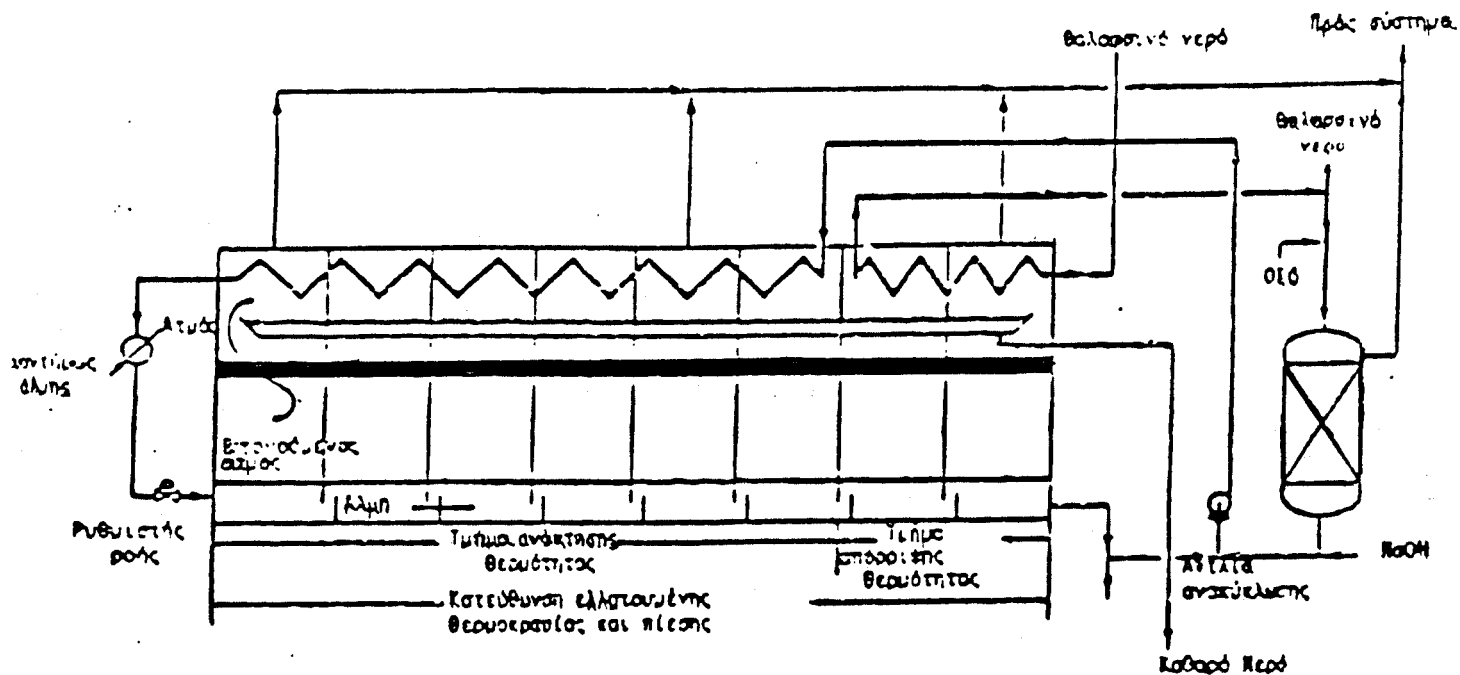
Η όλη μέθοδος βασίζεται στην απόσταξη του θαλασσινού νερού, η οποία γίνεται σταδιακά, σε βαθμίδες. Σε μεγάλες μονάδες, ο αριθμός των βαθμίδων μπορεί να φτάσει τις 40 [4]. Το νερό εισάγεται από τη θάλασσα και θερμαίνεται υπό πίεση στον θερμαντήρα της άλμης. Κατόπιν το ζεστό αυτό νερό διοχετεύεται στις βαθμίδες, από τις οποίες διέρχεται εκτονωνόμενο κάθε φορά αδιαβατικά. Η εκτόνωση σταματάει όταν η θερμοκρασία της άλμης έρθει σε ισορροπία με την πίεση της βαθμίδας στην οποία βρίσκεται (η κάθε βαθμίδα βρίσκεται σε υψηλότερη πίεση από την επόμενη). Μ' αυτόν τον τρόπο το νερό μεταπίπτει σε αέρια φάση (γίνεται ατμός) και αφήνει στην επιφάνεια της βαθμίδας την απομείνασα άλμη. Ο ατμός με τη σειρά του συμπυκνώνεται πάνω στην επιφάνεια μεταλλικών σωλήνων που περνούν πάνω από τις βαθμίδες και μεταφέρουν το ψυχρό θαλάσσιο νερό για να υποστεί την αρχική του θέρμανση (Σχ 4.3).

Ανάλογα με τον αποδέκτη της άλμης που προέρχεται από την όλη κατεργασία, χωρίζουμε το σύστημα της απλής διέλευσης της άλμης (η άλμη απορρίπτεται στη θάλασσα) και το σύστημα επανακυκλοφορίας της άλμης (η άλμη αναμιγνύεται με φρέσκο θαλασσινό νερό και υφίσταται από την αρχή κατεργασία). Το μεν πρώτο έχει το πλεονέκτημα της απλότητας, το δε δεύτερο προσφέρει μεγαλύτερη απόδοση (πιο μικρός λόγος ποσότητας καθαρού : προσφερόμενου νερού).

Για να βελτιωθεί η απόδοση ενός συστήματος **MSF** είναι δυνατόν [4] να :

- (α) αυξηθεί ο αριθμός των βαθμίδων και να εκλεγούν επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας,
- (β) χρησιμοποιηθούν εναλλάκτες από υλικό υψηλής θερμικής αγωγιμότητας,
- (γ) αυξηθεί η θερμοκρασία της άλμης (προσοχή: κίνδυνος επικαθίσεων και διάβρωσης),

Πολυβάθμια στιγμιαία απόσταση (MSF)



Σχήμα 4.3

(δ) χρησιμοποιηθούν κατάλληλες τεχνικές για τον έλεγχο των επικαθίσεων.

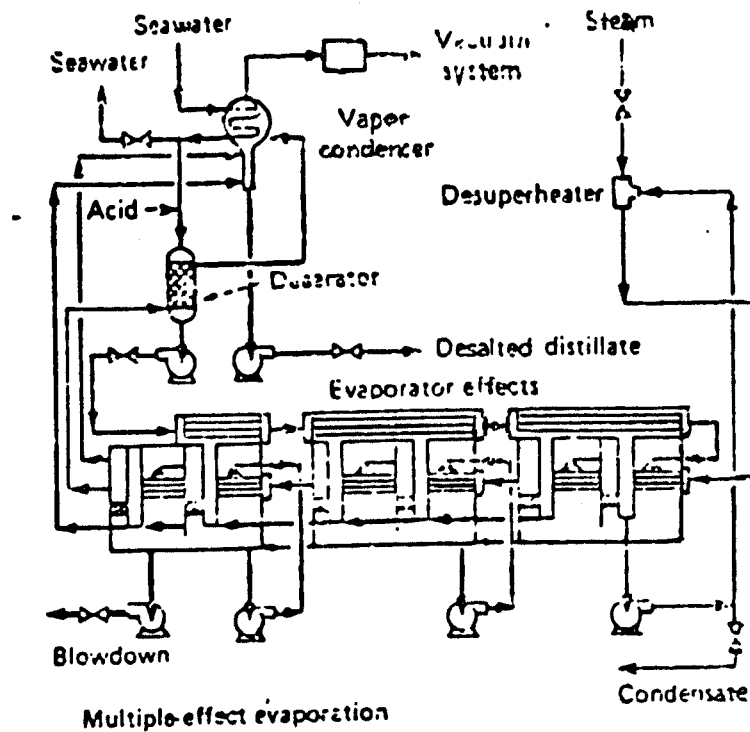
4.2.2.2 Απόσταξη (MED)

Το θαλασσινό νερό αφού περάσει μια αρχική προεργασία (χημική κατεργασία και αραίωση [4]), οδηγείται, μετά από αρχική προθέρμανση, σε οριζόντιους και κατακόρυφους σωλήνες όπου ξαναθερμαίνεται με τη διάχυση ατμών στην εξωτερική πλευρά τους. Μέρος του νερού εξατμίζεται και συλλέγεται ως καθαρό νερό και μέρος του περνάει στην επόμενη φάση. Στην επόμενη φάση ακολουθείται η ίδια διαδικασία, υπό χαμηλότερη πίεση. Η θερμοκρασία της άλμης κάθε φορά μειώνεται, αλλά προσέχουμε να διατηρείται σε κάθε στάδιο ψηλότερα από το σημείο βρασμού που αντιστοιχεί σε κάθε πίεση (Σχ 4.4).

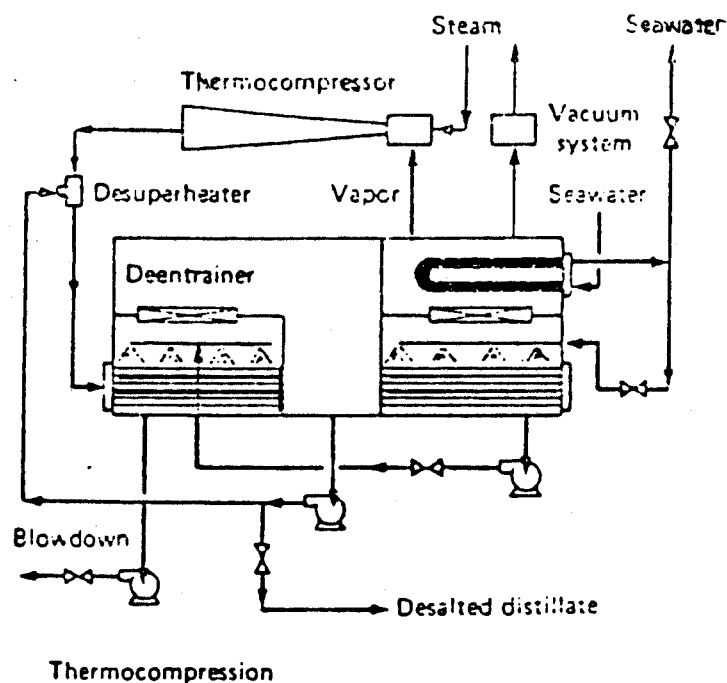
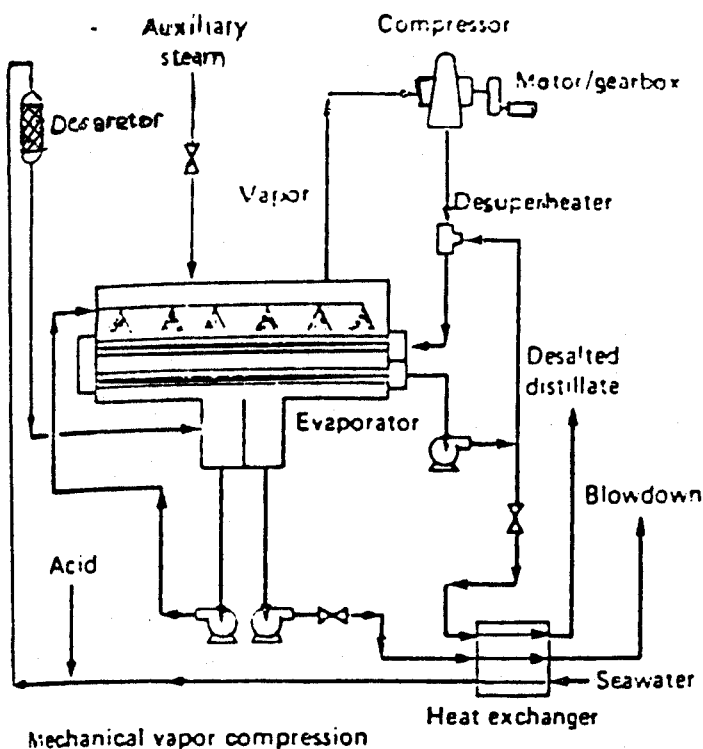
4.2.2.3 Συμπύεση ατμών (VC)

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το θαλάσσιο νερό αφού περάσει αρχικά από τον εξατμιστήρα και μεταπέσει σε αέρια φάση, διέρχεται από το συμπιεστή και γίνεται υπέρθερμο. Στη συνέχεια διαβιβάζεται στον εναλλάκτη του εξατμιστήρα όπου συμπυκνώνεται και αποδίδει το θερμικό του περιεχόμενο για την εξάτμιση φρέσκου θαλάσσιου νερού, το οποίο προορίζεται για αφαλάτωση. Το συμπυκνωμένο νερό είναι πλέον καθαρό και μπορεί να προωθηθεί στην κατανάλωση (Σχ 4.5).

Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι το ότι χρησιμοποιεί, γενικά, λιγότερη ενέργεια από τις υπόλοιπες θερμικές μεθόδους, καθώς και ότι προσφέρεται (όπως θα δούμε και αργότερα) για περιβαλλοντολογικά “καθαρές” λύσεις.



Σχήμα 4.4: ΑΠΟΣΤΑΞΗ (M.E.D.)



Σχήμα 4.5: ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΤΜΩΝ (V.C.)

4.2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ MEMBRANΗΣ- Αντίστροφη Ώσμωση (RO)

4.2.3.1 Οι αρχές της αντίστροφης ώσμωσης.

Οι βασικές αρχές του φαινομένου της ώσμωσης, στο οποίο βασίζεται και η μέθοδος αυτή, περιγράφονται από το παρακάτω πείραμα. Σε ένα άδειο δοχείο τοποθετούμε μία **ημιπερατή μεμβράνη** ούτως ώστε να χωρίζεται το δοχείο σε 2 μέρη. Αν τώρα τοποθετήσουμε στα μέρη του δοχείου 2 διαλύματα διαφορετικής περιεκτικότητας στα ίδια σωματίδια, θα παρατηρήσουμε ότι η στάθμη του διαλύματος με τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα θα ανέβει, ενώ αντίθετα η στάθμη του άλλου διαλύματος θα μειωθεί, ώσπου να αποκτήσουν και τα 2 διαλύματα την ίδια περιεκτικότητα σε σωματίδια. Τα παραπάνω οφείλονται στην ημιπερατή μεμβράνη η οποία έχει την ιδιότητα να επιτρέπει τη διέλευση μορίων ύδατος από το αραιό στο πυκνό διάλυμα ενώ συγχρόνως εμποδίζει τη ροή των διαλυμένων σωματιδίων του πυκνού διαλύματος προς το αραιό.

Η αντίστροφη ώσμωση πετυχαίνεται όταν ασκώντας πίεση στο πυκνό διάλυμα (το θαλασσινό νερό στην περίπτωση της εφαρμοσμένης αφαλάτωσης) αναγκάζουμε τη μεμβράνη να ξεχωρίσει το καθαρό από το ακάθαρτο νερό, κάνοντας ουσιαστικά το πυκνό διάλυμα πυκνότερο, αντιστρέφοντας δηλαδή το φαινόμενο.

4.2.3.2 Η μέθοδος αντίστροφης ώσμωσης (RO)

Η μέθοδος αυτή άρχισε να αναπτύσσεται στις Η.Π.Α. από τη δεκαετία του 1950, στα πανεπιστήμια της Florida και της California-Los Angeles ώσπου βρήκε εφαρμογή στη δεκαετία του 1960. Συγκεκριμένα [15] το 1964 η εταιρεία Gulf General Atomic ανακάλυψε ότι η μεμβράνη της κυταρίνης που χρησιμοποιούσαν έως τότε αποτελείται από περισσότερα του ενός στρώματα και ότι το πάχος του ενεργού υλικού της μεμβράνης που την κάνει ημιπερατή είναι μόλις 0.002 mm, ενώ το πάχος ολόκληρης της μεμβράνης είναι 0.1 mm. Μετά από αυτή την ανακάλυψη άρχισε ένας αγώνας δρόμου για το ποιός θα ανακαλύψει τη λεπτότερη, φθηνότερη και πλέον ανθεκτική στην πίεση μεμβράνη, κάτι το οποίο οφέλησε πολύ την εφαρμογή της μεθόδου.

