

**Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πάτρας**  
**Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών**  
**Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής**

---

---

**Πτυχιακή εργασία:**

**Διάχυση λυμάτων στη θάλασσα-Υδραυλική  
των υποθαλάσσιων αγωγών λυμάτων-Έργα  
εκβολής των λυμάτων**

**Επιβλέπων καθηγητής:**  
**Αντρέας Σαραντόπουλος**

**Συντάχθηκε από τους σπουδαστές:**

**Μαρία Λάζαρη**  
**Αιμιλία Σαλίγκου**  
**Κωνσταντίνος Λιβέρης**



---

---

**Πάτρα Φεβρουάριος 2000**

ΑΡΙΘΜΟΣ  
ΣΥΛΛΟΓΗΣ

3021

## **Περιεχόμενα**

Εισαγωγή	1
1. Κριτήρια και παράμετροι μελέτης των υποβρύχιων σωληναγωγών	10
2. Γενικότητες για τους υποβρύχιους αγωγούς	18
3. Συστήματα και μέθοδοι εγκατάστασης των υποθαλάσσιων αγωγών	27
4. Υδραυλικοί υπολογισμοί	72
5. Διάχυση, διασπορά, αραίωση	81
6. Τρόπος εγκατάστασης του σωληναγωγού και υπολογισμός των στοιχείων της	88
7. Εφαρμογή τρόπων διάθεσης λυμάτων σε παραλιακή τουριστική περιοχή	131
8. Περιοχές με μελέτη βιολογικού καθαρισμού με υποβρύχιο αγωγό διαθέσεως των λυμάτων	139
9. Περιοχές με βιολογικό καθαρισμό	157

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### α) Το φαινόμενο της θαλάσσιας ρύπανσης

Το πρόβλημα της θαλάσσιας ρύπανσης τα τελευταία χρόνια στη χώρα μας όσο και σε χώρες του εξωτερικού έχει πάρει μεγάλες διαστάσεις. Στις παραθαλάσσιες περιοχές είναι συνηθισμένο το φαινόμενο τα σπιτικά λύματα, αλλά και τα βιομηχανικά απόβλητα, να χύνονται απευθείας απ' τους αποχετευτικούς αγωγούς στην επιφάνεια της θάλασσας και συνήθως σε κλειστές περιοχές ( π.χ. μέσα σε λιμάνι ) ή πολύ κοντά σε κατοικημένες περιοχές χωρίς καμία ιδιαίτερη μελέτη.

Τα καταστροφικά αποτελέσματα μιας μη δραστηκής αντιμετώπισης του προβλήματος τα διαπιστώσαμε κατά την επίσκεψη μας σε μερικές παραλιακές περιοχές της πόλης των Πατρών.

Αυτά εκδηλώνονται με έντονη ρύπανση ακτών, διαταραχή παράκτιου οικοσυστήματος, με συνέπεια τη δημιουργία άσχημων συνθηκών διαβίωσης του ντόπιου πληθυσμού καθώς και με προφανή μείωση της τουριστικής κίνησης των περιοχών αυτών που επισκεφθήκαμε και προφανώς και άλλων περιοχών στην υπόλοιπη Ελλάδα.

### β) Υδραυλική των υποθαλάσσιων αγωγών εκβολής λυμάτων

Η μελέτη αγωγού εκβολής λυμάτων ή πιο γενικά η μελέτη ενός σοβαρού υδραυλικού έργου όπου εμπλέκονται πολλοί τομείς του τεχνικού επιστητού ανακαλύπτοντας έτσι την αντιδιαστολή μεταξύ της θεωρητικής έρευνας και της εφαρμογής της αλλά και την συμπληρωματικότητα της .

Εδώ και έναν αιώνα περίπου συνέβη κάτι, το οποίο δημιούργησε ένα σημαντικό και σταδιακά αυξανόμενο πρόβλημα.

Πολλές πόλεις απόκτησαν δίκτυα υπονόμων. Το πρόβλημα έγκειται πως και που θα γίνεται η διάχυση των λυμάτων. Δυστυχώς εδώ και έναν αιώνα ο εύκολος τρόπος για τη λύση του προβλήματος είναι η διάχυση των λυμάτων στη θάλασσα.

Φυσικά εκεί ήταν και είναι η τελική κατάληξη γιατί οι μεγαλύτερες πόλεις του κόσμου, ειδικά αυτές που έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην ιστορική εξέλιξη της ανθρωπότητας, ήταν κτισμένες σε ποταμούς και φυσικά όλοι οι υδάτινοι δρόμοι οδηγούσαν στην θάλασσα. Όπως η Ρώμη στον Τίβερη, το Παρίσι, η Ρουέν, η Ντιζόν στον Σηκουάνα, η Μαδρίτη και η Λισσαβώνα στον Τάγο και δεκάδες άλλες.

Η Αθήνα δεν αποτέλεσε εξαίρεση που είχε ( υπό άλλες υδρολογικές συνθήκες ) και έχει τον Κηφισό και τον Ιλισό. Βέβαια τα τέσσερα εκατομμύρια και η συγκέντρωση τόσων δραστηριοτήτων στις υδάτινες αυτές αρτηρίες είναι οι βασικοί λόγοι για τους οποίους θα μας απασχολήσει η περιβαλλοντολογική πλευρά του όλου θέματος.

Τις τελευταίες δεκαετίες αυξάνεται επικίνδυνα ο αριθμός των κατοίκων στις παραθαλάσσιες πόλεις. Επίσης η χρήση της θάλασσας γίνεται όλο και πιο πολύπλευρη. Αναπτύσσονται με ραγδαίους ρυθμούς η κολύμβηση, η συστηματική αλιεία, η ερασιτεχνική ιστιοπλοία, η χρήση σκαφών αναψυχής κ.α. Οι παραπάνω χρήσεις αυξάνουν τα προβλήματα υγιεινής ιδιαίτερα στην κλειστή θάλασσα της Μεσογείου της οποίας οι ακτές φθάνουν μόνον ως κινητός πληθυσμός περίπου 100.000.000 άτομα κάθε χρόνο.