Το νερό που προορίζεται για αφαλάτωση αρχικά περνάει κάποια προκατεργασία με φυσικές αλλά και χημικές μεθόδους προκειμένου να γίνει κατάλληλο για να μπει στο επόμενο στάδιο. Οι κατεργασίες αυτές αναλυτικά είναι: Απολύμανση (με χλωρίωση), Κροκίδωση, Φιλτράρισμα, Ρύθμιση Ph (μείωσή του στα επίπεδα του

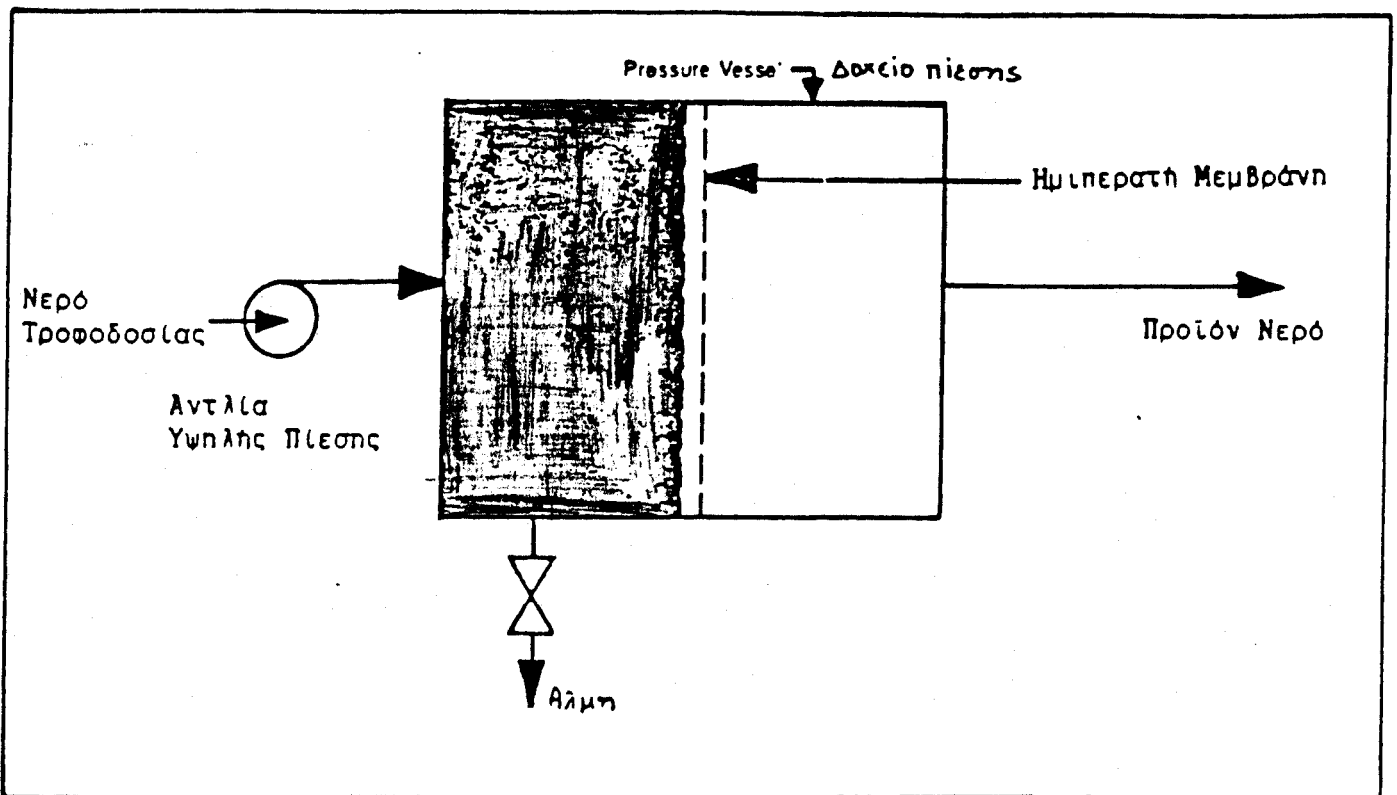
6-6.5, χρησιμοποιείται υδροχλωρικό οξύ) και δεύτερο Φιλτράρισμα, με φίλτρα φυσισγγίων.

Κατόπιν όλων τούτων το νερό είναι έτοιμο να μπει στο χώρο που βρίσκεται η μεμβράνη. Εκεί και ασκείται η πίεση που το καθαρίζει από τις ανεπιθύμητες προσμίξεις. Μετά από τον καθαρισμό του, το νερό που προορίζεται για την κατανάλωση οδηγείται προς εκεί, ενώ η άλμη που παράγεται απομακρύνεται από το χώρο της αφαλάτωσης. Προσοχή πρέπει να δοθεί στην ανάμιξη της τροφοδοσίας με το καθαρό νερό, κάτι που μπορεί να αποφευχθεί αν χρησιμοποιηθούν σφραγιστικοί δακτύλιοι (**Σχήμα 4.6**).

Τη μεγαλύτερη σημασία στην επιτυχία της μεθόδου παίζει η ποιότητα καθώς και η σωστή συντήρηση της πανάκριβης μεμβράνης. Η συντήρηση προϋποθέτει: Καθαρισμό της μεμβράνης (με διάλυμα κιτρικού οξέως και αμμωνία), πλύση της ώστε να απομακρυνθούν τα κολλοειδή και επεξεργασία της με ειδικά χημικά για να υπάρχει αυξημένη ικανότητα συγκράτησης των αλάτων του ύδατος τροφοδοσίας.

Αυτή τη στιγμή οι περισσότερες μονάδες αφαλάτωσης παγκοσμίως, με μεγαλύτερη αυτή της Jeddah στη Σαουδική Αραβία με δυναμικότητα 56.800 m³/ημέρα [12] σχεδιάζονται για να λειτουργήσουν με χρήση της μεθόδου της αντίστροφης ώσμωσης, η οποία είναι αναντικατάστατη σε ότι αφορά τουλάχιστον στις μονάδες μικρής δυναμικότητας.

ΣΧ. 4.6 : Απλοποιημένο Διάγραμμα Ροής Αντίστροφης Οσμωσης



4.2.4 ΚΙΝΗΤΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

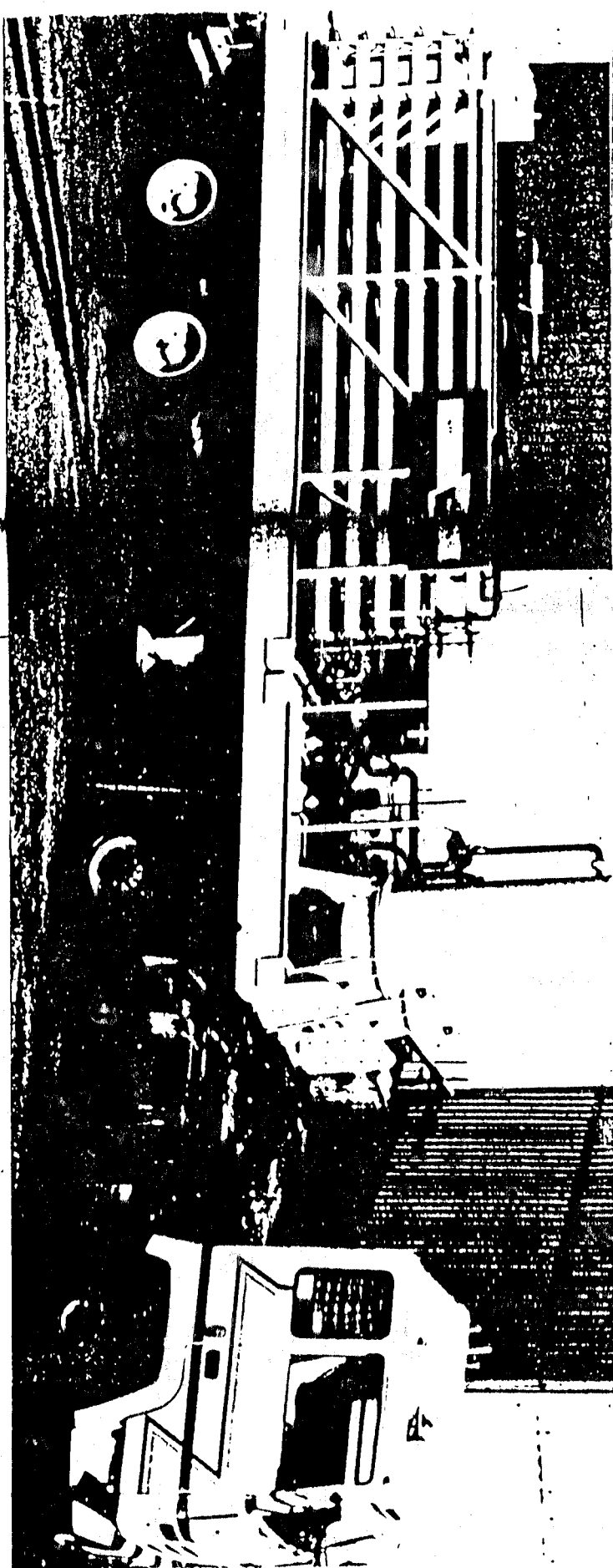
Εκτός από τις διάφορες μεθόδους αφαλάτωσης που εξετάσαμε προηγουμένως, αξίζει να εστιάσουμε την προσοχή μας και σε μια ενδιαφέρουσα νέα τεχνολογία, αυτή των **κινητών μονάδων αφαλάτωσης**.

Οι μονάδες αυτές λειτουργούν ως επί το πλείστον με το σύστημα της αντίστροφης ώσμωσης, εκτός από μονάδες μεγάλης παραγωγικότητας που χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς σκοπούς και χρησιμοποιούν θερμικές μεθόδους (συνήθως συμπίεση ατμών, V C).

Πολλές φορές γίνεται λανθασμένα η υπόθεση ότι η αφαλάτωση αφορά αποκλειστικά και μόνο σε θαλάσσιο νερό. Η αλήθεια είναι πολύ διαφορετική. Το θαλάσσιο νερό έχει περιεκτικότητα σε TDS που κυμαίνεται από 30.000 mg/l στις βόρειες θάλασσες, μέχρι 50.000 mg/l στη Ερυθρά θάλασσα, με διεθνώς αποδεκτό όριο (από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας) για ανθρώπινη κατανάλωση τα 500 mg/l. Είναι φυσικό να λεχθεί εδώ ότι όσο πιο μεγάλη είναι η συγκέντρωση TDS στο νερό, τόσο πιο δύσκολη είναι η αφαλάτωσή του (τόσο πιο ανθεκτική-ακριβή μεμβράνη απαιτείται για να αντιμετωπιστεί η αυξημένη πίεση).

από την άλλη πλευρά, υπάρχουν και νερά σε μεγάλες ποσότητες τα οποία παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερες συγκεντρώσεις στερεών στον όγκο τους. Τέτοια μπορούν να θεωρηθούν τα βαριά η υφάλμυρα νερά που προέρχονται από γεωτρήσεις και οφείλουν τη σκληρότητά τους στην υπερεκμετάλλευση του υδροφόρου ορίζοντα. Σ' αυτά τα νερά, μετρούνται TDS από 5.000-15.000mg/l, κάνοντάς τα ιδανικά για αφαλάτωση. Χαρακτηριστικά αναφέρω ότι σε μία εγκατάσταση RO που αφαλατώνει θαλάσσιο νερό, η απαιτούμενη αντοχή της μεμβράνης σε πίεση είναι 70 bar, ενώ σε αντίστοιχη εγκατάσταση υφάλμυρου απαιτείται λιγότερη από 29 bar.

Για αφαλάτωση τέτοιων υδάτων είναι σχεδιασμένη η μονάδα που βλέπουμε στο **σχήμα 4.7**. Αποτελείται από αντλίες, μεμβράνες, εγκατάσταση προκατεργασίας και ηλεκτρικές γεννήτριες, τα οποία όλα είναι τοποθετημένα σε ειδικά σχεδιασμένο καμιόνι. Το κύριο πλεονέκτημά της κινητής αυτής μονάδας είναι η ευελιξία της. Όσο για τη δυναμικότητά της, και αυτή είναι εντυπωσιακή. Φτάνει τα 120m³/ημέρα, με συγκέντρωση TDS του νερού τροφοδοσίας 5.000 mg/l, ποσότητα ικανή να υδρεύσει μια κοινότητα από 12.000 κατοίκους [11]. Ακόμα η μονάδα αυτή μπορεί να χρησιμοποιείται εποχιακά από διάφορες κοινότητες και



Σχήμα 4.7

το νερό που θα παράγεται να φυλάσσεται σε δεξαμενές. Οι κοινότητες που πιθανώς μπορούν να χρησιμοποιήσουν κάποια τέτοια λύση είναι αυτές που είτε είναι πολύ μικρές για να χρειάζονται εργοστάσιο αφαλάτωσης, είτε έχουν απλώς εποχιακά ελλείματα στο υδατικό τους ισοζύγιο.

Όπως είπαμε και προηγουμένως αναλύοντας τη μέθοδο αντίστροφης ώσμωσης, πρωταρχικό ρόλο στην καλή λειτουργία της μονάδας παίζει η καλή συντήρηση της μεμβράνης και η σωστή κατεργασία του νερού πριν εισέλθει σ' αυτές. Το ίδιο ισχύει και εδώ, με την προσθήκη μάλιστα του προβλήματος της διαφορετικής κάθε φορά σύστασης του τροφοδοτούντος ύδατος.

4.2.5 ΧΡΗΣΗ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ

Τα τελευταία χρόνια, με τη συνειδητοποίηση από την πλευρά των πολιτών της αύξησης της ρύπανσης που προκαλεί η αλόγιστη και πολλές φορές άλογη εκμετάλλευση των πηγών ενέργειας και των μη ανανεώσιμων πρώτων υλών που την παράγουν, έχει αυξηθεί η λεγόμενη “οικολογική ευαισθησία” από την πλευρά των εθνών και κατ’ επέκτασιν και των μεταπρατών των πρώτων υλών σε ενέργεια.

Άμεση συνέπεια των παραπάνω αποτελεί και η πρόοδος που παρατηρείται τον τελευταίο καιρό στην επινόηση μεθόδων εκμετάλλευσης φιλικών προς το περιβάλλον μορφών ενέργειας (με την έννοια ότι είναι ανανεώσιμες και δεν επιβαρύνουν με τα κατάλοιπά τους το φυσικό μας χώρο). Έτσι αυτή τη στιγμή υπάρχουν τρόποι να συλλεγεί ενέργεια από τον ήλιο, να γίνει εκμεταλλεύσιμη η ενέργεια των δυνατών ανέμων, ακόμα και να τιθασευτούν τα θαλάσσια κύματα ώστε να εξυπηρετήσουν το σκοπό της “καθαρής” ενέργειας.

Ένας από τους τομείς που οι λεγόμενες αυτές “ήπιες” μορφές ενέργειας μπορούν να γίνουν ιδιαίτερα χρήσιμες, είναι η αφαλάτωση. Ειδικά στις συνθήκες που επικρατούν στα άνυδρα ελληνικά νησιά, με τους ισχυρούς ανέμους και τη μεγάλη ηλιοφάνεια, κάποια τέτοια λύση θα ήταν ιδανική αφ’ ενός διότι θα τους εξασφάλιζε υδατική επάρκεια και αυτοδυναμία και αφ’ ετέρου διότι θα προστατευόταν το ευαίσθητο οικοσύστημά τους.

Προς το παρόν η τεχνολογία πάνω σ’ αυτά τα ζητήματα έχει προτείνει μικρό αριθμό λύσεων, οι οποίες μάλιστα βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Αυτή τη στιγμή για την αφαλάτωση του νερού χρησιμοποιούνται μόνο η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Σε όλη την υφήλιο λειτουργούν 93 μονάδες αφαλάτωσης που λειτουργούν με χρήση ήπιων μορφών ενέργειας, με συνολική δυνατότητα παραγωγής 3332 m³/ημέρα (πολύ μικρό ποσοστό σε σχέση με τα 13.000.000 m³ αφαλατωμένου νερού που παράγονται κάθε μέρα σε όλο τον κόσμο). από αυτές, οι 18 μόνο βρίσκονται στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα και οι υπόλοιπες 75 εκτός των ορίων της [7]. Στον **πίνακα 4.8** μπορούμε να δούμε ποιές τεχνολογίες χρησιμοποιούν και που βρίσκονται οι 18 ευρωπαϊκές μονάδες.

Αν εξετάσουμε τώρα τη μορφή της ενέργειας που χρησιμοποιείται σε κάθε μία από τις μονάδες αυτές, θα δούμε πως η συντριπτική πλειονότητά τους (συνολικά 87 σε όλο τον κόσμο) λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια και μόνο 6 κάνουν χρήση

Σχήμα 4.8: ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΣΤΗ ΕΥΡΩΠΗ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ, ΜΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Ε.Κ.

ΧΩΡΑ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ (κ.μ./μέρα)	ΜΕΘΟΔΟΣ	ΕΙΔΟΣ ΝΕΡΟΥ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	Berken	20	M.S.F.	θαλασσινό	ηλιακή
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	Suderoog	6	R.O.	θαλασσινό	αιολική
ΕΛΛΑΔΑ	Αίγινα 1	4	άλλη	θαλασσινό	ηλιακή
ΕΛΛΑΔΑ	Αίγινα 2	5	άλλη	θαλασσινό	ηλιακή
ΕΛΛΑΔΑ	Φισκάρδο	5	άλλη	θαλασσινό	ηλιακή
ΕΛΛΑΔΑ	Κίμωλος	6	άλλη	θαλασσινό	ηλιακή
ΕΛΛΑΔΑ	Μεγίστη	6	άλλη	θαλασσινό	ηλιακή
ΕΛΛΑΔΑ	Νίσυρος	4	άλλη	θαλασσινό	ηλιακή
ΕΛΛΑΔΑ	Πάτμος	20	άλλη	θαλασσινό	ηλιακή
ΕΛΛΑΔΑ	Σαλαμίνα	2	άλλη	θαλασσινό	ηλιακή
ΕΛΛΑΔΑ	Σύμη 1	6	άλλη	θαλασσινό	ηλιακή
ΕΛΛΑΔΑ	Σύμη 2	5	άλλη	θαλασσινό	ηλιακή
ΙΤΑΛΙΑ	Bari	5	M.S.F.	θαλασσινό	ηλιακή
ΙΤΑΛΙΑ	Marett Isl.	5	R.O.	θαλασσινό	ηλιακή
ΙΤΑΛΙΑ	San Nicola	12	R.O.	θαλασσινό	ηλιακή
ΙΣΠΑΝΙΑ	Almeria	86	M.E.D.	θαλασσινό	ηλιακή
ΙΣΠΑΝΙΑ	Las Marinas	2	άλλη	θαλασσινό	ηλιακή
ΓΑΛΛΙΑ	Planier Isl.	12	R.O.	θαλασσινό	αιολική

της αιολικής. Αυτό συμβαίνει διότι η τεχνολογία της συλλογής της ηλιακής ενέργειας είναι σαφώς πιο προχωρημένη από την αντίστοιχη της αιολικής. Συγκεκριμένα, η ηλιακή ενέργεια μπορεί να :

(i) παγιδευτεί για μερική συμπύκνωση του ατμού τροφοδοσίας στη μέθοδο συμπύκνωσης των ατμών (V.C.)

(ii) συλλεχθεί με ειδικούς ηλιακούς συλλέκτες και κατόπιν να χρησιμοποιηθεί σε κάποια από τις θερμικές μεθόδους (M.S.F. ή M.E.D.)

(iii) χρησιμοποιηθεί με φωτοβολταϊκά συστήματα ή παραβολικούς συλλέκτες (παράγοντας ατμό υψηλής θερμοκρασίας) σε συνδυασμό με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης.

Ακόμα, όπως γράφουν και οι Θ. Τσούτσος και Δ. Παπαστεφανάκης στην εργασία τους [7], μπορούν να αξιοποιηθούν οι εξής ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:

(α) αξιοποίηση βιομάζας για αφαλάτωση

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν μονάδες αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν βιοαέριο από σύστημα διάθεσης αποβλήτων. Π.χ. μια πόλη 150.000 κατοίκων παράγει 150 m^3 στερεών αποβλήτων την ημέρα, τα οποία μπορούν να παράξουν 600.000 m^3 μεθανίου το χρόνο, το οποίο με τη σειρά του μετατρέπεται σε 1.400 MWh ηλεκτρικής ενέργειας το έτος. Η αξιοποίηση αυτής της μορφής ενέργειας δε θα πρέπει να μας ξενίζει, παρόλο που σίγουρα, σε περίπτωση εφαρμογής της οι αντιδράσεις θα είναι πολλές.

(β) αξιοποίηση γεωθερμικής ενέργειας για αφαλάτωση

Έχει υπάρξει ήδη εφαρμογή της με χρήση μάλιστα απλών διατάξεων. Συνδυάζει τη θέρμανση κάποιου θερμοκηπίου με την ταυτόχρονη αφαλάτωση του γεωθερμικού νερού. Μια μονάδα που χρησιμοποιεί γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας 70°C , έχει περιεκτικότητα σε άλατα 3 g/l και παράγει 25 m^3 νερού την ημέρα, αρκεί για να καλλιεργηθεί έκταση 10 στρεμμάτων με τριαντάφυλλα (Desplats and Guinbalet, 1991). Μια παρόμοια μονάδα βρίσκεται υπό κατασκευή στη Λέσβο.

(γ) αξιοποίηση απορριπτόμενης ενέργειας

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην υπό συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας εκτόνωση ενέργειας η οποία έχει απορριφθεί από μεγάλες μονάδες παραγωγής. Η πρόταση αυτή ανοίγει στους Rognoni και Breschi και έχει γίνει από το 1991, αλλά από τότε δε βρήκε καμία σπουδαία εφαρμογή.

4.2.6 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η επιλογή της μεθόδου αφαλάτωσης που θα χρησιμοποιηθεί έχει κυρίως να κάνει με την ποσότητα, αλλά και την ποιότητα του νερού που θέλουμε να καθαρίσουμε. Στις μεγάλες εφαρμογές, ιδιαίτερα στο παρελθόν που η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης δεν ήταν τόσο ανεπτυγμένη, πλεονεκτούσαν οι θερμικές μέθοδοι και κυρίως η MSF (πάνω από το 70% της παγκόσμιας παραγωγής αφαλατωνόταν το 1986 με θερμική μέθοδο). από την άλλη πλευρά, η πρόοδος που επιτεύχθηκε τα τελευταία χρόνια στη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης έκανε την τελευταία ιδιαίτερα ελκυστική στα μάτια των κατασκευαστών, κυρίως λόγω του μικρού συγκριτικά κόστους επένδυσης αλλά και λειτουργίας της. Ακόμα η δυνατότητα των μονάδων R.O. να αυξήσουν σταδιακά τη δυναμικότητά τους, τις έχει κάνει ανταγωνιστικές και για μεγάλες εφαρμογές. Έτσι, ενώ το 1986 κατείχαν το 23% της παγκόσμιας παραγωγής έχοντας όμως το 47.5% των παγκοσμίως εγκαταστημένων μονάδων [4], τα τελευταία χρόνια έχουν αυξήσει τα ποσοστά τους σημαντικά.

Για να έχουμε πιο απτά παραδείγματα για τους παραπάνω ισχυρισμούς, παραθέτουμε τον παρακάτω συγκριτικό **πίνακα 4.9α** στον οποίο φαίνεται η σαφής ανωτερότητα της μεθόδου της αντίστροφης ώσμωσης. Τα στοιχεία έχουν παρθεί από το [16] και αφορούν σε μονάδα παραγωγής 1000 m³ καθαρού νερού την ημέρα. 100 είναι το συγκριτικό κόστος της μονάδας R.O. με ανάκτηση ενέργειας.

Πίνακας 4.9α: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

ΜΕΘΟΔΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
R.O. με ανάκτηση ενέργειας	100	100	100
R.O. χωρίς α.ε.	96	113	136
M.S.F	128	181	235
M.S.F. σε συνδυασμό με ατμοηλ. μονάδα		138	125
V.C. (vapour compression)	145	92	166

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

Για να δοθεί και κάποια προσέγγιση απόλυτου κόστους του κυβικού μέτρου του νερού που παράγεται με αφαλάτωση, δεχόμαστε τα στοιχεία που δόθηκαν από μία από τις κατασκευάστριες εταιρείες (Du Pont Nemours International S.A. - METER S.A.) στην εργασία [4]. Πρόκειται για μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με μέγιστη ικανότητα παραγωγής 2.000 m³/ημέρα. Το κόστος επένδυσης ήταν περίπου 680.000.000 δρχ με τιμές ά εξαμήνου 1990, δηλ. γύρω στο 1 δισεκατομμύριο δρχ του 1994 (υπολογίστηκε αύξηση 10% ετησίως), για συνολική παραγωγή 620.000 m³/έτος (συντελεστής απόδοσης 85%). Τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης με χρόνο απόσβεσης τα 15 έτη, συνυπολογίζοντας τα λειτουργικά έξοδα, φαίνονται στον παρακάτω **πίνακα 4.9β**.

Πίνακας 4.9β: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΦΑΛΑΤΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

ΕΠΙΤΟΚΙΟ	ΕΤΗΣΙΟ ΧΡΕΟΛΥΣΙΟ (δρχ)	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΕΞΟΔΑ	ΤΕΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (δρχ/m ³)
12%	147.000.000	211.000.000	577
15%	171.000.000	211.000.000	616

Όπως βλέπουμε, οι τιμές που προκύπτουν είναι πολύ μεγάλες. Γι' αυτό το λόγο η λύση της αφαλάτωσης προτιμάται είτε μόνο σε εξαιρετικά δυσμενείς περιπτώσεις, είτε σε περιπτώσεις που μπορεί να συνδυαστεί με ανάκτηση ενέργειας (όπου μπορεί να παρουσιαστεί μείωση της τελικής τιμής ακόμα και κατά 20%).

Ακόμα, οι παραπάνω τιμές μπορούν να μειωθούν σημαντικά αν αντί για θαλασσινό, αφαλατώσουμε υφάλμυρο νερό.

4.3 ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΕΣ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

4.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μία άλλη, σχετικά νέα στην εφαρμογή (αλλά όχι και στη σύλληψη) μέθοδος “αποταμίευσης” νερού προκειμένου να χρησιμοποιηθεί είτε για ύδρευση είτε για άρδευση είναι η λύση της δημιουργίας **εξωποτάμιων λιμνοδεξαμενών, (Ε.Λ.)**.

Η όλη μέθοδος αποσκοπεί στη συλλογή των ομβρίων και των επιφανειακών υδάτων τα οποία χωρίς αυτή τη διαδικασία θα κατέληγαν ασφαλώς στη θάλασσα.

Η ανάγκη για εκμετάλλευση των παραπάνω πηγών ύδατος γίνεται πιο επιτακτική αν αναλογιστεί κανείς ότι πολλές περιοχές στην πατρίδα μας αντιμετωπίζουν οξύ πρόβλημα υδροδότησης.

Κατόπιν τούτου, το ελληνικό κράτος με την προτροπή και τη συνδρομή των ευρωπαϊκών κοινοτήτων έχει προχωρήσει στη χρηματοδότηση μελετών κατασκευής λιμνοδεξαμενών σε πλείστα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου πελάγους. Οι παραπάνω μελέτες έχουν ήδη ανατεθεί σε μελετητικές εταιρείες από το Υπουργείο Γεωργίας, στο πλαίσιο των ευρωπαϊκών σχεδίων περιφερειακής ανάπτυξης (Σ.Π.Α.) -με κοινή κατά 50% χρηματοδότηση από την Ε.Ο.Κ. και το Εθνικό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (Ε.Τ.Π.Α.) της χώρας μας [4].

4.3.2 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Γενικά, μία Ε.Λ. είναι μία μεγάλη υπαίθρια “δεξαμενή”, με επενδεδυμένα η και ανεπένδυτα τοιχώματα και πυθμένα, στην οποία καταλήγει μετά από κατάλληλη διευθέτηση της οριζοντιογραφίας της κάθε περιοχής νερό που συλλέγεται από την ευρύτερη της Ε.Λ. λεκάνη απορροής. Η χωρητικότητά της μπορεί να είναι από μερικές χιλιάδες, έως αρκετές εκατοντάδες χιλιάδες κυβικά μέτρα (η Ε.Λ. που θα κατασκευαστεί στη Νάξο π.χ. θα έχει χωρητικότητα 600.000 m³). Στον **πίνακα 4.10** παρουσιάζονται στοιχεία για τις μελετούμενες Ε.Λ. στο χώρο των Κυκλάδων. Στην πρώτη στήλη εμφανίζεται η τοποθεσία, στη δεύτερη το είδος (λιμνοδεξανενή, ύψος φράγματος κ.ο.κ.), στην τρίτη ο όγκος του νερού που μπορεί να χωρέσει, στην τέταρτη ο προϋπολογισμός της και στην πέμπτη το στάδιο στο οποίο βρισκόταν το Νοέμβριο του 1993. Τα στοιχεία έχουν παρθεί από το Υπουργείο Γεωργίας.

Πίνακας 4.10:ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΕΣ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΕΣ
ΚΥΚΛΑΔΩΝ

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΕΙΔΟΣ	ΟΓΚΟΣ (χιλιάδες κ.μ.)	ΠΡΟΥΠ/ΜΟΣ (εκατομ. δρχ)	ΣΤΑΔΙΟ
-----------	-------	--------------------------	-------------------------------	--------

ΛΗΜΝΟΠΡΑΤΗΜΕΝΑ

ΤΗΝΟΣ- ΛΙΒΑΔΑ	Λ.Δ.	300	800	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΑΜΟΡΓΟΣ- ΚΑΤΑΠΟΛΑ	Λ.Δ.	300	590	ΑΝΑΣΤΟΛΗ- ΑΝΤ. ΚΑΤ.
ΜΥΚΟΝΟΣ- ΜΑΡΑΘΙΑ	ΦΡ. 28 μ.	2.900	1.250	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΑΝΩ ΜΕΡΑ	ΦΡ. 29 μ.	1.000	1.000	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΝΑΞΟΣ- ΕΓΓΑΡΕΣ	Λ.Δ.	600	1.250	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΚΙΝΙΔΑΡΟΣ	Λ.Δ.	150	580	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΙΟΣ- ΜΥΛΟΠΟΤΑΜΟΣ	ΦΡ. 20 μ.	180	800	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

Πίνακας 4.10:

ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΕΣ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΕΣ
ΚΥΚΛΑΔΩΝ

ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ, ΕΓΚΡΙΣΗ ΣΤΟ 1993

ΑΝΑΡΟΣ- ΑΤΕΝΙ	ΦΡ. 30 μ.	1.100	1.150	ΕΓΚΡΙΘΗΚΕ
ΜΗΛΟΣ- ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ	ΦΡ. 22 μ.	1.300	1.700	ΜΕΛΕΤΑΤΑΙ
ΝΑΞΟΣ- ΤΣΙΚΑΛΑΡΙΟ ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗ	ΦΡ. 43 μ. ΦΡ. 44 μ.	3.000 2.000	2.440 2.000	ΕΓΚΡΙΘΗΚΕ ΜΕΛΕΤΑΤΑΙ
ΠΑΡΟΣ- ΣΥΡΙΓΟΣ ΜΑΡΙΠΙΣΣΑ	Λ.Δ. Λ.Δ.	300 400	1.300 1.400	ΕΓΚΡΙΘΗΚΕ ΕΓΚΡΙΘΗΚΕ
ΙΟΣ- ΕΠΙΑΝΩ ΚΑΜΠΙΟΣ	Λ.Δ.	250	700	ΜΕΛΕΤΑΤΑΙ
ΘΗΡΑ- ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	Λ.Δ.	180	800	ΕΓΚΡΙΘΗΚΕ
ΑΝΑΦΗ- ΑΓ. ΕΙΡΗΝΗ	Λ.Δ.	250	800	ΜΕΛΕΤΑΤΑΙ

ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ, ΜΕΛΕΤΟΥΝΤΑΙ

ΚΕΑ- ΚΕΡΑΜΙΔΙ	ΦΡ. 24 μ.	600	1.000	ΜΕΛΕΤΑΤΑΙ
ΣΥΡΟΣ- ΑΕΤΟΣ	ΦΡ. 24 μ.	150	700	ΜΕΛΕΤΑΤΑΙ
ΚΥΘΝΟΣ- ΕΠΙΣΚΟΠΗ	ΦΡ. 25 μ.	650	1.000	ΜΕΛΕΤΑΤΑΙ
ΣΕΡΙΦΟΣ- ΣΤΕΝΟ	ΦΡ. 20 μ.	300	800	ΜΕΛΕΤΑΤΑΙ
ΣΙΦΝΟΣ- ΚΑΜΑΡΕΣ	ΦΡ. 26 μ.	350	900	ΜΕΛΕΤΑΤΑΙ
ΚΙΜΩΛΟΣ- ΠΥΡΓΟΣ	ΦΡ. 22 μ.	350	900	ΜΕΛΕΤΑΤΑΙ

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

Τα απαραίτητα έργα για τη δημιουργία μιας Ε.Λ. είναι τα ακόλουθα:

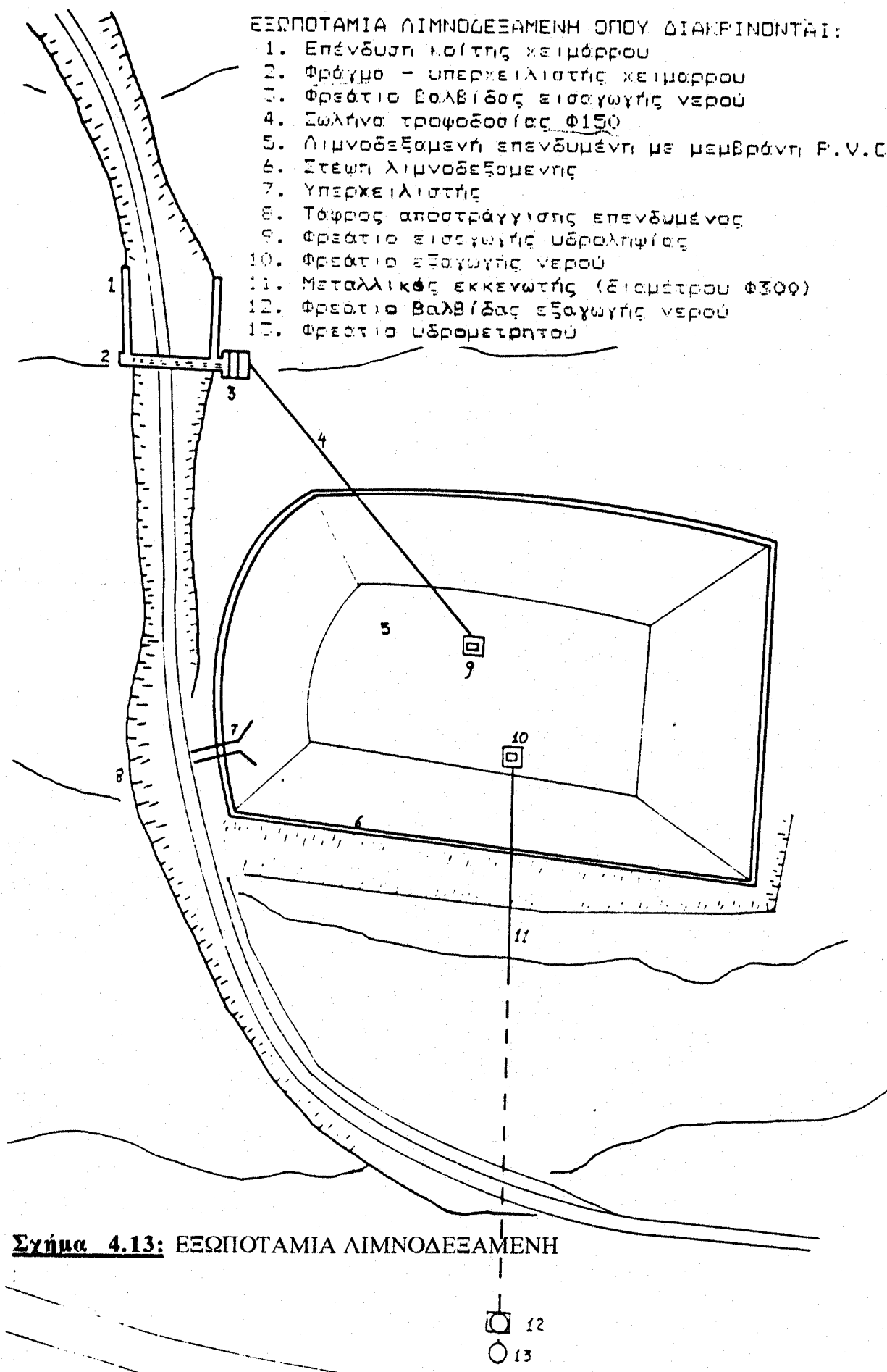
1. Σύλλογή επιφανειακών υδάτων από παρακείμενες λεκάνες απορροής και συγκέντρωσή τους σε σύστημα ρευμάτων-παραποτάμων-ποταμών.
2. Κατασκευή μικρού φράγματος-υπερχειλιστή (ύψους περίπου 1 μέτρου) στην έξοδο μίας, η ακόμα καλύτερα περισσότερων λεκάνων απορροής και κατάλληλου φρεατίου εισαγωγής του νερού. (Σχ. 4.11, 4.12)
3. Δημιουργία κατάλληλης κοιλάτης (επίπεδης κατά προτίμηση) σε περιοχή πλησίον (όχι όμως και απαραίτητα) του φράγματος ώστε να διαμορφωθεί η λιμνοδεξαμενή. Συνήθως ο υπερχειλιστής με τη λιμνοδεξαμενή απέχουν περί τα 5-10 km.
4. Επένδυση της λιμνοδεξαμενής και στεγανοποίησή της με μεμβράνη P.V.C. (ανάλογα με το γεωλογικό υπόβαθρο)
5. Κατασκευή απαραίτητων υδραυλικών έργων (αγωγοί επικοινωνίας φράγματος-υπερχειλιστή με τη λιμνοδεξαμενή και αυτής με την κατανάλωση, υπερχειλιστής και τάφος αποστάγγισης της Ε.Λ. κ.λ.π.).