Εξαιτίας όλων των παραπάνω τα προβλήματα της μόλυνσης της θάλασσας αυξήθηκαν πολύ τα τελευταία 20 – 30 χρόνια αναγκάζοντας έτσι τους Διεθνείς Οργανισμούς να προβούν στη σύνταξη κανόνων χρήσεως των θαλάσσιων νερών και διατάξεις καθαρισμού των λυμάτων και άλλων αποβλήτων. Έτσι σε πολλές πόλεις μετά από συνεχείς βελτιώσεις των εγκαταστάσεων καθαρισμού έγινε δυνατή η εκβολή των καθαρισμένων λυμάτων στην θάλασσα και σε άλλους αποδέκτες.

Σε πολλές περιπτώσεις τα καθαρισμένα λύματα πριν την έξοδό τους από τις εγκαταστάσεις καθαρισμού υφίσταντο και έντονη χλωρίωση. Δυστυχώς όμως μετά από επιστημονικές έρευνες αποδείχθηκε ότι η χλωρίωση των καθαρισμένων με βιολογικές μεθόδους λυμάτων δεν καταστρέφει όλους τους μικροοργανισμούς και τους επικίνδυνους ιούς για τον άνθρωπο, όταν δε, δεν έχει γίνει κανονικός βιολογικός καθαρισμός, δημιουργούνται με το χλώριο ενώσεις καταστρεπτικές για την υγεία, κυρίως καρκινογόνες.

Βέβαια στην συγκεκριμένη εργασία θα μας απασχολήσει εκτενέστερα η διάθεση των λυμάτων και η κατασκευή αγωγών εκβολής και όχι τόσο η χημική και μικροβιολογική πλευρά του θέματος.

Οι τεχνικοί επιδιώκουν την διάθεση των λυμάτων σε απομακρυσμένες περιοχές κατασκευάζοντας έτσι αγωγούς εκβολής σε μεγάλη απόσταση από τις ακτές και όσο το δυνατόν πιο μακριά από τις κατοικημένες περιοχές έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια διαδικασία αποθήκευσης και αυτοκαθαρισμού σε κάποια σωστά επιλεγμένη θέση, μέσα στη θάλασσα, από την άποψη των ωκεανογραφικών συνθηκών ( ρευμάτων, θερμοκρασιών, πυκνοτήτων νερού κ.λ.π.).

Ο μηχανικός λοιπόν που θα αναλάβει να μελετήσει ένα έργο εκβολής λυμάτων κατ' αρχήν θα αντιμετωπίσει το υδραυλικό θέμα που υφίσταται στην εκλογή της κατάλληλης τοποθεσίας, του ελαχίστου ανεκτού μήκους και του κατάλληλου για την απαιτούμενη αραιώση του βάρους, στο οποίο πρέπει να τοποθετηθεί ο αγωγός εκβολής. Μετά θα πρέπει να μελετήσει τον καταλληλότερο αγωγό ο οποίος θα μεταφέρει τα λύματα, έτσι ώστε οι βαθμοί αραιώσεως των ρυπαντικών να είναι ανεκτοί και να συμφωνούν με τις προδιαγεγραμμένες χρήσεις του αποδέκτη.

Μετά το τέλος των παραπάνω υπολογισμών θα αρχίσουν τα προβλήματα της πραγματοποίησης του έργου, προβλήματα όπως υδραυλικά, λιμενικά και ακτομηχανικής, όπως η εκλογή των κατάλληλων σωλήνων, ο τρόπος ασφαλούς τοποθέτησης τους, η προστασία τους από τον κυματισμό, οι κίνδυνοι διαβρώσεως, οι δυνατότητες συντηρήσεως τους.

Ο πολιτικός μηχανικός καλείται να επιλύσει όλα τα παραπάνω προβλήματα.

### γ) Βασικές άρχες ωκεανογραφίας – μετεωρολογίας-γεωλογίας

Απαραίτητα στοιχεία για την πραγματοποίηση της μελέτης είναι στοιχεία ανέμων και στοιχεία διευθύνσεως και ταχύτητας των ρευμάτων. Αυτά λαμβάνονται επί μήνες ανά δεκαήμερα μηνιαίως σε διάφορες θέσεις οι οποίες πρέπει να καθορίζονται πλήρως στην οριζοντιογραφία.

Επίσης απαραίτητη είναι η εγκατάσταση παλιρροιογράφου για τον καθαρισμό της διάρκειας πλήμης και αμπώτιδας, των ακραίων τιμών τους, του χρόνου εμφανίσεως τους, του εύρους της παλίρροιας κ.λ.π.

Σημαντικό ρόλο παίζει η γνώση των κυματισμών, των μεγεθών και των συχνοτήτων τους. Με τη βοήθεια κυματογράφου υπολογίζονται οι επικρατέστεροι και δυσμενέστεροι κυματισμοί, η μετάδοση τους από τα ανοιχτά έως τα ρηχά (ρήχωση – διάθλαση), οι ζώνες θραύσεως του κύματος και οι παράμετροι σχεδιασμού.

Θα πρέπει να πραγματοποιηθούν οπωσδήποτε οι έξης βασικές έρευνες :

#### I. Προσδιορισμός συμπεριφοράς θερμοκλινούς

Για να υπολογισθεί η διάχυση των αποβλήτων και για να αποφευχθεί η παγίδευση τους κάτω του θερμοκλινούς με συνέπεια την καταστροφή του πυθμένα πρέπει να προσδιορισθεί πλήρως το θερμοκλινές στρώμα και το βάθος στο οποίο υπάρχει.

Ο τρόπος συμπεριφοράς του θερμοκλινούς γίνεται με τη συλλογή δειγμάτων νερού σε πλέγμα σταθμών από διάφορα βάθη στην περιοχή στάθμης. Πραγματοποιείται μέτρηση της θερμοκρασίας και της αλατότητας και υπολογίζεται η πυκνότητα σε κατακόρυφες στήλες.

## II. Γεωλογική και γεωτεχνική έρευνα

Ο κύριος σκοπός αυτής της έρευνας είναι ο προδιορισμός της γεωλογίας του πυθμένα και των γεωτεχνικών ιδιοτήτων των ιζημάτων του πυθμένα.

Αυτό επιτυγχάνεται με την λήψη πυρονοληψιών 2 –3 m σε τρία τουλάχιστον σημεία ή με όργανο ακουστικής διασκόπησης. Η διασκόπηση του πυθμένα γίνεται κατά μήκος παράλληλων γραμμών και καθέτων προς τον άξονα του αγωγού σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους.