Όλα τα παραπάνω φαίνονται παραστατικά στα ενδεικτικά σχήματα 4.11, 4.12 και 4.13 που ακολουθούν.

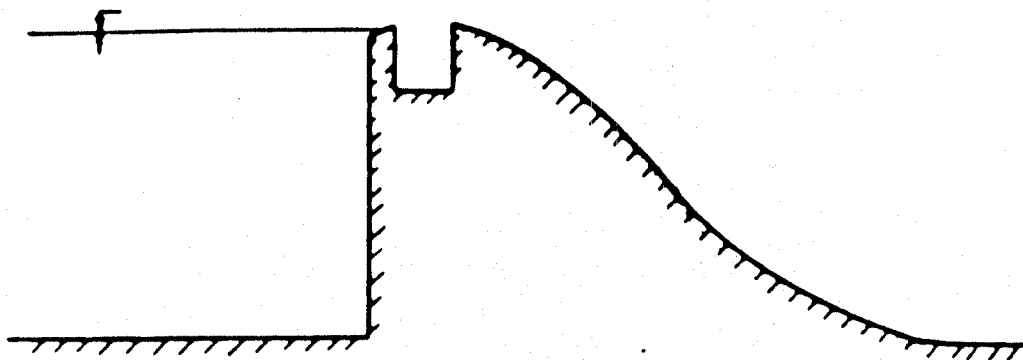
ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗ ΟΠΟΥ ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ:

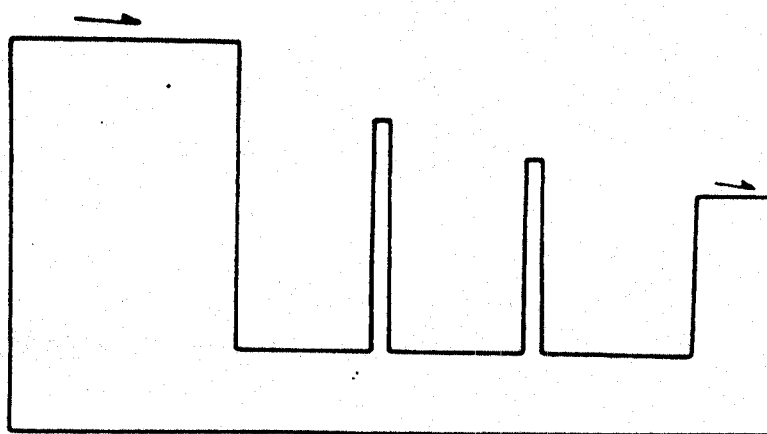
1. Επένδυση κοίτης χειμάρρου
2. Φράγμα - υπερχειλιστής χειμάρρου
3. Φρεάτιο βαλβίδας εισαγωγής νερού
4. Σωλήνα τροφοδοσίας $\Phi 150$
5. Λιμνοδεξαμενή επενδυμένη με μεμβράνη P.V.C.
6. Στέψη λιμνοδεξαμενής
7. Υπερχειλιστής
8. Τάφος αποστράγγισης επενδυμένος
9. Φρεάτιο εισαγωγής υδροληψίας
10. Φρεάτιο εξαγωγής νερού
11. Μεταλλικός εκκενωτής (διαμέτρου $\Phi 300$)
12. Φρεάτιο βαλβίδας εξαγωγής νερού
13. Φρεάτιο υδρομετρητού



Σχήμα 4.13: ΕΞΩΠΟΤΑΜΙΑ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗ



Σχήμα 4.11: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΕΚΤΡΟΠΗΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ



Σχήμα 4.12: ΔΙΑΤΟΜΗ ΦΡΕΑΤΙΟΥ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΝΕΡΟΥ

4.3.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Απ' ότι φάνηκε και στον **πίνακα 4.10** το κόστος μιας λιμνοδεξαμενής στις Κυκλάδες, ανάλογα με τη χωρητικότητα και το είδος της έχει προϋπολογισμό από 580.000.000 ως 2.440.000.000 δρχ. Ο όγκος του νερού που μπορούν να αποταμιεύσουν οι δεξαμενές αυτές ξεκινάει από 150.000 και φτάνει μέχρι τα 3.000.000 κ.μ. Αν υπολογίσουμε ότι μια λιμνοδεξαμενή παρέχει ετησίως νερό που υπερβαίνει κατά 60% τη μέγιστη χωρητικότητά της, τότε μπορούμε να έχουμε (π.χ. Τσικαλαριό-Νάξου) ποσότητες που να ξεπερνάνε τα 4.500.000 κ.μ. το έτος.

Για συγκριτικούς λόγους θα υπολογιστεί το κόστος κάθε κυβικού μέτρου νερού σε δύο λιμνοδεξαμενές του Αιγαίου. Θεωρώ ότι ο χρόνος οικονομικής ζωής του έργου είναι 30 χρόνια, με επιτόκιο 12% κατ' έτος.

Επιλέγω για οικονομική ανάλυση (α) τη λιμνοδεξαμενή στις **Εγγαρές της Νάξου** και (β) το φράγμα της **Μαραθιάς στη Μύκονο**.

(α) Πρόκειται για εξωποτάμια λιμνοδεξαμενή όγκου 600.000 κ.μ και προϋπολογισμού 1.250.000.000 δρχ. Η ετήσια τοκοχρεωλυτική δόση είναι 155.179.572 δρχ. Αν έχουμε και 2% κόστος συντήρησης, προκύπτουν ετήσια έξοδα 158.283.163 δρχ. Το έργο συνολικά θα αποδίδει περίπου 960.000 κ.μ. νερού κάθε χρόνο, οπότε προκύπτει συνολικό κόστος νερού: **165 δρχ/m³**.

(β) Η δεύτερη περίπτωση αφορά στο φράγμα της Μαραθιάς Μυκόνου. Το φράγμα θα έχει ύψος 28 m, χωρητικότητα 2.900.000 κ.μ. και μαζί με τα παρελκόμενα έργα θα κοστίσει 1.250.000.000 δρχ. Υπολογίζοντας πάλι το κόστος συντήρησης στο 2% της συνολικής αξίας του έργου, προκύπτει ετήσιο κόστος 158.283.163 δρχ, με τοκοχρεωλυτική δόση 155.179.572 δρχ, για 4.640.000 κ.μ. νερού. Οπότε το κόστος του νερού σ' αυτή την περίπτωση είναι **34 δρχ/m³**.

Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια πολύ σημαντική διαφορά τιμής του νερού μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης περίπτωσης, παρότι τα δύο αυτά έργα έχουν τον ίδιο προϋπολογισμό. Αυτή δεν οφείλεται μόνο στο γεγονός ότι -γενικά- η δημιουργία ταμιευτήρα ανάντη φράγματος δίνει φτηνότερο νερό, αλλά και στα προβλήματα που μπορεί να συνεπάγεται η κατασκευή της λιμνοδεξαμενής. Μπορεί παραδείγματος χάριν να υπάρχει πρόβλημα στεγανότητας του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής, οπότε να χρειαστεί να στρωθεί στεγανοποιητική μεμβράνη (πολύ ακριβή). Ακόμα ιδιαίτερα δαπανηρά μπορεί να αποδειχτούν οι

εκσκαφές και τα λοιπά χωματουργικά έργα.

Το νερό που συλλέγεται από τις Λ.Δ. εκτός από τη χρήση του για αρδευτικούς σκοπούς μπορεί να γίνει κατάλληλο και για ύδρευση αν υποστεί απλή επεξεργασία και καθαρισμό από ένα σύστημα ταχυδιυλιστήρων. Το νερό, αφού προχλωριωθεί και κροκιδωθεί ώστε να καθιζήσουν οι προσμίξεις του, οδηγείται στους ταχυδιυλιστήρες. Οι ταχυδιυλιστήρες αυτοί έχουν έκταση περίπου 15 m² ανά 100 κ.μ. νερού και ανά ώρα και αποτελούνται από μία σειρά φίλτρων καλυμένων από παχύ στρώμα άμμου. Το κόστος της επεξεργασίας του νερού με αυτή τη μέθοδο ανέρχεται περίπου στις **50 δρχ/m³**.

5

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

5.1

5.1.1

5.1.2

5.2

ΥΔΡΕΥΣΗ ΑΘΗΝΑΣ
TANKERS ΚΑΙ ΑΣΚΟΙ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ
ΑΡΔΕΥΣΗ ΝΗΣΙΩΝ

5.1 ΥΔΡΕΥΣΗ ΑΘΗΝΑΣ

Η Ελλάδα τα τελευταία χρόνια μαστίζεται από το πρόβλημα της λειψυδρίας. Οι περιορισμένες απορροές αυτής της περιόδου έθεσαν σε δοκιμασία το υδρευτικό αλλά και το αρδευτικό σύστημα ολόκληρης της χώρας. Οι συνέπειες της δοκιμασίας αυτής έγιναν περισσότερο αισθητές στην πρωτεύουσα και το λεκανοπέδιο των Αθηνών κατ' επέκτασιν, στο οποίο διαμένουν περίπου το 40% των κατοίκων της Ελλάδας.

Κατόπιν τούτου το Ελληνικό Κράτος έχει αποφασίσει την κατασκευή συμπληρωματικών έργων με σκοπό την άρτια ύδρευση της πόλης των Αθηνών. Την ευθύνη για την ανάθεση των έργων και την εκπόνηση των απαραίτητων μελετών την έχει αναλάβει το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.) -σε συνεργασία με την Ε.ΥΔ.Α.Π.-, χωρίς τη βοήθεια του οποίου η παρούσα εργασία θα ήταν ελλειπέστατη.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσω την εφαρμογή της μεταφοράς νερού με σκοπό την ύδρευση της Αθήνας, όχι μόνο με δεξαμενόπλοια, αλλά και με τους ασκούς που περιέγραφα στο **κεφάλαιο 3**. Εδώ θα ήθελα να σημειωθεί ότι η εργασία αυτή δεν υπέχει σε καμία περίπτωση θέση μελέτης και ότι τόσο οι προτεινόμενες διαδρομές, όσο και το συνολικό κόστος της κάθε λύσης παρατίθενται ενδεικτικά και προσεγγιστικά.

Βασική παράμετρος και στις δύο περιπτώσεις μεταφοράς είναι η μεταφερόμενη ποσότητα. Έχω δεχτεί πως η ποσότητα που θα μεταφερθεί για να ανακουφιστεί (και όχι για να καλυφθεί εξ ολοκλήρου) το πρόβλημα της ύδρευσης της Αθήνας, θα είναι αυτή που προτείνει το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. στη μελέτη του : “Υδρευση των Αθηνών- Μεταφορά νερού με tankers προς ενίσχυση του υδραγωγείου του Μόρνου”, δηλαδή 200.000 m³ την ημέρα. Ακόμα, και στις δύο περιπτώσεις κρατάω κοινό τόσο τον τόπο υδροληψίας, όσο και τον τόπο απόθεσης του μεταφερόμενου νερού.

5.1.1 ΑΣΚΟΙ ΚΑΙ TANKERS

TANKERS

Σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη [5], η υδροληψία θα γίνει στον ποταμό Αχελώο και η εκφόρτωση στον όρμο των Αντικύρων, σε μίαν απόσταση περίπου 75 ν.μιλίων.

Το νερό θα ληφθεί σε θέση 25 km ανάντη της εκβολής του ποταμού, στο σίφωνα Κατοχής, ούτως ώστε μεταξύ άλλων να μην υπάρξει πρόβλημα ανάμιξης του θαλάσσιου νερού με το νερό λήψεως εξ αιτίας του ανέμου της θάλασσας. Άλλοι λόγοι που συνηγορούν στην επιλογή της θέσης αυτής, η οποία είναι αρκετά απομακρυσμένη από τις εκβολές του Αχελώου, είναι η ύπαρξη καμπύλης του ποταμού ανάντη του σίφωνα (η οποία διευκολύνει την υδροληψία), η έτοιμη μελέτη του αντλιοστασίου αλλά κυρίως η επικοινωνία της με την ήδη λειτουργούσα Διώρυγα ΔΙ, μέσω σωλήνα μήκους μόλις 400 μ., αλλά και η άμεση γειτνίασή της με το συγκρότημα των υφισταμένων διωρύγων ΔΧΧ, ΔΙ και ΔΠ που χρησιμοποιούνται για την άρδευση της πεδιάδας του Νεοχωρίου. Με τον τρόπο αυτό, η λύση που προτείνεται μπορεί να χρησιμεύσει και σε περιόδους που δε θα γίνεται μεταφορά του νερού με δεξαμενόπλοια, καθιστώντας την υδροληψία έργο πολλαπλής εφαρμογής.

Στην παραπάνω θέση έχει μελετηθεί **Αντλιοστάσιο υδροληψίας** παροχής 7.00 m³/sec, αποτελούμενο από 4 αντλίες παροχής 1.75 m³/sec (συν μία εφεδρική) με μανομετρικό ύψος ανύψωσης 10.7 m [5] που θα μεταφέρει το νερό σε μια απόσταση περίπου 14 km, μέσω υφιστάμενης διώρυγας. Εκεί προβλέπεται μεγάλη ανοιχτή **Δεξαμενή Ημερήσιας Εξίσωσης**, ωφέλιμου όγκου 150.000 m³ και **Αντλιοστάσιο Φόρτωσης**, παροχής 4.00 m³/sec με 5 αντλίες παροχής 0.8 m³/sec (συν μία εφεδρική) με μανομετρικό ύψος ανύψωσης 82.0 m. από εκεί το νερό οδηγείται μέσω καταθλιπτικού αγωγού Φ1400 μήκους περίπου 8 km στη **Δεξαμενή Ρύθμισης και Φόρτωσης**, ωφέλιμου όγκου 1.200 m³ και μανομετρικού ύψους 3.00 m. Η φόρτωση του tanker σχεδιάζεται να γίνει στη νήσο Οξεία από υποβρύχιο αγωγό διαμέτρου Φ1200 και μήκους περίπου 2.5 km. Στη μελέτη [5] δεν προβλέπεται σύστημα ναυδέτων για το δέσιμο των tanker στην Οξεία, το οποίο όμως εδώ κρίνεται απαραίτητο.

Για τη φόρτωση ενός tanker με 200.000 m³ νερού, απαιτούνται 14 ώρες (με

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

παροχή 4 m³/sec), ενώ για τη μεταφορά του μέχρι τα Άσπρα Σπίτια 5 περίπου ώρες.

Όταν το tanker φτάσει στον όρμο των Αντικύρων, θα δέσει σε νέο σύστημα ναυδέτων (δεν προβλέπεται ούτε στη μελέτη [6]) και θα αρχίσει να αδειάζει (με δικά του μέσα) το περιεχόμενό του σε **Δεξαμενή Ημερήσιας Εξίσωσης** (Δ.Η.Ε.) όγκου 50.000 m³, στην ακτή. Κατόπιν το νερό από τη δεξαμενή οδηγείται σε υψόμετρο 332 m, όπου και συναντά το Υδραγωγείο του Μόρνου. Η κατάθλιψη γίνεται (πάντα σύμφωνα με την [6]) είτε σε μία βαθμίδα (3 αντλίες 0.83 m³/sec μανομετρικού ύψους 355 m και ισχύος κινητήρα 4200 KW), είτε σε 2 βαθμίδες άντλησης' η πρώτη σχεδιάστηκε δίπλα στη Δ.Η.Ε. και θα αποτελείται από 2 αντλητικά συγκροτήματα σε σειρά, με μανομετρικό ύψος 150 m το ένα και 61 m το άλλο (συνολικής ισχύος 1750 KW), ενώ η δεύτερη τοποθετήθηκε σε υψόμετρο 208 m έχοντας ένα μόνο αντλητικό συγκρότημα μανομετρικού ύψους 150m και ισχύος 500 KW. Το συνολικό μήκος του καταθλιπτικού αγωγού υπολογίζεται στα 3 km.