Φυσικά μια εξέταση με δύτη είναι απολύτως απαραίτητη γιατί δίνει πάντα μια ζωντανή μαρτυρία για την κατάσταση του πυθμένα.

## III. Χαρτογράφηση του θαλάσσιου πυθμένα

Η χαρτογράφηση γίνεται κατά μήκος του αγωγού εκβολής σε παράλληλες και κάθετες γραμμές προς τον άξονα του αγωγού. Συνήθως η χαρτογράφηση γίνεται με ηχοβολιστικές συσκευές.

Ο προσδιορισμός της θέσεως του σκάφους γίνεται από τοπογραφικό συνεργείο στην ξηρά. Απαραίτητη είναι η μηκοτομή του άξονα του αγωγού.

Είναι πολύ σημαντική η ακριβής βυθομέτρηση και η σύνταξη χάρτη του πυθμένα. Μεγάλη σημασία έχει η σύνδεση της βυθομέτρησης προς την αποτύπωση της ξηράς. Και αυτό γιατί οι υπηρεσίες που συντάσσουν τον βυθομετρικό χάρτη δίνουν τα βάθη με απόλυτο μηδέν από κάποια μέση ρηχία.

Βέβαια η θεωρητική μέση ρηχία πρέπει να ορισθεί κατά την ημερομηνία της βυθομετρήσεως και να συνδεθεί με υψομετρικές αφετηρίες της ξηράς ώστε να έχουν κοινό επίπεδο αναφοράς τόσο τα υψόμετρα όσο και οι συντεταγμένες των διαφόρων οδεύσεων.



#### IV. Μετρήσεις ρευμάτων

Με το σκοπό να καταγράφεται η ταχύτητα και η διεύθυνση του ρεύματος σε δύο τουλάχιστον θέσεις του αγωγού απαραίτητη είναι η εγκατάσταση ρευματογράφου τύπου αυτογραφικού. Οι μετρήσεις σε κάθε θέση θα πρέπει να διαρκούν περίπου 20 ημέρες.

Στην συνέχεια τα καταγραφόμενα στοιχεία στις παραπάνω θέσεις θα τύχουν κατάλληλης επεξεργασίας για να γίνει δυνατός ο προσδιορισμός των :

- Τα ροδογράμματα διευθύνσεων και ταχυτήτων σε σχέση με τις μεταβολές στάθμης από την αντίστοιχη έρευνα.
- Τα διαγράμματα των διαδοχικών ανυσμάτων.

Από τα παραπάνω στοιχεία θα προκύψουν οι επικρατούσες διευθύνσεις και ρευμάτων, καθώς και η συνισταμένη κινήσεως ενός μορίου ύδατος.

#### V. Εγκατάσταση παλιρροιομέτρου

Απαραίτητη είναι η εγκατάσταση παλιρροιομέτρου σε κατάλληλη θέση παρά την ακτή κοντά στον αγωγό. Κοντά στο παλιρροιομέτρο θα εγκατασταθεί χωροσταθμική αφετηρία.

Το παλιρροιομέτρο θα λειτουργήσει επί 31 ημέρες τουλάχιστον και από την επεξεργασία των μετρήσεων του θα πρέπει να υπολογισθούν :

1. Η διάρκεια της πλήμμης και της αμπώτιδας.
2. Το εύρος της παλίρροιας.
3. Ο χρόνος εμφανίσεως της μέγιστης πλήμμης και της ελάχιστης αμπώτιδας.

Παράλληλα θα πρέπει να συσχετιστούν τα ρεύματα ( ταχύτητα και διεύθυνση ) με την παλιρροιακή μεταβολή της στάθμης της θάλασσας.

## VI. Ανεμολογικά στοιχεία

Μεγάλη σημασία έχει και η αναζήτηση των διευθύνσεων και ταχυτήτων των ανέμων που έπνεαν κατά την διάρκεια των μετρήσεων των ρευματογράφων και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του παλιρροιομέτρου, ώστε να καταστεί δυνατή η συσχέτιση με την μεταβολή της στάθμης της θάλασσας.

Συνήθως γίνεται μια πλήρης μελέτη των ανέμων η οποία είναι αρκετά χρήσιμη για τον υπολογισμό του κύματος σχεδιασμού των έργων με τις συχνότητες των διαφόρων διευθύνσεων ( Ροδόγραμμα Ανέμων ) και των διαφόρων εντάσεων.

## VI. Υπολογισμός κυμάτων

Η πιο σύνηθες καταπόνηση του υποθαλάσσιου αγωγού γίνεται κυρίως από τα κύματα τα οποία παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαστασιολόγηση των έργων προστασίας και ευστάθειας του αγωγού.

Αυτός είναι ο πιο βασικός λόγος για τον οποίο πρέπει να υπολογισθούν προσεχτικά :

1. Οι επικρατέστεροι και δυσμενέστεροι κυματισμοί που αναπτύσσονται στην περιοχή.
2. Η μετάδοση των επικρατέστερων κυματισμών από τα βαθιά έως τα ρηχά ( Ρήχωση – Διάθλαση ) με μαθηματικό μοντέλο.
3. Οι παράμετροι σχεδιασμού κύματος σε διάφορες θέσεις.

## VIII. Αξιοποίηση στοιχείων βασικών ερευνών – ποιοτικές παρατηρήσεις

### 1. Αλλαγές πυκνότητας

Η πρώτη ανάλυση που πρέπει να γίνει είναι στις πυκνότητες του νερού που έχουν ληφθεί σε διάφορες θέσεις κατά μήκος δύο και τριών αξόνων κάθετα προς την ακτή και σε διάφορα βάθη είτε οφείλονται στην διαφορετική αλατότητα είτε στην διαφορετική θερμοκρασία.

Ο Γάλλος μηχανικός B. Quetin αναφέρει σε μία από τις εργασίες του ότι η μάζα ενός κυβικού μέτρου θαλασσίου νερού έχει βρεθεί :

- στους 14 C ίση με 1,026215 t / m<sup>3</sup>
- στους 15 C ίση με 1,025985 t / m<sup>3</sup>

Βγάζει έτσι το συμπέρασμα ότι αρκεί η διαφορά 1 C για να υπάρξει μείωση της πυκνότητας κατά 230 gr / m<sup>3</sup>. Η διαφορά αυτή είναι ικανή να κάνει το νερό ΕΠΙΠΛΕΥΣΙΜΟ κρατώντας το στην επιφάνεια ή αντιθέτως να το βυθίσει στο βάθος κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας ( 20 – 40 m ) όπου βρίσκεται το θερμοκλινές.

Τις νυχτερινές ώρες η ψύξη του επιφανειακού νερού θα μπορούσε να ανατρέψει την ανοδική πορεία των αραιωμένων με λύματα θαλάσσιων νερών προς την επιφάνεια. Η διαφορά πυκνότητας των λυμάτων (  $\rho = 0,998$  έως  $\rho = 0,999$  ) από την πυκνότητα του θαλασσίου νερού είναι φυσικό να δημιουργεί άνοδο των θυσάνων λυμάτων ( πλουμίου, νέφους των αερίων ).

## 2. Τα ρεύματα

Τα θαλάσσια ρεύματα είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες μετατοπίσεως και εν συνεχεία διασποράς των λυμάτων μετά την έξοδό τους από τους αγωγούς εκβολής.

Αν επομένως ο μελετητής έχει πλήρη γνώση των ρευμάτων διευθύνσεως και ταχύτητας μπορεί να προβλέψει τις τροχιές του πλουμίου των λυμάτων και του « λυματικού πέδιου » ( της επιφανειακής κηλίδας ).

Η έρευνα των ρευμάτων έχει αρχίσει πρόσφατα και δεν υπάρχουν στοιχεία συνεχή, γιατί αυτά που ενδιαφέρουν τα θέματά μας είναι τα ασθενή ρεύματα και δη των παρακτίων ζωνών, τα οποία δεν απασχόλησαν τους κατασκευαστές λιμενικών έργων, ώστε να υπάρχουν σειρές παρατηρήσεων.

Βέβαια τα τελευταία χρόνια το Ωκεανογραφικό Ινστιτούτο ( Ε.Κ.Θ.Ε. ) και το Ε.Μ.Π. έχουν αρχίσει έρευνες και συστηματικές καταγραφές των ρευμάτων σε διάφορα σημεία της χώρας όπου γίνονται θαλάσσια έργα. Η συσχέτιση των ρευμάτων με τους ανέμους αποδεδειγμένη για το επιφανειακό στρώμα, μελετάται τα τελευταία χρόνια με μαθηματικές παρομοιώσεις γιατί είναι κατ'αρχήν πολύ ασθενή και η περιστροφική κίνηση της Γης υπεισέρχεται με τη δύναμη CORIOLIS η οποία πλέον είναι αμελητέα.

# 1. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ ΣΩΝΗΝΑΓΩΓΩΝ

## 1.1 Προορισμός και Τρόπος Λειτουργίας του Αγωγού.

Από την σκοπιμότητα και τη λειτουργία του έργου, στο οποίο θα ενταχθεί ο υποβρύχιος αγωγός πρέπει να είναι γνωστοί οι ακόλουθοι παράμετροι που είναι απαραίτητοι για την επιλογή του υλικού του αγωγού και τους ελέγχους ευστάθειας και εντατικής καταστάσεως τους :

- Ειδικό βάρος, χημική σύσταση και θερμοκρασία του ρευστού ( υγρού ή αερίου ) ή των ρευστών που θα μεταφέρονται από τον αγωγό.
- Ειδικό βάρος, χημική σύσταση θαλασσινού ή γλυκού νερού στο οποίο θα βρίσκεται βυθισμένος ο αγωγός. (Το υλικό κατασκευής του αγωγού πρέπει αφ' ενός μεν να μην αλλοιώνεται από το ρευστό που κυκλοφορεί σ' αυτόν αλλά και να προλαμβάνεται η διάβρωσή του από το περιβάλλον του ).
- Πιεζομετρικό ύψος - παροχή, ταχύτητα ροής, μήκος αγωγού, καμπύλες, πιθανές αλλαγές διαμέτρων, διακλαδώσεις, σύνδεση με αντλητικά συγκροτήματα και λοιπά υδραυλικά χαρακτηριστικά ανάλογα με τον προορισμό του αγωγού.

- Περίπτωση εκκενώσεως του αγωγού.
- Επιπτώσεις από ζημία σε τμήμα του αγωγού.

## 1.2 Φυσικές Συνθήκες

Η συγκέντρωση πληροφοριών για την κατά το δυνατόν ακριβέστερη γνώση των φυσικών συνθηκών στην περιοχή εγκαταστάσεως του αγωγού και τον καθορισμό των φορτίων του περιβάλλοντος, είναι απαραίτητη για τον σχεδιασμό.

Οι πληροφορίες αυτές και συνήθως η απαιτούμενη συμπλήρωση τους με επί τόπου μετρήσεις και ερευνητικές εργασίες, αφορούν :

1. Την μορφολογία της ακτής.
2. Την βυθομετρία της ευρύτερης περιοχής εγκαταστάσεως του αγωγού και την αποτύπωση με μεγάλη σχετικά ακρίβεια της μηκοτομής στον άξονα χαράξεως του.
3. Την ποιότητα πυθμένα.
4. Την στερεομεταφορά φερτών.
5. Τις παλίρροιες.

6. Τα ρεύματα.
7. Τους ανέμους.
8. Τους κυματισμούς.
9. Τους σεισμούς.
10. Τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος και ύδατος και τις διακυμάνσεις του.

Το τμήμα της δομικής μελέτης με τις μεγαλύτερες ασάφειες αφορά στην εκτίμηση των δυνάμεων που θα ασκηθούν στον αγωγό. Οι δυνάμεις που προκύπτουν από τον ίδιο τον αγωγό και τα διοχετευμένα λύματα είναι εύκολο να εκτιμηθούν αλλά δεν συμβαίνει το ίδιο με τις περιβαλλοντικές δυνάμεις που προκύπτουν από τον κυματισμό και τα ρεύματα.

Οι δυνάμεις αυτές έχουν μη μόνιμο, στοχαστικό, χαρακτήρα και δρουν άμεσα στον αγωγό ή και έμμεσα με τις μεταβολές που επιφέρουν στον πυθμένα.

Πολύ συχνά οι σοβαρότατες περιβαλλοντικές δυνάμεις προκύπτουν από την κίνηση μεγάλων μακράς περιόδου κυμάτων από τα βαθιά νερά στα ρηχά, πράγμα άλλωστε που συνήθως καθιστά το αβαθές τμήμα του αγωγού το περισσότερο ευαίσθητο.