Για να έχουμε 200.000 m³ νερού την ημέρα, χρειαζόμαστε μίσθωση 3 tanker χωρητικότητας 250.000 τόνων (dwt). Ο δε κύκλος εργασίας τους θα ολοκληρώνεται σε 3 ημέρες αφού το κάθε tanker θα έχει πραγματοποιήσει τις παρακάτω εργασίες :

(1)	Φόρτωση του νερού από τον Αχελώο:	14 ώρες
(2)	Μεταφορά Οξειά - Άσπρα Σπίτια:	5 ώρες
(3)	Εκφόρτωση στα Άσπρα Σπίτια:	48 ώρες
(4)	Επιστροφή Άσπρα Σπίτια - Οξειά:	5 ώρες

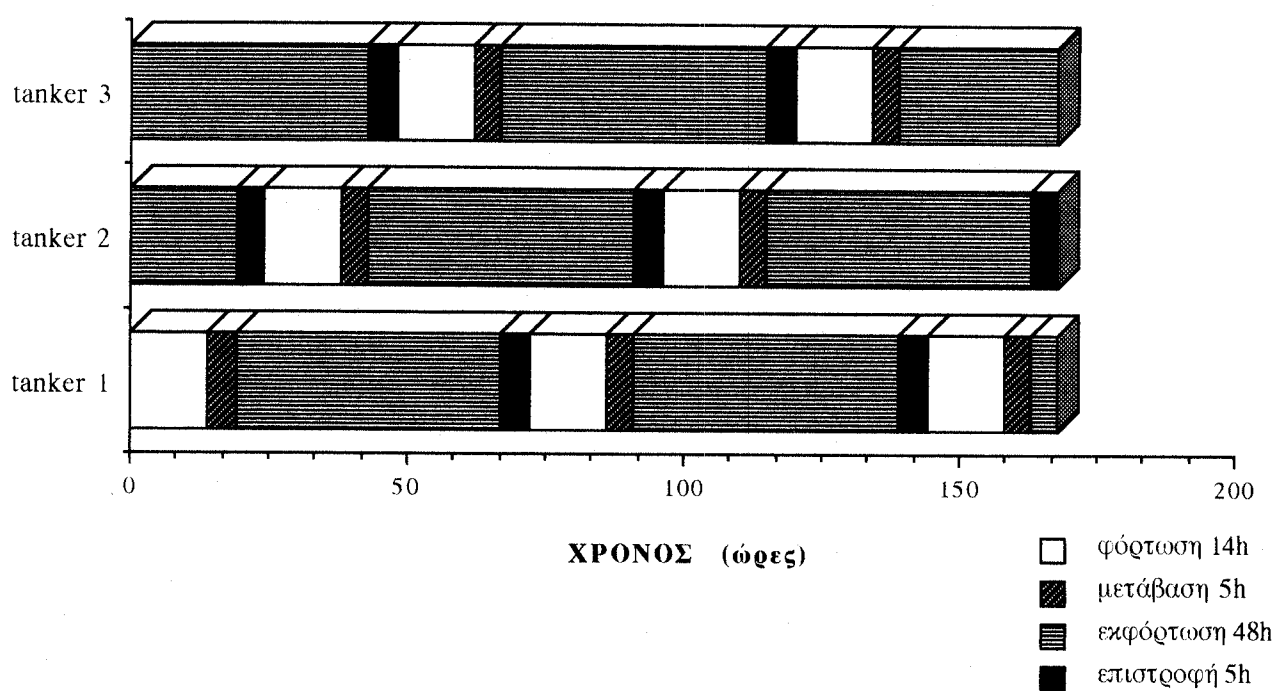
	Σύνολο:	72 ώρες

Παραστατικό χρονοδιάγραμμα δίνεται στο **σχήμα 5.1**.

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

Σχήμα 5.1:

ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ
TANKERS 250.000 κ.μ. ΓΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗ ΑΘΗΝΑΣ



ΑΣΚΟΙ MEDUSA

Η διαδικασία που θα προτείνεται στην περίπτωση των ασκών παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με αυτή που θα ακολουθηθεί για τα tankers.

Το νερό θα ληφθεί, όπως είπαμε και προηγουμένως, από τον Αχελώο. Η φόρτωση θα γίνει από ναύδετο που θα βρίσκεται κοντά στη νήσο Οξεία, σε σημείο που θα απέχει τουλάχιστον 500 m από σημείο ρηχότερο των 15 m. Το παραπάνω κρίνεται απαραίτητο τόσο λόγω του τύπου του ναυδέτου που θα χρησιμοποιηθεί (επιτρέπει την περιστροφή του ασκού κατά 360°), όσο και λόγω των διαστάσεων του ασκού (για έναν ασκό χωρητικότητας 250.000 m^3 έχουμε βάθος περί τα 15 m και μήκος περί τα 350).

Το ρυμουλκό που θα τραβάει τους ασκούς αναπτύσει ταχύτητα μέχρι 2 κόμβους, καλύπτοντας την απόσταση των 75 μιλίων σε 36 περίπου ώρες, ενώ τα tankers καλύπτουν την απόσταση αυτή σε μόλις 5 ώρες. Παρόλ' αυτά, το χρόνο που χάνει το ρυμουλκό κατά τη μεταφορά τον κερδίζει στο άδειασμα του ασκού, όταν αντί για τις απαιτούμενες 48 ώρες για άδειασμα του tanker των 200.000 m^3 , χρειάζονται 72 ώρες, αλλά για την τριπλάσια ποσότητα (για ασκούς χωρητικότητας 600.000 m^3).

Ο κύκλος εργασιών που προτείνει η εργασία αυτή είναι ο παρακάτω:

(1) Φόρτωση του νερού από τον Αχελώο:	24 ώρες
(2) Μεταφορά Οξεία - Άσπρα Σπίτια:	36 ώρες
(3) Εκφόρτωση στα Άσπρα Σπίτια:	72 ώρες
(4) Επιστροφή Άσπρα Σπίτια - Οξεία:	12 ώρες

Σύνολο:	144 ώρες

Οι παραπάνω εργασίες θα εκτελούνται από 2 ασκούς χωρητικότητας 600.000 m^3 ο καθένας, ούτως ώστε να υπάρχει συνεχής τροφοδοσία του καναλιού του Μόρνου με 200.000 m^3 ημερησίως. Το παραπάνω απαιτεί μεγαλύτερη παροχή του αντλιοστασίου φόρτωσης ($7.00 \text{ m}^3/\text{sec}$ αντί της προβλεπόμενης $4.00 \text{ m}^3/\text{sec}$). Με τον τρόπο αυτό θα γίνεται χρήση του αντλιοστασίου φόρτωσης μόνο 2.5 μέρες την εβδομάδα και τις υπόλοιπες θα είναι δυνατό να αποδίδεται το νερό στους καλλιεργητές του Μεσολογγίου. Ας σημειωθεί εδώ ότι κατά το παρελθόν, τόσο

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

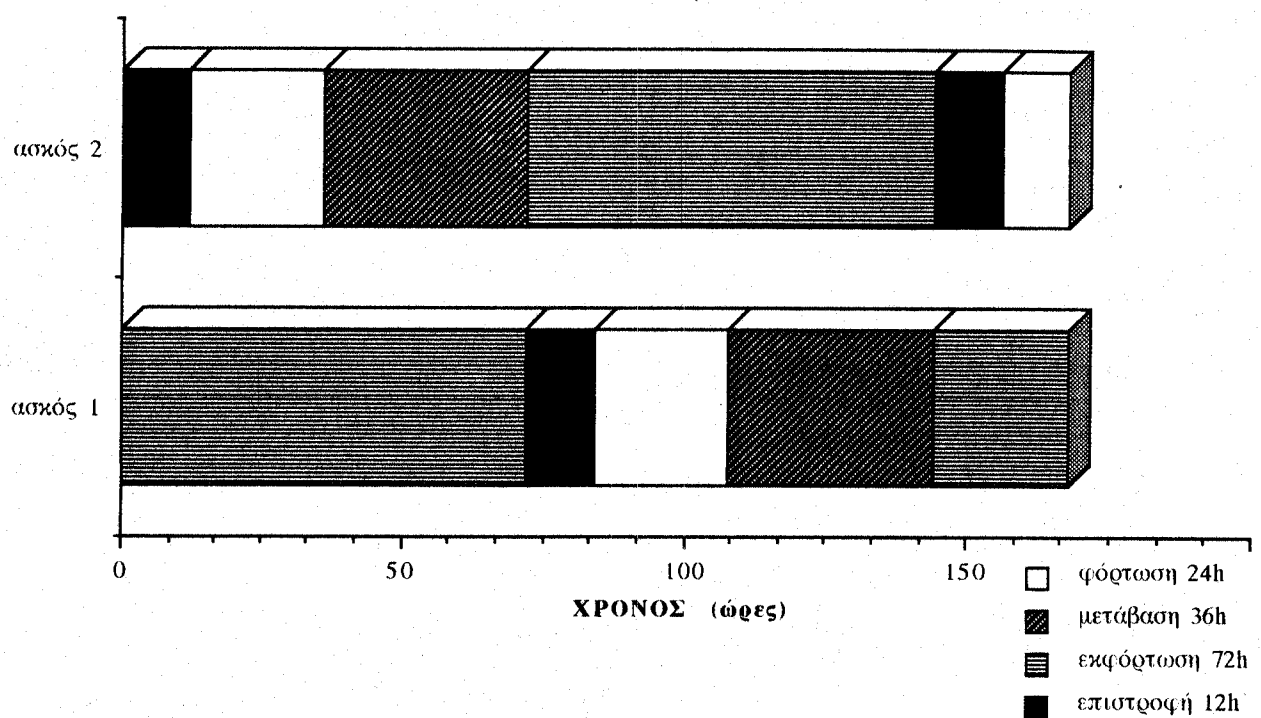
στην Αιτωλοακαρνανία όσο και σε άλλους νομούς της Ελλάδας, έχουν διατυπωθεί παράπονα από τους κατοίκους -πολλές φορές με δυναμικό τρόπο- οι οποίοι διαμαρτύρονται επειδή στο βωμό της ανάπτυξης άλλων περιοχών θυσιάζονται τα δικά τους δικαιώματα στα επιφανειακά αλλά και στα υπόγεια ύδατα.

Όσο για το αντλιοστάσιο της εκφόρτωσης, χρειάζεται επιπροσθέτως 5 περίπου μέτρα μανομετρικό ύψος (σε σχέση με το μανομετρικό ύψος που προτείνει η [6] για μεταφορά με tankers), ώστε να μπορέσει να αντλήσει το νερό από το πάνω μέρος του ασκού (το βάθος του είναι περίπου 15 μέτρα). Το τελευταίο είναι απαραίτητο διότι σε αντίθεση με τα δεξαμενόπλοια τα οποία είναι εξοπλισμένα με αντλίες που μπορούν να ανηρώσουν το φορτίο τους μέχρι και 10 m -ως την ακτή-, οι ασκοί αδειάζουν αποκλειστικά από εξωτερικό αντλιοστάσιο τοποθετημένο στη στεριά.

Χρονοδιάγραμμα της παραπάνω πρότασης φαίνεται στο **σχήμα 5.2**.

Σχήμα 5.2:

ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ
ΑΣΚΩΝ 600.000 κ.μ. ΓΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗ ΑΘΗΝΑΣ



5.1.2 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

Οι λύσεις που προτείνονται παραπάνω έχουν το κοινό χαρακτηριστικό ότι αποτελούν λύσεις ανάγκης που μόνο σκοπό έχουν την εποχιακή και βραχυπρόθεσμη αντιμετώπιση της λειψυδρίας και όχι το σχεδιασμό, αλλά ούτε και αντικατάσταση υφισταμένων μελετών ύδρευσης της πρωτεύουσας, παρόλο που η μέθοδος των ασκών προσφέρεται και για το δεύτερο.

Για την περίπτωση των tankers, το συνολικό κόστος του νερού όπως αυτό θα φτάσει στο κανάλι του Μόρνου (χωρίς δηλαδή επεξεργασία, καθαρισμό και διύλιση) ανέρχεται σε 83.5 δραχμές το κυβικό μέτρο, με τιμές Σεπτεμβρίου 1990. Αν η παραπάνω τιμή επαυξηθεί κατά 20% λόγω περιοδικής λειτουργίας του συστήματος, φτάνουμε στις 100 δρχ/m³ νερού. Ακόμα, δίνοντας χοντρικά μια αύξηση 10% κατ' έτος στην παραπάνω τιμή ούτως ώστε να φτάσουμε στις τιμές του 1994, το κόστος του μεταφερόμενου νερού προκύπτει περίπου **150 δρχ/m³**.

Οι βασικές παραδοχές για την παραπάνω ανάλυση πάρθηκαν από τη μελέτη [6] και είναι οι παρακάτω:

(α) Το τοκοχρεωλύσιο υπολογίστηκε με επιτόκιο 8% και χρόνο απόσβεσης για μεν τα ηλεκτρομηχανολογικά 25 χρόνια, για τα δε έργα Πολιτικού Μηχανικού 50 χρόνια.

(β) Ο καθαρισμός και η προετοιμασία των tankers θα αποσβεστεί σε 2 χρόνια, με επιτόκιο 15%.

(γ) Οι δαπάνες λειτουργίας εκτιμήθηκαν η μεν δαπάνη ηλεκτρικής ενέργειας με τον τύπο που χρησιμοποιεί η Δ.Ε.Η. για τους δήμους και τις κοινότητες, οι δε δαπάνες προσωπικού πάρθηκαν ίσες με 130 εκατομ. δραχμές ανά σταθμό (φόρτωσης και εκφόρτωσης).

(δ) Οι δαπάνες συντήρησης είναι το 1% των έργων Πολ. Μηχ. και το 2% των ηλεκτρομηχανολογικών έργων.

Αυτό που αξίζει να σημειωθεί στα παραπάνω είναι το μεγάλο ποσοστό του κόστους που αντιστοιχεί στη μεταφορά του νερού με τα tankers. Περίπου το 1/2 της υπολογισθείσας τιμής οφείλεται στην ενοικίαση, τον καθαρισμό και την προετοιμασία των σκαφών. Ακόμα, εκτιμώντας το κόστος των ναυδέτων (δεν

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

προβλέπονται στις μελέτες [5] και [6]) στα 200 εκατομύρια δραχμές το καθένα, προκύπτει περαιτέρω αύξηση του νερού κατά 2% περίπου, ανεβάζοντας την τιμή του νερού στις **155** περίπου δρχ/m³.

Για τους ασκούς το κόστος μπορεί να εκτιμηθεί πρόχειρα, αν σύμφωνα με τον Cran πάρουμε τον τύπο

$$K = A \cdot T + B \cdot D, \text{ όπου}$$

- K:** το συνολικό κόστος του νερού ανά κυβικό μέτρο,
A: 10 - 15 δρχ (0.04 U.S.\$ με 0.06 U.S.\$) ανάλογα με το είδος των ναυδέτων,
T: το πλήθος των σταθμών φόρτωσης και εκφόρτωσης,
B: 2.5 δρχ (0.01 U.S.\$) και
D: η απόσταση μεταξύ λήψης και απόδοσης του νερού (σε εκατοντάδες χιλιομέτρων).

Για να συνταχθεί ο παραπάνω τύπος λήφθηκαν οι ίδιες παραδοχές που αναφέρονται στο **κεφάλαιο 3.8** (σελ. 39).

Στην περίπτωση μας θα έχουμε

$$K = 0.06 \cdot 2 + 0.01 \cdot 1 = 0.13 \text{ U.S.}/\text{m}^3, \text{ που αντιστοιχεί σε μόλις } 0.13 \cdot 250 =$$
$$\mathbf{32.5 \text{ δρχ}/\text{m}^3}.$$

Το παραπάνω αποτέλεσμα είναι παρόλ' αυτά εντελώς θεωρητικό και ίσως παραπλανητικό. Κάνοντας κάποια ορθολογικότερη προσέγγιση στο κόστος, μπορούμε να υπολογίσουμε το κόστος της μεταφοράς ξέχωρα από τα κόστη των χερσαίων έργων. Αυτό γίνεται αν υπολογίσουμε το κόστος αγοράς, χρήσης και συντήρησης δύο ασκών όγκου 600.000 m³ και δύο ρυμουλκών που να τηρούν τις προδιαγραφές της **ενότητας 3.5** της παρούσης εργασίας. Το κόστος αυτό προκύπτει (με μάλλον συντηρητικές παραδοχές) γύρω στις **26 δρχ/m³**. Στην παραπάνω ανάλυση υποτέθηκαν:

επιτόκιο		12%,
απόσβεση	ασκών	7 χρόνια
	ρυμουλκών	15 χρόνια,

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

απρόβλεπτα	10% και
κόστος συντήρησης	2% για τα ρυμουλκά και 8% για τους ασκούς.

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η κατά το ήμισυ μείωση του κόστους μεταφοράς με tankers, η οποία όπως είπαμε και πιο πάνω αποτελεί το 50% του συνολικού κόστους του νερού.

Επομένως η λύση των ασκών εξασφαλίζει (για τη συγκεκριμένη περίπτωση μεταφοράς) τα 200.000 m³ σε τιμή κατά **25% φθηνότερη** από την αντίστοιχη των tankers, δίνοντας κάποια αύξηση της τελικής τιμής λόγω της κατασκευής των συστημάτων αγκυροβόλησης.

Καταλήγοντας θα ήθελα και πάλι να τονίσω πως μεγαλύτερη ανάλυση τόσο τεχνική όσο και οικονομική, θα μπορούσε να γίνει το αντικείμενο εκτενέστερης μελέτης, τη θέση της οποίας σε καμία περίπτωση δε φιλοδοξεί να πάρει η εργασία αυτή.

5.2 ΑΡΔΕΥΣΗ ΝΗΣΙΩΝ

Έχοντας υπ' όψιν το τεράστιο κόστος που συνεπάγεται η μεταφορά νερού με tankers, κόστος που κάνει τη λύση αυτή ανεφάρμοστη ακόμα και για περιπτώσεις ύδρευσης, το κεφάλαιο αυτό θα αγνοήσει την περίπτωση να χρησιμοποιηθούν τα τελευταία προκειμένου να αρδευτούν άνυδρα νησιά της νησιωτικής χώρας.

Αντίθετα, η προοπτική της μεταφοράς του νερού άρδευσης με τους **ασκούς** που έχουν περιγραφεί στο **κεφάλαιο 3**, φαντάζει ενδιαφέρουσα και πρωτότυπη παρόλη τη μεγάλη της κλίμακα.

Η περίπτωση που θα αναλυθεί εδώ αφορά στην άρδευση μερικών νησιών των Κυκλάδων και συγκεκριμένα της Νάξου, της Πάρου, της Ίου, της Σερίφου, της Σίφνου και της Μήλου. Η επιλογή των συγκεκριμένων νησιών έγινε με κριτήριο το μέγεθός τους, την απόστασή τους από τη θέση υδροληψίας και τη σχετική γεωγραφική τους θέση που επιτρέπει τη δημιουργία αλυσίδας μεταφοράς νερού [**χάρτης 5.3**]. Ακόμα, πολύ μεγάλη σημασία δόθηκε στην ύπαρξη μελετημένης η κατασκευασμένης λιμνοδεξαμενής στο κάθε νησί.