Σοβαρά προβλήματα μπορεί επίσης να δημιουργήσει τυχόν ρευστοποίηση του υλικού του πυθμένα έδρασης του αγωγού. Στην περίπτωση αυτή ο αγωγός θα πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να παραμένει ευσταθής στον ρευστοποιημένο πυθμένα με εφαρμογή κατάλληλων αγκυρώσεων.

Σημειώνεται επίσης ότι η εγκατάσταση του αγωγού συνεπάγεται πολλές φορές σοβαρές προσωρινές δυνάμεις που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό.

Η θάλασσα αποτελεί διαβρωτικό περιβάλλον. Το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπισθεί με χρησιμοποίηση σωλήνων από μη διαβρώσιμο υλικό π.χ. πλαστικό, ή με την εφαρμογή ειδικών αντιδιαβρωτικών μέτρων.

Έτσι, στην περίπτωση μεταλλικών αγωγών εφαρμόζεται προστατευτική επικάλυψη ή καθοδική προστασία, συχνά δε και τα δύο μέτρα.

Οι προστατευτικές επικαλύψεις κλιμακώνονται από τις λεπτές αποξειδωτικές βαφές μέχρι τις παχιές επιστρώσεις με ασφαλτικά κονιάματα.

Η τοποθέτηση του υποβρυχίου αγωγού σε τάφρου είναι γενικά επιθυμητή δεδομένου ότι τον προστατεύει από την άμεση επίδραση του κύματος, από διαβρώσεις του πυθμένα από σεισμούς και από άγκυρες πλοίων. Επίσης επιτρέπει την



ευθυγράμμιση του στην περίπτωση που ο πυθμένας έχει βραχώδεις εξάρσεις.

Εντούτοις η τοποθέτηση σε τάφρο είναι γενικά δαπανηρή και εφαρμόζεται στο μέτρο που επιβάλλουν τα παραπάνω προβλήματα.

Υπάρχει ποικιλία μεθόδων εκσκαφής και τοποθέτησης του αγωγού. Η επιλογή γίνεται σε συνάρτηση με το είδος του υλικού, το βάθος του πυθμένα και της τάφρου, ακόμη δε σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά του αγωγού ( υλικό, διάμετρος ).

Η εκσκαφή γίνεται με κοπή ή διάβρωση και άντληση του εδαφικού υλικού.

Όταν η τάφρος διανοίγεται πριν την τοποθέτηση του αγωγού, ο εκσκαπόμενος όγκος μπορεί να είναι πολύ μεγάλος εξαιτίας της μικρής κλίσης των πρανών ( συνήθως 5 : 1 μέχρι 20 : 1 ). Η τάφρος μπορεί να διανοίγει με εκτόξευση φλέβας νερού και άντληση μετά την τοποθέτηση του αγωγού στον πυθμένα. Ο σχετικά εύκαμπος αγωγός παίρνει αμέσως τη θέση του στην τάφρο ακολουθώντας το μηχάνημα διάνοιξης.

Ο υδραυλικός σχεδιασμός του υποβρυχίου αγωγού και διαχυτήρα αποτελεί σοβαρή συνιστώσα του όλου σχεδιασμού.

Η διάμετρος του διαχυτήρα ελαττώνεται γενικά προς τα κατάντη ώστε να διατηρείται η ταχύτητα των λυμάτων σε επίπεδα που εξασφαλίζουν τον αγωγό από αποθέσεις στερεών αλλά και για λόγους οικονομίας.

Γενικά πάντως τοποθετείται θυρόφραγμα στο τέρμα κάθε σκέλους του διαχυτήρα ώστε να είναι δυνατή η εκπλυσή του.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι ο διαχυτήρας θα εργάζεται ως αγωγός υπό πίεση θα πρέπει το εμβαδόν της κάθε διατομής του διαχυτήρα να είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα των εμβαδών των κατάντη στομιών.

Η εμπειρία συνιστά λόγους εμβαδού στομιών προς εμβαδό διατομής διαχυτήρα στο διάστημα  $1/3 - 2/3$ .

## 1.2 Υλικά Αγωγού, Προστατευτικών Περιβλημάτων, Επενδύσεων και Πρόσθετων Βαρών .

Η ευστάθεια του βυθισμένου αγωγού, εξαρτάται άμεσα και από τα ίδια βάρη των υλικών από τα οποία έχει κατασκευαστεί ο ίδιος, οι τυχόν επενδύσεις και πρόσθετα βάρη που τον περιβάλλουν.

Πέραν όμως από τα ειδικά βάρη των υλικών αυτών, πρέπει να είναι γνωστές και οι χημικές και μηχανικές ιδιότητές τους.

Οι επιτρεπόμενες τάσεις των υλικών του αγωγού και των τυχόν επενδύσεων του σε σχέση με το μέτρο ελαστικότητας που καθορίζουν και την επιτρεπόμενη καμπυλότητά του, είναι παράμετροι που έχουν ιδιαίτερη σημασία και μπορούν να κατατάξουν τους υποβρύχιους αγωγούς σε δυο κατηγορίες, δηλαδή σε εύκαμπτους και σε δύσκαμπτους.

### 1.3 Διαθεσιμότητα Υλικών - Πλωτού Εξοπλισμού και Εργοταξιακού Χώρου στην Ακτή – Μεθοδολογία Εγκαταστάσεως του Αγωγού.

Η δυνατότητα ορθής υλοποιήσεως ενός έργου με οικονομικά αποτελέσματα, καθορίζει και την επιτυχία των επιλογών και των υπολογισμών που έγιναν στην φάση της μελέτης.

Γι' αυτό σ' αυτή τη φάση θα πρέπει να έχουν ληφθεί υπόψη:

- Η δυνατότητα προμήθειας του υλικού του αγωγού στον προβλεπόμενο χρόνο για την εμπρόθεσμη εκτέλεση του έργου ( π.χ. εκτέλεση παραγγελίας ορισμένων ειδικών

επενδύσεων σε υποβρύχιους αγωγούς, απαιτούν μεγάλους χρόνους παραδόσεως ).

- Η ύπαρξη λίθινων υλικών (π.χ. από λατομεία της περιοχής) σε περίπτωση επιλογής λύσεως που απαιτεί θάψιμο του αγωγού με τέτοια υλικά.
- Ο διαθέσιμος πλωτός εξοπλισμός και εργοταξιακός χώρος στην ακτή, είναι οι καθοριστικοί παράγοντες για να ακολουθηθεί λύση δύσκαμπτων ή εύκαμπτων αγωγών.
- Η μεθοδολογία εγκαταστάσεως των υποβρυχίων αγωγών σχετίζεται άμεσα με τον διαθέσιμο εξοπλισμό και εργοταξιακό χώρο, είναι δε βασικός παράγοντας στην επιτυχή εκτέλεση του έργου. Πρέπει όμως η μεθοδολογία αυτή να είναι γνωστή από την φάση της μελέτης. Ο αγωγός στις ενδιάμεσες φάσεις της κατασκευής του και ιδιαίτερα κατά την πόντισή του υπόκειται σε διαφορετικές φορτίσεις από εκείνες της τελικής φάσεως λειτουργίας του. Οι απαιτούμενοι έλεγχοι ασφαλείας ( μη υπερβάσεως επιτρεπομένων τάσεων των υλικών αγωγού και επενδύσεων) και ευστάθειας, προκύπτουν μόνον αν είχαν προκαθοριστεί με ακρίβεια τα στάδια που ακολουθεί η κάθε φάση εργασίας και οι θέσεις που παίρνουν τα διάφορα τμήματα του αγωγού σε συνδυασμό και με τη χρήση των λοιπών βοηθητικών μέσων ποντίσεως που πιθανόν να χρησιμοποιηθούν ( όπως πλωτήρες, ράουλα, βαρούλκα έλξεως κ.λ.π. ).

## 2. ΓΕΝΙΚΟΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ

Όσον αφορά στην φάση της λειτουργίας, οι αγωγοί εγκαθίστανται υποβρύχια με ένα ή συνηθέστερα με συνδυασμό περισσοτέρων του ενός από τους ακόλουθους τρόπους:

α) Θάβονται μέσα σε αύλακα ( τάφρο ) που έχει ανοιχτεί κατά μήκος του αγωγού στον πυθμένα.

β) Εδράζονται, χωρίς προηγούμενη εκσκαφή του πυθμένα και στην συνέχεια θάβονται επικαλυπτόμενοι σε όλο το μήκος τους, συνήθως με λίθινα υλικά ( λιθοσυντρίμματα, λιθορριπές, φυσικούς ογκόλιθους κ.λ.π. κατά περίπτωση) ή με προκατασκευασμένα στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα ( πλάκες, ημιδακτύλιους κ.λ.π. ).

γ) Εδράζονται όπως και στην προηγούμενη περίπτωση στον πυθμένα, χωρίς όμως να επικαλυφτούν στην συνέχεια. —

Στην περίπτωση αυτή προϋποτίθεται ότι το « βάρος » του αγωγού μαζί με το βάρος του υλικού που μεταφέρει, εξασφαλίζει την ευστάθεια του καθ' όλο το μήκος του.

( Αμετακινήτοτητα υπό την επίδραση δυνάμεων που δρουν πάνω στον αγωγό, όπως π.χ. ανώσεως, ρευμάτων, κυματισμών).

δ) Σπάνια σε ειδικές μόνο περιπτώσεις, ή για μικρά μόνο τμήματα, υποβρύχιοι αγωγοί διέρχονται σε κάποιο ενδιάμεσο βάθος μεταξύ πυθμένα και επιφάνειες της θάλασσας

ανηρτημένοι ή στηριγμένοι σε ειδικές κατασκευές στηρίξεως τους ).

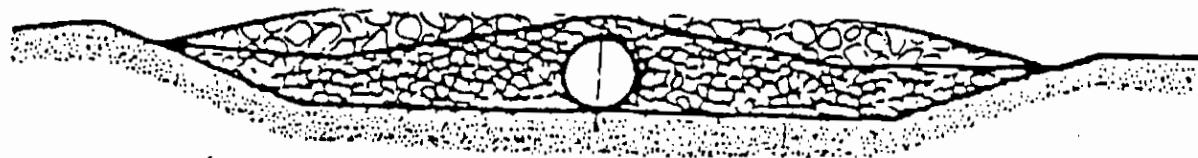
Οι λύσεις ταφής των αγωγών τόσο με τον τρόπο (β) πολύ δε περισσότερο με τον τρόπο (α) στον οποίο απαιτείται και εκσκαφή αύλακα, είναι δαπανηρές.

Ιδιαίτερα σε μεγάλα βάθη και σε βραχώδεις πυθμένες η λύση (α) δεν είναι εφικτή . Το θάψιμο των υποβρύχιων αγωγών στα βαθιά νερά, απαιτείται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις ( όπως προστασίας από άγκυρες πλοίων, ή από δίκτυα ψαράδων ), ανάλογα βέβαια και με το υλικό κατασκευής του αγωγού και της επενδύσεώς του.

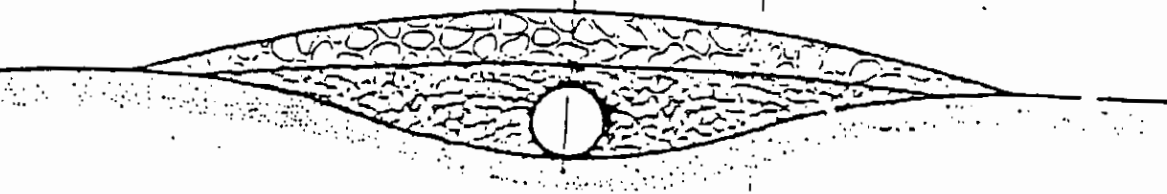
## 2.1 Προτεινόμενο Υλικό Σωλήνων

Για το υλικό των σωλήνων προτείνεται υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο προέλευσεως εξωτερικού.

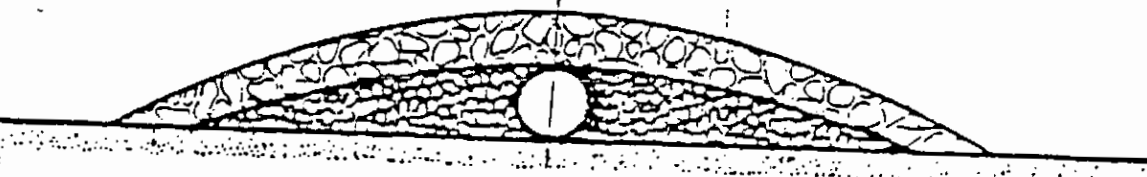
Οι σωλήνες από πολυαιθυλένιο πλεονεκτούν σε σχέση με τους σωλήνες από άλλα υλικά. Τόσο στην απλότητα της κατασκευής, όσο και από τεχνική - λειτουργική άποψη.