Ως θέση υδροληψίας επιλέχθηκε η περιοχή του Ανάβαλου που βρίσκεται κοντά στο Ναύπλιο. Παρότι τα νερά της παραπάνω πηγής έχουν πρόβλημα υφαλμυρότητας και κρίνονται μάλλον ακατάλληλα για ύδρευση, η χρήση τους για αρδευτικούς σκοπούς είναι θεμιτή και δεν παρουσιάζει κανένα μειονέκτημα. Η επιλογή της παραπάνω θέσης έγινε με γνώμονα τη σχετικά μικρή της απόσταση από τις Κυκλάδες (περίπου 140 ν. μίλια από τη Νάξο) και το ελάχιστο κόστος προμήθειας του νερού. Στις Βόρειες Κυκλάδες υπάρχει και η περίπτωση πιο κοντινής πηγής, στην Κάρυστο Ευβοίας (Κάρυστος - Τήνος : περίπου 48 ν. μίλια).

Τα έργα που θα απαιτηθούν για να γίνει μια τέτοια μεταφορά θα είναι:

1. ναύδετα που θα κατασκευαστούν ένα σε κάθε σημείο εκφόρτωσης και άλλο ένα κοντά στο σημείο υδροληψίας και
2. αντλιοστάσια που θα μεταφέρουν το νερό από το σημείο που θα αγκυροβολεί ο ασκός μέχρι τη δεξαμενή εξίσωσης (Δ.Ε.).

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

Το νερό θα μεταφέρεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους στα νησιά και θα αποθηκεύεται στις υπό κατασκευήν Εξωποτάμιες Λιμνοδεξαμενές (Ε.Λ.) των νησιών, οι οποίες θα παίξουν το ρόλο Δ.Ε. Κατασκευή Ε.Λ. προβλέπεται σε όλα σχεδόν τα νησιά των Κυκλάδων, των Δωδεκανήσων και του Ιονίου. Η μεταφορά θα γίνεται σε κάθε διαδρομή, με ασκούς χωρητικότητας 600.000 και 400.000 m³, το δε νερό θα κατανέμεται ανάλογα με την αρδευτική ανάγκη κάθε νησιού. Το μέγεθος του ασκού επιλέχθηκε τόσο, για να έχουμε ενιαίο μέγεθος και στις 2 εφαρμογές μας (ύδρευση Αθήνας και άρδευση νησιών) ούτως ώστε να αγοραστούν λίγοι μόνο ασκοί που θα χρησιμοποιούνται εκ περιτροπής και εποχιακά.

Ο Νομός Κυκλάδων αποτελείται από 30 κύρια νησιά και πολυάριθμα ερημονήσια. Ο θαλάσσιος χώρος στον οποίο απλώνεται καλύπτει έκταση 8.000 km², ενώ η έκταση των νησιών είναι 2.572 km², από τα οποία τα 1.126 km² βρίσκονται στις νότιες Κυκλάδες. Από αυτά τα 1.126.000 στρέματα, τα 234.000 αποτελούν γεωργική γή (ο υπολογισμός έγινε εμβαδομετρώντας την περιοχή των νησιών που βρίσκεται κάτω από την ισοϋψή των 100m). Ο πληθυσμός και των 30 νησιών ανέρχεται στα 95.083 άτομα. Ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού στη δεκαετία που πέρασε ήταν 7.49%.

Λόγω του μεγάλου κόστους που συνεπάγεται η κατασκευή πολλών εγκαταστάσεων πρόσδεσης και αδειάσματος των ασκών, οι τελευταίοι θα προσεγγίζουν μόνο τα μεγάλα νησιά. Από εκεί και πέρα, αν κρίνεται αναγκαίο, μπορεί να δημιουργηθεί ένα δευτερεύον δίκτυο μεταφοράς του νερού από τα μεγάλα στα μικρά νησιά, με τη βοήθεια υδροφόρων.

Η συγκεκριμένη πρόταση που μελετάται και κατατίθεται στην εργασία αυτή αφορά όπως προαναφέρθηκε στην ύδρευση 6 νησιών των νοτίων Κυκλάδων. Η μεταφορά αυτή προτείνεται να γίνει σε 3 κύκλους-διαδρομές, τους παρακάτω:

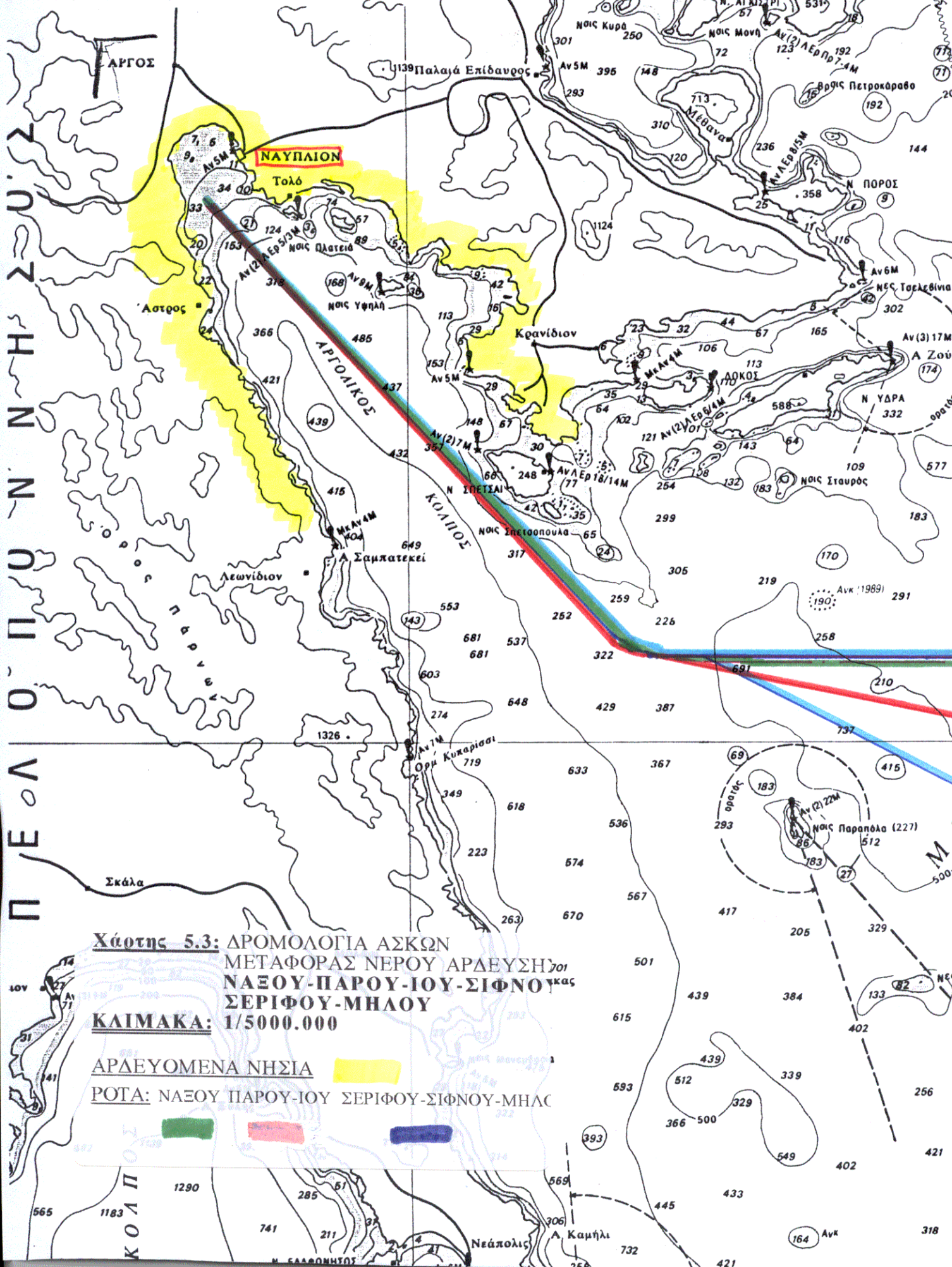
1. **Νάξος**
2. **Πάρος - Ίος**
3. **Σέριφος - Σίφνος - Μήλος**

Στα παραπάνω νησιά προβλέπονται 13 λιμνοδεξαμενές:

6 στη Νάξο (Β. και Ν. Εγγαρές, Κινίδαρος, Μελάνες, Άνω Σαγκρί και Απόλλωνας),

ΠΕΙΔΑΓΩΓΙΚΗ: ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟΥΣ ΣΗΜΑΝΤΗΡΕΣ ΚΑΙ ΜΕΡΙΚΕΣ
ΡΑΚΤΙΕΣ ΣΗΜΑΝΣΕΙΣ

χάρτης αυτός θα επηρεάζεται από την εφαρμογή του Συστήματος
υπηρεσίας Σημάτων ΙΑΛΑ (Περιοχή Α) (Βλέπε σχετική έκδοση Υ.Υ.) η
οποία προβλέπεται να συμπληρωθεί στην περιοχή του Νοτίου Αιγαίου κατά
1984-85. Οι σχετικές διορθώσεις του χάρτη, θα γνωστοποιούνται με
μελίες προς τους Ναυτιλλόμενους

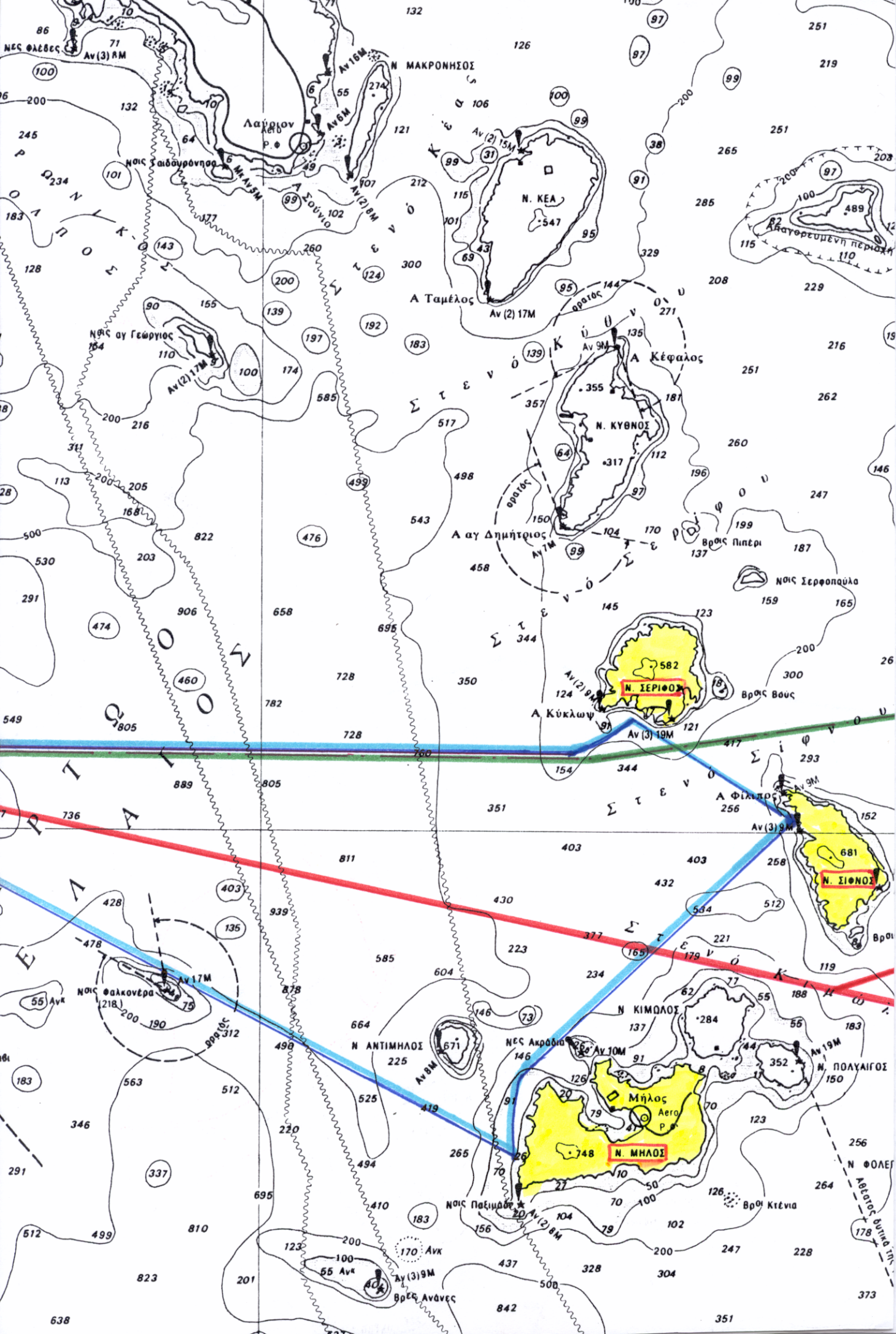


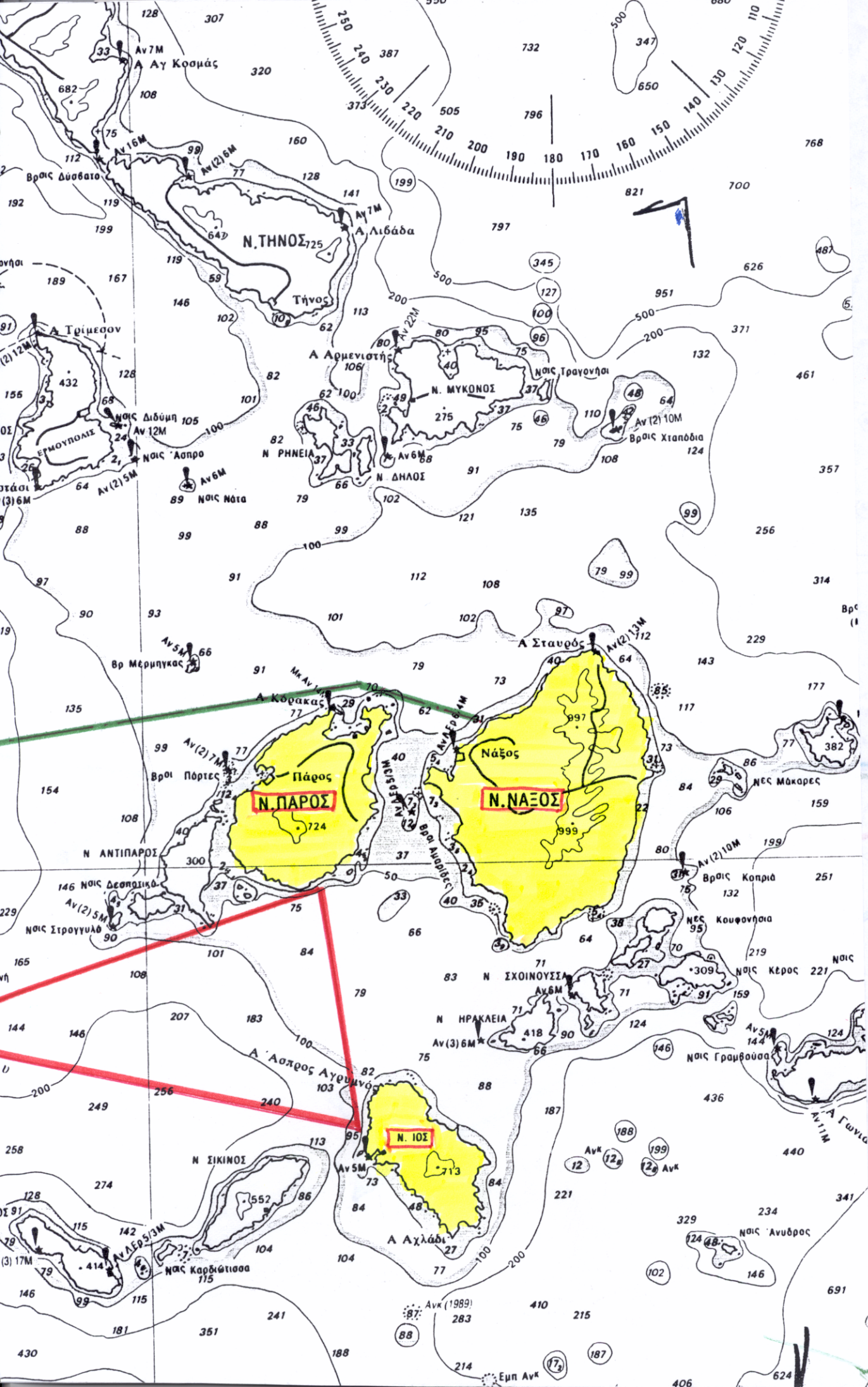
**Χάρτης 5.3: ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΑ ΑΣΚΩΝ
ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΝΕΡΟΥ ΑΡΔΕΥΣΗΣ
ΝΑΞΟΥ-ΠΑΡΟΥ-ΙΟΥ-ΣΙΦΝΟΥ
ΣΕΡΙΦΟΥ-ΜΗΛΟΥ**