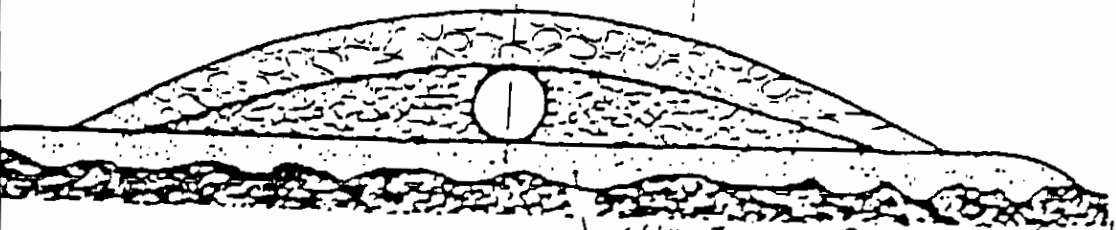
Απειρα κλυβακτής σε τάρσο.



Λύκος σε τάρσο που έχει ανοικτή με είσοδο νερού (Jetting)

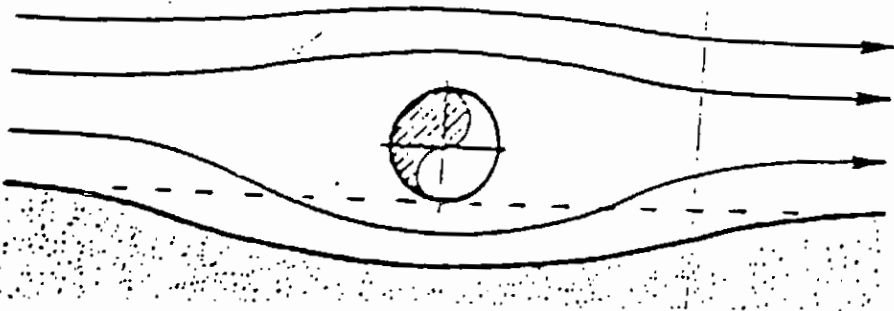
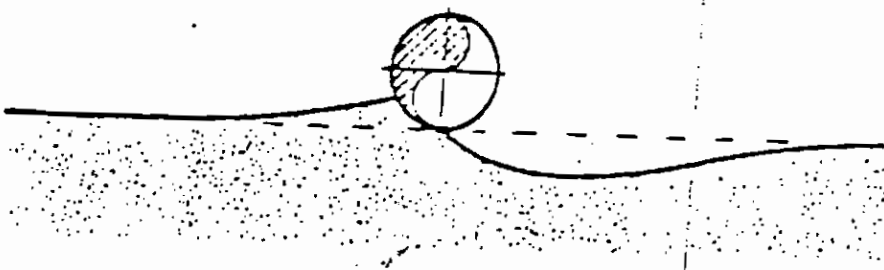
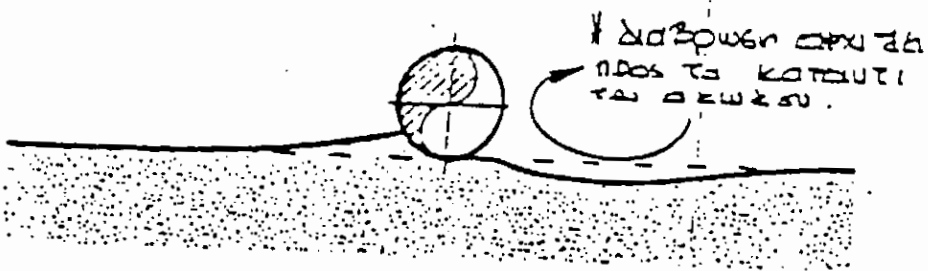
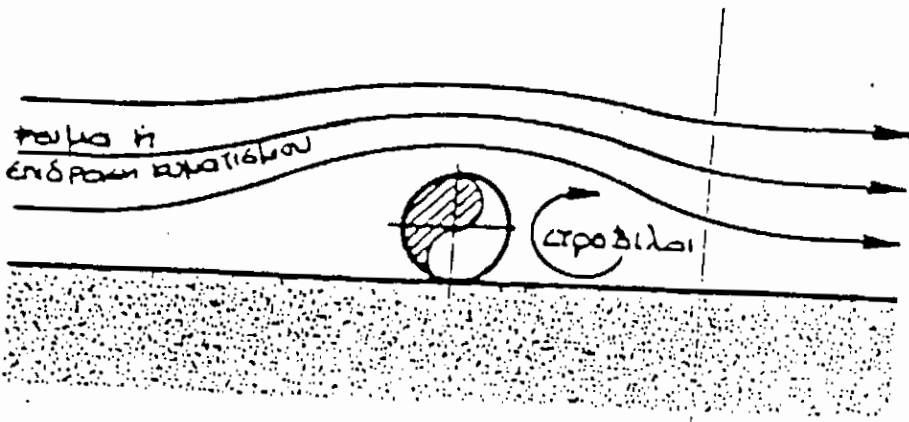


Λύκος εσωτερικός εν ελάσας του πυρήνα

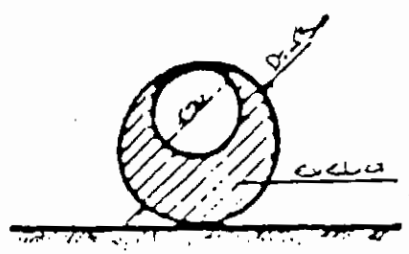


Επίπλοτα ελάσας του πυρήνα που έχει ανοικτή εν αλάσας.