ΚΛΙΜΑΚΑ: 1/5000.000

ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΑ ΝΗΣΙΑ

ΡΟΤΑ: ΝΑΞΟΥ ΠΑΡΟΥ-ΙΟΥ ΣΕΡΙΦΟΥ-ΣΙΦΝΟΥ-ΜΗΛΟΣ





2 στην Πάρο (Συρίγος και Μάρπησσα),

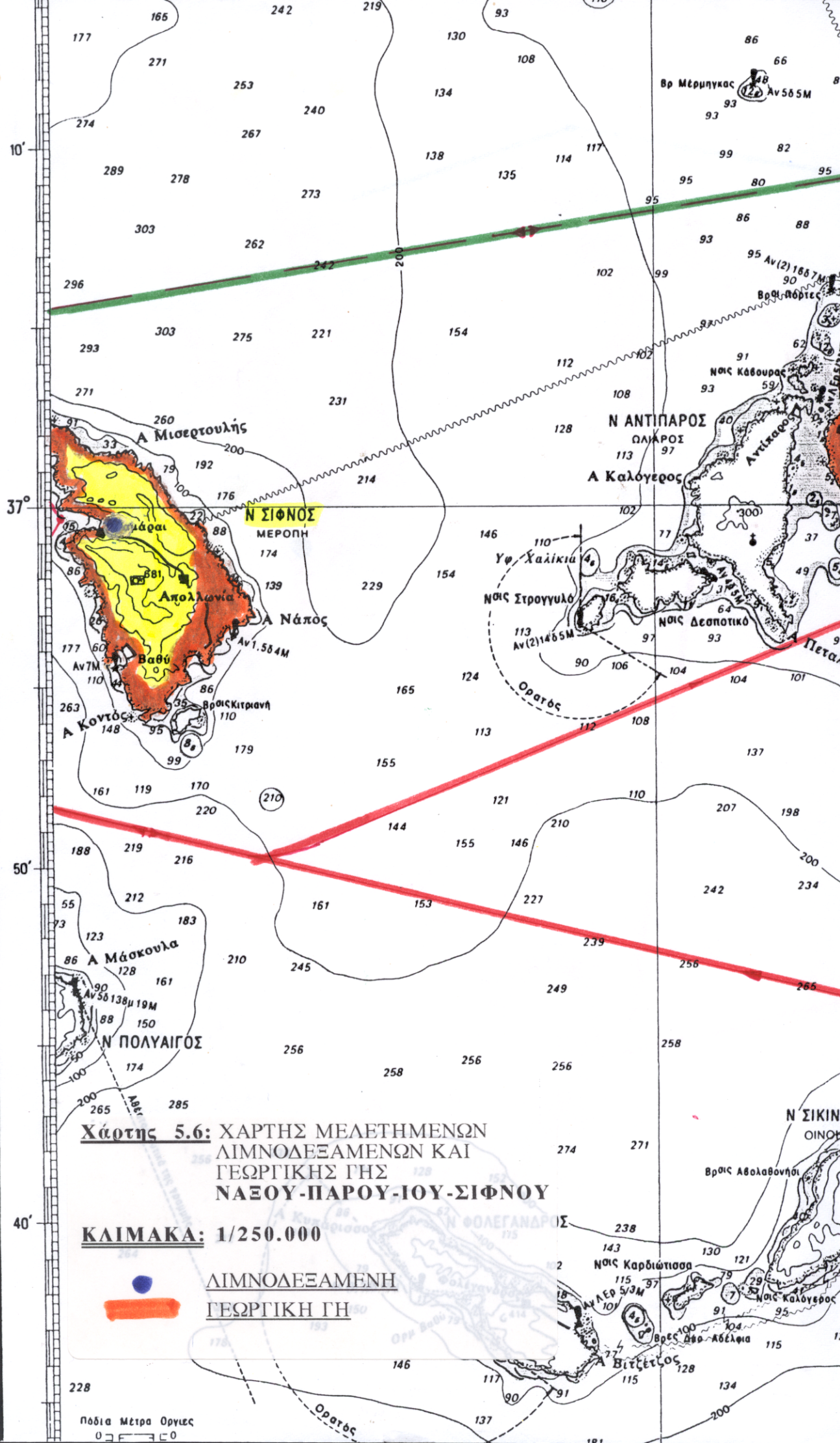
2 στην Ίο (Μυλοπόταμος και Επάνω Κάμπος) και

από **μία** στις Σέριφο, Σίφνο και Μήλο (στις θέσεις Στελιό, Καμάρες και Αγ. Ιωάννης αντίστοιχα).

Στο **χάρτη 5.6** φαίνονται οι θέσεις που θα κατασκευαστούν οι Λ.Δ. της Πάρου, της Νάξου, της Ίου και της Σίφνου. Απ' ότι βλέπουμε οι Λ.Δ. είναι σε πολλές περιπτώσεις πολύ κοντά στην ακτή. Οι Λ.Δ. αυτές έχουν υπολογιστεί για να υδρεύουν κυρίως τις κοντινές κοινότητες, αλλά και να αρδεύουν περιορισμένες εκτάσεις πλησίον τους. Έτσι, αν δεν είχαμε μεταφορά νερού, οι Λ.Δ. θα άρδευαν συνολικά λιγότερα από 5.000 στρέματα, ενώ όπως βλέπουμε και στον **πίνακα 5.4** τώρα θα αρδεύονται πάνω από 200.000 (τα 120.000 περίπου των οποίων βρίσκονται στην άμεση "γειτονιά" των Λ.Δ.) από ένα σύνολο 234.000 στρεμάτων γεωργικής γής σε όλες τις Νότιες Κυκλάδες. Αν αναλογιστούμε ότι στο σύνολό του ο νομός Κυκλάδων έχει γύρω στις 500.000 στρέματα γεωργικής γής, αντιλαμβανόμαστε την έκταση και τη σπουδαιότητα της υδατικής αυτής επένδυσης.

Εκτός από τα παραπάνω, ας σημειωθεί ότι οι Λ.Δ. στα νησιά που εξετάζουμε έχουν συνολική χωρητικότητα γύρω στα 9.000.000 κυβικά μέτρα.

Οι ανάγκες ύδρευσης στον **πίνακα 5.4** που ακολουθεί προέκυψαν υπολογίζοντας κατανάλωση **340** lt/μόνιμο κάτοικο/ημέρα (στο μέγεθος αυτό περιλαμβάνεται και η κατανάλωση του τουριστικού πληθυσμού που έχει αναχθεί ανά μόνιμο κάτοικο) και οι ανάγκες άρδευσης **300** m³/στρ. γεωργ. γης/έτος για τις συνηθισμένες καλλιέργειες που ευδοκιμούν στις Κυκλάδες. Στη στήλη "Απόσταση από Ανάβαλο", ο πρώτος αριθμός δείχνει την απόσταση από το σημείο υδροληψίας και ο δεύτερος την απόσταση από το προηγούμενο νησί του κύκλου.

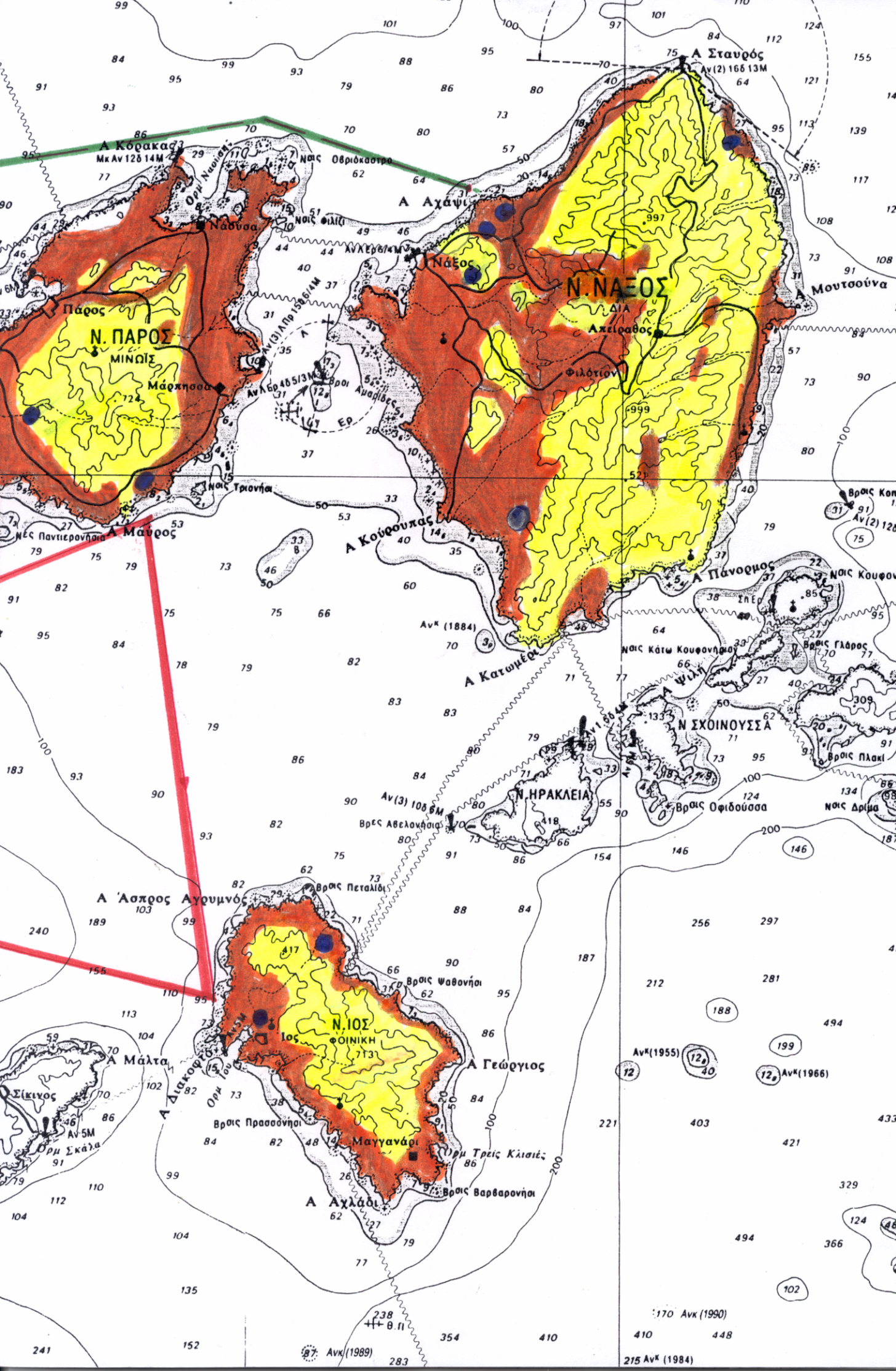


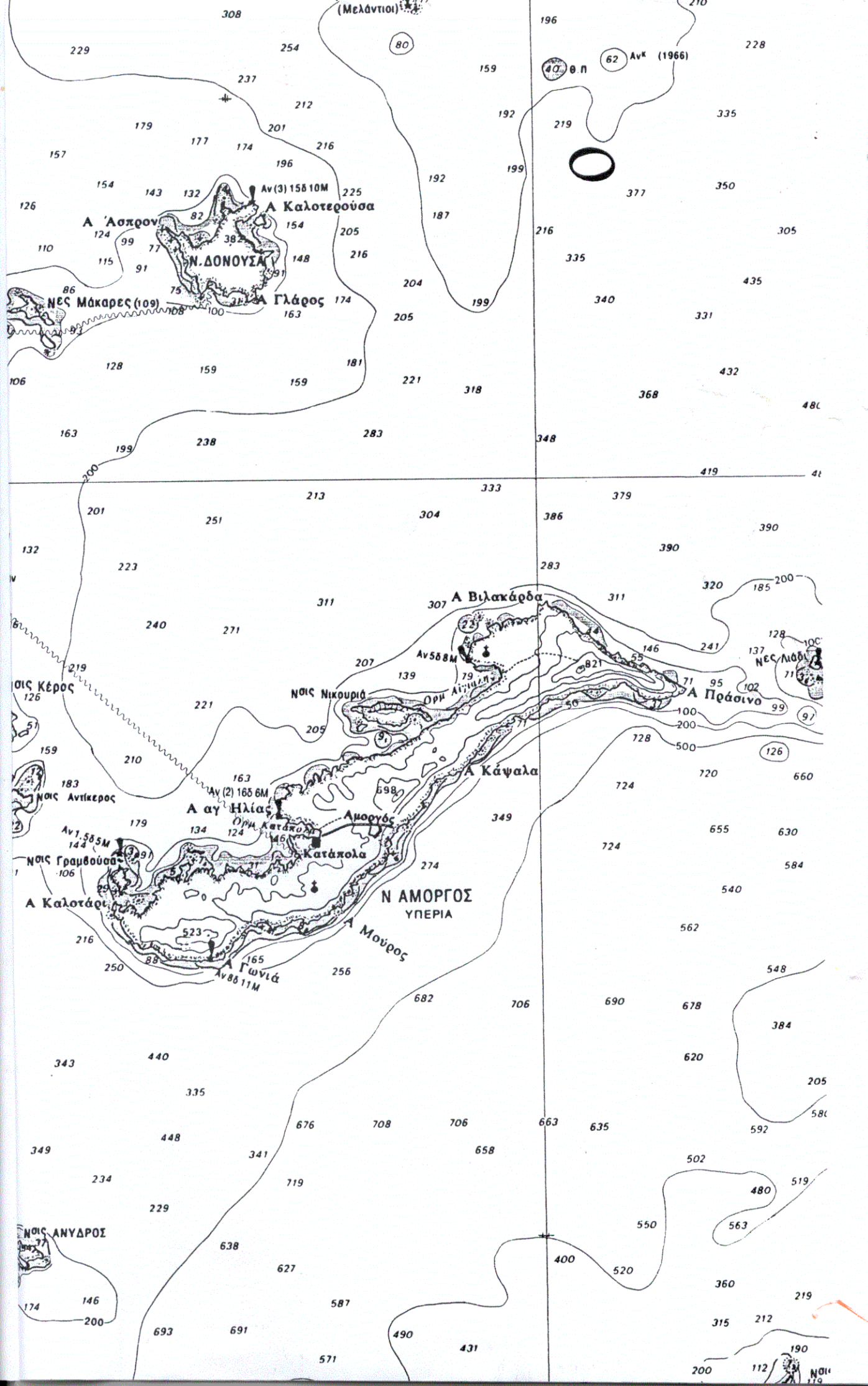
**Χάρτης 5.6: ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΜΕΝΩΝ
ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΚΑΙ
ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΓΗΣ
ΝΑΞΟΥ-ΠΑΡΟΥ-ΙΟΥ-ΣΙΦΝΟΥ**

ΚΛΙΜΑΚΑ: 1/250.000

**ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗ
ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΓΗ**

Πόδια Μέτρα Όργιες
0 50





Πίνακας 5.4: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ
ΝΗΣΙΩΝ ΤΩΝ ΚΥΚΛΑΔΩΝ

ΝΗΣΙ	ΑΠΟΣΤ. ΑΠΟ ΑΝΑΒΛΑΟ (ν. μίλια)	ΕΚΤΑΣΗ (στρ.)	ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΓΗ (στρ.)	ΑΝΑΓΚΕΣ- ΑΡΔΕΥΣΗ (χιλιάδες m ³ /έτος)	ΑΝΑΓΚΕΣ- ΥΔΡΕΥΣΗ (χιλιάδες m ³ /έτος)	ΣΥΝΟΛΟ ΝΕΡΟΥ (χιλιάδες m ³ /έτος)
ΝΑΞΟΣ	140 ν.μ.	428.000	97.200	31.020	1.860	32.880
ΠΑΡΟΣ	130	194.500	58.400	17.520	1.000	18.520
ΙΟΣ	130/15	107.800	14.000	4.200	200	4.400
ΣΕΡΙΦΟΣ	90	73.200	7.400	2.220	150	2.370
ΣΙΦΝΟΣ	100/10	73.200	12.200	3.660	250	3.910
ΜΗΛΟΣ	95/25	150.600	23.500	7.050	620.5	7.670,5

Από τον παραπάνω πίνακα (τα στοιχεία του οποίου προέρχονται από τη μελέτη του Υπουργείου Γεωργίας με τίτλο “Αναγνωριστική μελέτη μικρών λιμνοδεξαμενών νησιών Νοτίων και Βορείων Κυκλάδων”, Δεκέμβριος 1990), προκύπτει ότι η ανάγκη του κάθε κύκλου είναι για τη μεν Νάξο 33.000.000 m³/έτος, για τις δε Πάρο και Ίο 23.000.000 m³/έτος, ενώ για τις Σέριφο, Σίφνο και Μήλο 14.000.000 m³/έτος.

Η ποσότητα του νερού που υπολογίστηκε παραπάνω στο μεγαλύτερό της ποσοστό θα χρησιμοποιηθεί για αρδευτικούς σκοπούς. Για τις συγκεκριμένες συνθήκες και καλλιέργειες των νοτίων Κυκλάδων, η αρδευτική περίοδος περιλαμβάνει κυρίως τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο και Ιούνιο με κρίσιμο μήνα τον Ιούνιο, κατά τη διάρκεια του οποίου καταναλώνεται το 20% της συνολικής ποσότητας αρδευτικού ύδατος. Επομένως, κατά τη διάρκεια του Ιουνίου θέλουμε να υπάρχουν διαθέσιμα περίπου 220.000 m³ νερού/ημέρα στη Νάξο, 155.000 m³/ημέρα στην Πάρο και την Ίο και 95.000 m³/ημέρα στη Σέριφο τη Σίφνο και τη Μήλο. Αυτό μας οδηγεί να υπολογίσουμε το σύστημά μας για μεταφορά περίπου 200, 150 και 100 χιλιάδων κυβικών μέτρων την ημέρα για τους μήνες Μάρτιο μέχρι Ιούνιο στις 3 διαδρομές μας αντίστοιχα. Το παραπάνω είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί αν χρησιμοποιήσουμε 4 ασκούς χωρητικότητας 600.000 m³ και 1 ασκό χωρητικότητας 400.000 m³ με τον εξής τρόπο:

Γέμισμα: Οι μεγάλοι ασκοί φορτώνουν σε 1,5 μέρα, ενώ ο μικρός σε 1 μέρα.

ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΝΕΡΟΥ

Με τον τρόπο αυτό το αντλιοστάσιο Αναβάλου θα λειτουργεί 24 ώρες το 24ωρο κατά την κρίσιμη αυτή περίοδο. Η παροχή της πηγής λήφθηκε $200.000 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$.

Διαδρομή: Η ταχύτητα των ρυμουλκών είναι 50 ν. μίλια περίπου την ημέρα. Υπολογίζοντας την καθυστέρηση που θα δημιουργηθεί κατά την πρόσδεση των ασκών στα ναύδετα, ο χρόνος που θα ταξιδεύουν οι ασκοί γεμάτοι θα είναι και για τις 3 διαδρομές 3 μέρες.

Εκφόρτωση: Θα γίνεται σε 1,5 μέρα.

Επιστροφή: Υπολογίζεται ως το εν τρίτον του χρόνου που ταξιδεύει ο ασκός γεμάτος, δηλ. 1 μέρα. Ο ασκός των 400.000 m^3 θα επιστρέφει σε 36 ώρες.

Όπως βλέπουμε ο χρόνος κύκλου εργασιών σε όλες τις περιπτώσεις προκύπτει 7 ημέρες. από τους παραπάνω ασκούς, δύο μεγάλοι θα εξυπηρετούν τη Νάξο, ένας μεγάλος και ο μικρός θα αρδεύουν την Πάρο και την Ίο και ο τέταρτος μεγάλος θα χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες της Σερίφου, της Σίφνου και της Μήλου.

Οι τελικές ποσότητες που προκύπτουν αν ακολουθηθεί το προτεινόμενο χρονοδιάγραμμα (**σχήμα 5.5**) κατά τον κρίσιμο μήνα είναι:

Νάξος	5.400.000 $\text{m}^3/\text{μήνα}$
Πάρος-Ίος	4.000.000 $\text{m}^3/\text{μήνα}$
Σέριφος-Σίφνος-Μήλος	2.400.000 $\text{m}^3/\text{μήνα}$

Στο **σχήμα 5.5** φαίνεται η δραστηριότητα των ασκών κατά τον κρίσιμο μήνα Ιούνιο. Οι ασκοί 1 και 2 προορίζονται για τη Νάξο, ο 3 για τη Σέριφο, τη Σίφνο και τη Μήλο και ο 4 με τον 5 για την Πάρο και την Ίο. Ο τελευταίος είναι ο ασκός των 400.000 m^3 .

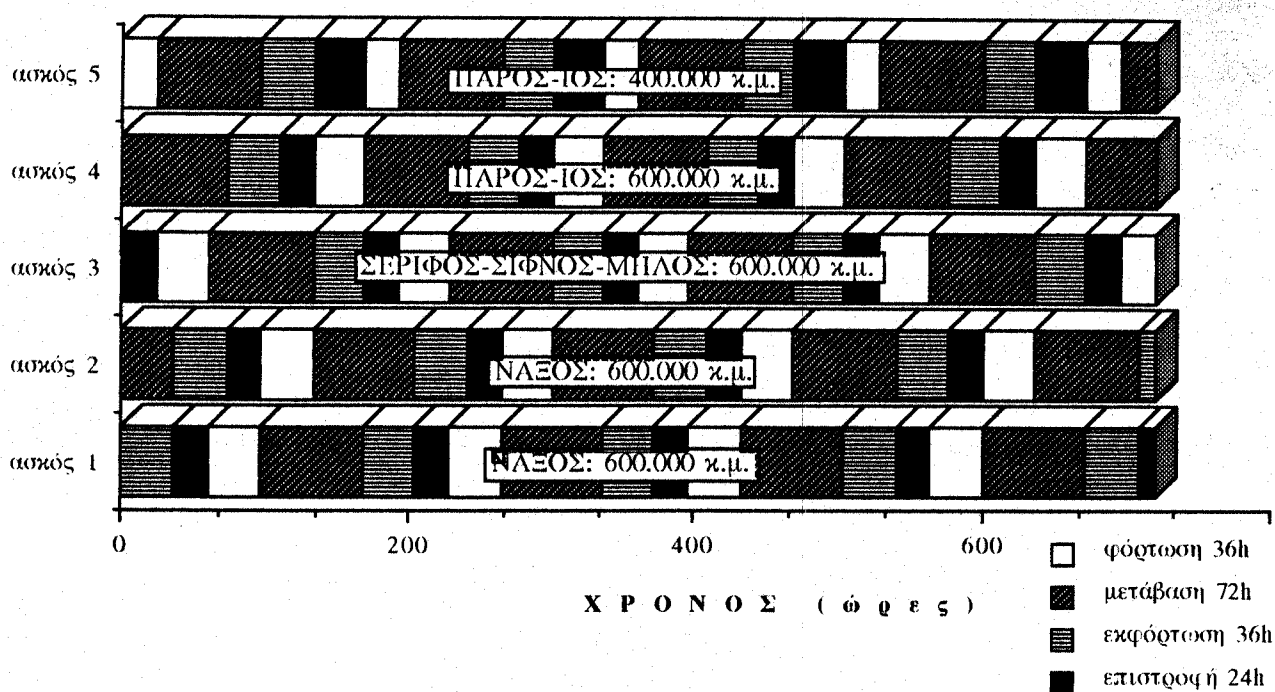
Όσο για το κόστος που συνεπάγεται αυτή η μεταφορά, και πάλι δεν μπορεί να προσδιοριστεί υπεύθυνα και με ακρίβεια. Παρόλ' αυτά, με τον ίδιο τρόπο που υπολογίστηκε το κόστος του κυβικού στην περίπτωση της ύδρευσης της Αθήνας προκύπτει κόστος νερού $K = 0.05 \cdot 7 + 0.015 \cdot 2,7 = 0.4 \text{ U.S.}\$/\text{m}^3$ νερού, δηλαδή γύρω στις **100 δρχ/ m^3** .

Η σημασία ενός τέτοιας έκτασης έργου είναι τεράστια. Όχι μόνο δίνεται η

δυνατότητα στους λιγοστούς νησιώτες-καλλιεργητές να ποτίζουν πιο φτηνά και καλύτερα τις καλλιέργειές τους, αλλά προσφέρεται η προοπτική της αλλαγής ολόκληρης της οικονομίας των νησιών, με όλες τις ενεργητικές της συνέπειες (παλινόστηση των νησιωτών και τόνωση της περιφερειακής ανάπτυξης, αύξηση του βιωτικού επιπέδου, μείωση της ανεργίας και της εποχιακής-ευνκαιριακής απασχόλησης των κατοίκων) σ' αυτή την τόσο ευαίσθητη και ιδιόμορφη περιοχή της πατρίδας μας.

Φυσικά η παραπάνω πρόταση πολύ απέχει από το να γίνει πραγματικότητα' έγινε όμως για να αποτελέσει μία βάση συζήτησης και να δείξει κάποια εφαρμόσιμη δυνατότητα ανάπτυξης μίας από τις φτωχότερες και λιγότερο παραγωγικές περιοχές της Ευρώπης.

Σχήμα 5.5: ΥΔΡΕΥΣΗ ΝΗΣΙΩΝ ΜΕ ΑΣΚΟΥΣ, ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΙΟΥΝΙΟΥ



6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ,
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ,
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Όπως φάνηκε στα προηγούμενα κεφάλαια της εργασίας αυτής, η προοπτική της μεταφοράς μεγάλων ποσοτήτων “γλυκού” νερού παρότι παρουσιάζει ορισμένα τεχνικά αλλά κυρίως οικονομικά προβλήματα, σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατή να αποτελέσει τη βέλτιστη λύση προκειμένου να αντιμετωπιστούν περιπτώσεις σπάνιας λειψυδρίας (π.χ. ύδρευση Αθήνας) αλλά και ριζικής αναδιάρθρωσης της χρήσης γής (άρδευση νησιών).

Έχοντας υπ’ όψιν τις λιγοστές περιπτώσεις μεταφοράς μεγάλων όγκων νερού δια θαλάσσης αλλά και τις δυσκολίες που αυτές αντιμετώπιζαν (δυσβάσταχτο οικονομικό κόστος εξ αιτίας κυρίως της υπερβολικής χρέωσης των μεταφορικών από τις ναυτιλιακές εταιρείες, δυσπιστία καταναλωτικού κοινού κ.λ.π.), η εργασία αυτή προσπάθησε να προτείνει μία εντελώς νέα μέθοδο μεταφοράς του νερού, εναλλακτική της λύσης των δεξαμενοπλοίων, και να την εξετάσει ενδεικτικά σε δύο ζωτικές για τον ελληνικό χώρο εφαρμογές.

Παράλληλα με τα παραπάνω δόθηκε μία συνοπτική περιγραφή τόσο της μεθόδου της **μεταφοράς του νερού με tankers**, όσο και των **εναλλακτικών λύσεων** που μπορούν να προταθούν για την αντιμετώπιση παρομοίων προβλημάτων.

Από τα συμπεράσματα που εξάγονται από αυτή την εργασία ξεχωρίζουμε τα παρακάτω:

1. καταδειχνεται η δυσκολία εφαρμογής λύσεων όπως η μεταφορά νερού είτε με μεγάλα **δεξαμενόπλοια** είτε με τις παραδοσιακές υδροφόρες, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για ύδρευση ή ακόμα περισσότερο για άρδευση
2. υπενθυμίζεται το μεγάλο κόστος που προϋποθέτει η **αφαλάτωση** θαλάσσιου αλλά και υφάλμυρου νερού. Το κόστος αυτό γίνεται απαγορευτικά μεγάλο στην περίπτωση που το νερό θα χρησιμοποιηθεί για αρδευτικούς σκοπούς, τόσο λόγω της μεγάλης ποσότητας νερού που απαιτεί η άρδευση, όσο και λόγω της απαίτησης των γεωργικών εφαρμογών για φτηνό νερό.

3. υπογραμμίζεται το πραγματικά μεγάλο πεδίο εφαρμογής των εξωποτάμιων λιμνοδεξαμενών. Μπορούν να χρησιμεύσουν και για συλλογή ομβρίων υδάτων αλλά και για αποθήκευση νερού που προορίζεται όχι μόνο για να υδρεύσει αλλά και να αρδεύσει άνυδρες και απομακρυσμένες περιοχές με σχετικά μικρό κόστος.

4. τονίζεται η ανάγκη εξέλιξης της υδατικής πολιτικής της χώρας μας, μιας πολιτικής που κατά το παρελθόν έχει οδηγήσει στην εφαρμογή πανάκριβων λύσεων οι οποίες τείνουν να μονιμοποιηθούν και να θεωρείται σχεδόν αδύνατη η αντικατάστασή τους (χαρακτηριστικό παράδειγμα η χρήση των υδροφόρων).

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι τα κριτήρια που πρέπει να διέπουν την επιλογή κατάλληλων λύσεων είναι τα παρακάτω:

1. η **αξιοπιστία** τους (μπορούν να καλύψουν ποσοτικά την ανάγκη; μπορούν να προσφέρουν την απαιτούμενη ποιότητα νερού; είναι επικίνδυνη η εφαρμογή τους;),
2. η **έγκαιρη παράδοσή** τους (ειδικά σε εξαιρετικά επείγουσες εφαρμογές μπορεί να παίζει ακόμα και τον πρώτο ρόλο),
3. η αλληλεπίδρασή τους με το **περιβάλλον** στο οποίο θα εφαρμοστούν (φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις προτιμούνται και σε πολλές περιπτώσεις επιβάλλονται) και φυσικά,
4. το οικονομικό τους **κόστος**.

Στις παραπάνω αρχές θα πρέπει να βασιστεί και τις παραπάνω προοπτικές θα πρέπει να πληρώσει η προσεκτική μελέτη και η αναλυτική έρευνα που **προτείνει** η εργασία για την περίπτωση των ασκών. Η εφαρμογή των προηγούμενων σε περιπτώσεις άρδευσης αλλά και ύδρευσης μπορεί να αποβεί εξαιρετικής σπουδαιότητας.

Ελπίζω το έναυσμα που δόθηκε από αυτές τις σελίδες να αποτελέσει το πρώτο βήμα για περαιτέρω αξιολόγηση των παραπάνω προτάσεων, τόσο αυτής που αφορά στην **ύδρευση της Αθήνας** (προσωρινή - εποχιακή λύση), αλλά πολύ περισσότερο αυτής που εξετάζει τη **μόνιμη άρδευση των νησιών**, όπου βρίσκεται και το κύριο βάρος της εργασίας αυτής.

Τα οφέλη που μπορεί να αποκομίσει η χώρα μας από ένα τέτοιου μεγέθους έργο

είναι αναρίθμητα. Χρησιμοποιώντας “άχρηστο” νερό, που σε κάθε άλλη περίπτωση θα κατέληγε στη θάλασσα, μας δίνεται η ευκαιρία, με μικρό σχετικά τίμημα να μετατρέψουμε άγονες και οικονομικά ανεκμετάλλευτες νησιώτικες εκτάσεις σε παραγωγικά αγροκτήματα, λύνοντας παράλληλα και το οξύ υδρευτικό τους πρόβλημα. Οι προεκτάσεις και οι ευεργετικές συνέπειες που προκαλούνται από τα παραπάνω (απεξάρτηση της οικονομίας των νησιών από τον τουρισμό και η εξέλιξή της σε αγροτική-τουριστική, η δυνατότητα απασχόλησης των νησιωτών σε δωδεκάμηνη βάση κ.λ.π.), έχουν αναφερθεί και προηγούμενα στο **κεφάλαιο 5**.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Shaukat Farooq, A.M. ASCE, & Rashid I. Al-Layla, "***Study of Watter Transportation To Saudi Arabia***", Journal of watter resourses planning and management, 113/3/1987, σελ. 392-404.
- [2] "***French tanker shuttles water to Spain***" (1983). World watter news, 6(10), 8.
- [3] "***MEDIACO MARSEILLES Drinking Watter Export***" (1990).
- [4] Μήτσου Ιωάννης & Νίτσας Γεράσιμος, "***Περιγραφή και αξιολόγηση μεθόδων για την ύδρευση και την άρδευση των νησιών του Αιγαίου***", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Μάρτιος 1991.
- [5] Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. & "ΥΔΩΡ-NOTAPΑΣ Α.Ε.", "***Έργο υδροληψίας στον ποταμό Αχελώο και φόρτωσης***", Κατασκευή έργων υποδομής για τη μεταφορά νερού με TANKERS - στα Άσπρα Σπίτια προς ενίσχυση του υδραγωγείου του Μόρνου (χερσαία έργα), Νοέμβριος 1990.
- [6] Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. , "***Έργο εκφόρτωσης***", Μελέτη-Κατασκευή έργων υποδομής για τη μεταφορά νερού με TANKERS - στα Άσπρα Σπίτια προς ενίσχυση του υδραγωγείου του Μόρνου (χερσαία έργα), Σεπτέμβριος 1990.
- [7] Θεοχάρης Τσούτσος & Δημήτρης Παπαστεφανάκης (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας), "***Ο ρόλος των ήπιων μορφών ενέργειας στην αφαλάτωση του νερού***", Διημερίδα "ΥΔΡΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ", 23-24 Νοεμβρίου 1992.
- [8] Στέφανος Α. Κώνστας, "***Η ανακύκλωση του νερού (μακροπρόθεσμοι στόχοι - Άμεσες και μακροπρόθεσμες ενέργειες)***", Διημερίδα "ΥΔΡΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ", 23-24 Νοεμβρίου 1992.
- [9] Ι. Λεονταρίτης (Διευθυντής Έργων Ύδρευσης Αποχέτευσης Γ.Γ.Δ.Ε./

- Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε.), **“Ενίσχυση της υδροδότησης της Αθήνας από τον Εύηνο”**, Διημερίδα “ΥΔΡΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ”, 23-24 Νοεμβρίου 1992.
- [10] “Γραφείο ΔΟΞΙΑΔΗ Α.Ε.” & Directorate of Border Guards of the Ministry of the Interior of the Kingdom of Saudi Arabia, **“Master Plan Report, MAQNA”**, Border Guards Housing Project.
- [11] Jamieson Cunningham, **“Mobile Desalination Plants”**, Developing World Water, Grosvenor Press International, Hong Kong 1988.
- [12] **“Kingdom of Saudi Arabia - Saline Water Conversion Corporation”**, Developing World Water, Grosvenor Press International, Hong Kong 1988.
- [13] TAHAL Consulting Engineers Ltd., **“Supply of water by sea from Turkey to Israel - Prefeasability study - Draft”**, Tel Aviv October 1989.
- [14] James A. Cran & C. Gaylord Watkins, **“The transportation of very large volumes of fresh water or sewage effluent in flexible barges at sea - Business Plan”**, Calgary March 1990.
- [15] Υ.Π.Ε.ΧΩ.Δ.Ε., **“Εκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού της Βόρειας ακτής του Κορινθιακού Κόλπου μέσω αντλήσεως υπογείων νερών”**, Τεχνικοοικονομική μελέτη διερεύνησης και συγκριτικής αξιολόγησης των δυνατών λύσεων αντιμετώπισης της ύδρευσης του λεκανοπεδίου της Αττικής - Μελέτη Ύδρευσης Αθηνών προς κάλυψη αναγκών μέχρι το 2030, Αθήνα 1990.
- [16] Ν. Διακουλάκης, **“Έργα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με αντίστροφη ώσμωση στα Ελληνικά νησιά”**, ΤΕΧΝΙΚΑ, Οκτ. - Νοεμ. 1987.
- [17] Διεθνές Ναυτιλιακό Επιμελητήριο, **“Διεθνής οδηγός ασφάλειας δεξαμενοπλοίων & τερματικών εγκαταστάσεων πετρελαίου”**, Έκδοση ναυτικών και τεχνικών βιβλίων, London 1978

ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΡΙΑ

Σ' αυτό εδώ το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά:

τους διδάσκοντες του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ.κ. **Δ. Κουτσογιάννη** και **Κ. Μέμο** για την ουσιαστική βοήθεια που μου προσέφεραν ως επιβλέποντες της εργασίας αυτής,

τα αρμόδια τμήματα των Υπουργείων Γεωργίας και Εσωτερικών,

τις μελετητικές εταιρείες "Γραφείο ΔΟΞΙΑΔΗ", "ΕΨΙΛΟΝ" και "ΥΔΩΡ-NOTAPΑΣ", καθώς και το διδάσκοντα του τμήματος Ναυπηγών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Αναστασόπουλο, για τις πληροφορίες που απλόχερα μου έδωσαν από τον Οκτώβριο του 1992, όταν ξεκίνησα την εργασία αυτή.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους εργαζόμενους στις διευθύνσεις Δ4 και Δ6 της Γ.Γ. Δημόσιων Έργων του Υπουργείου ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και τον κ. Κ. Ευριπίδου ειδικότερα, χωρίς τη συνεργασία του οποίου η παρούσα θα ήταν ημιτελής και αποσπασματική.