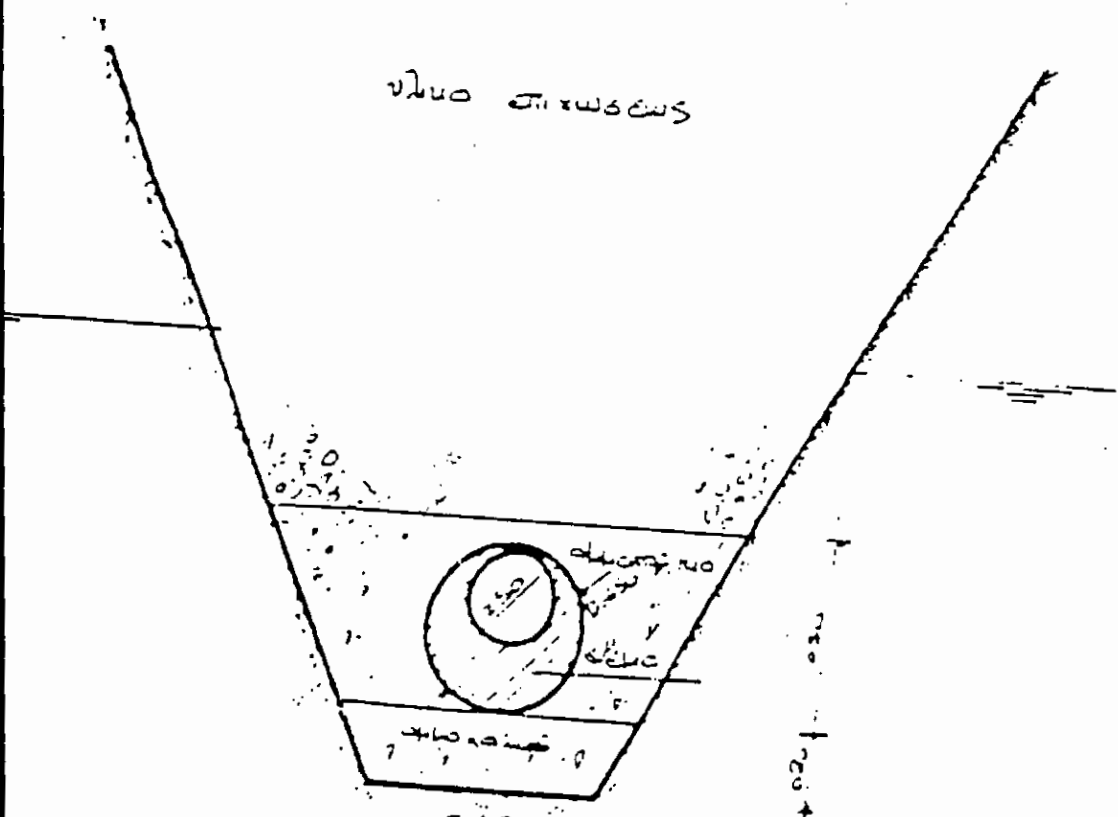
σε γάλακτος αυχάλος κλυκία



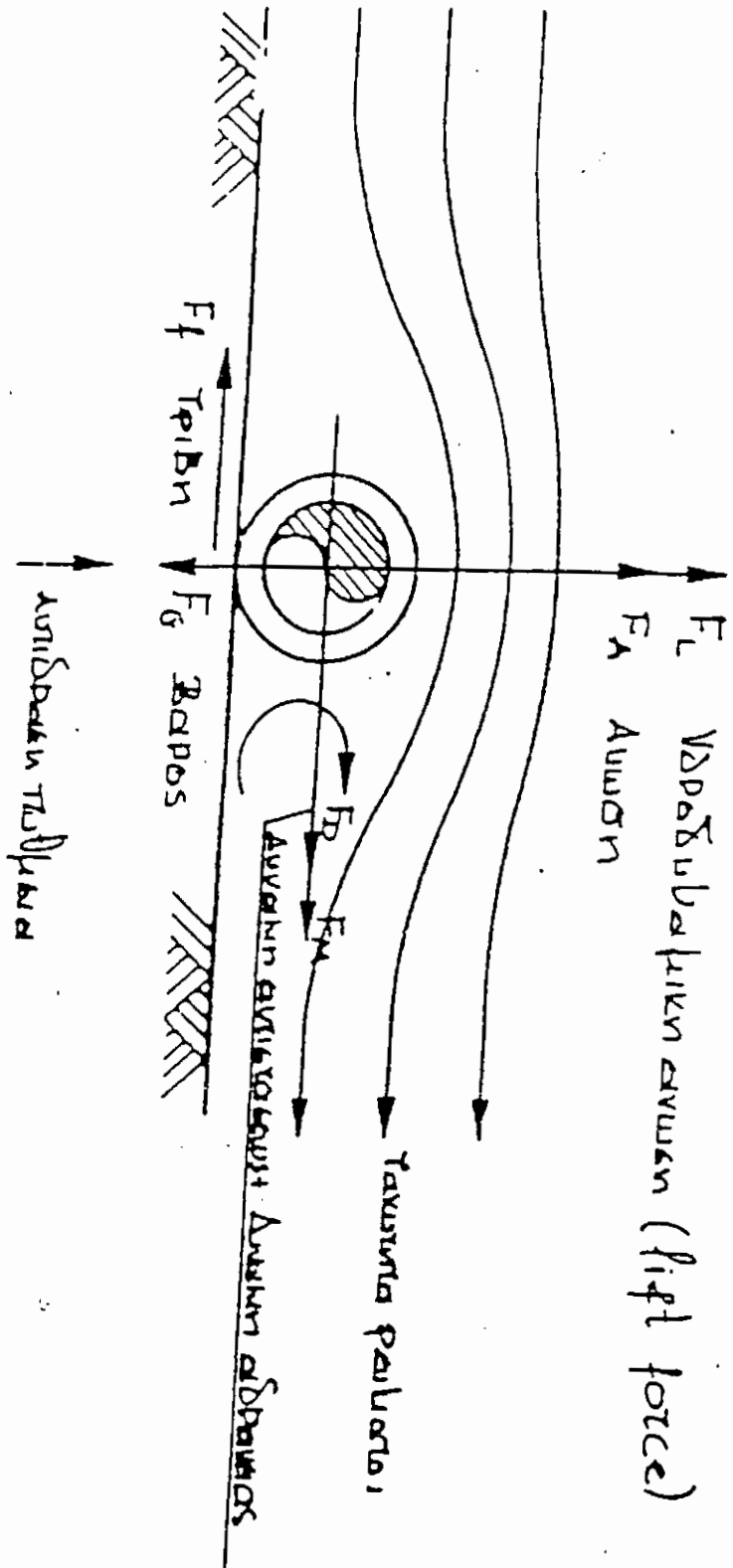




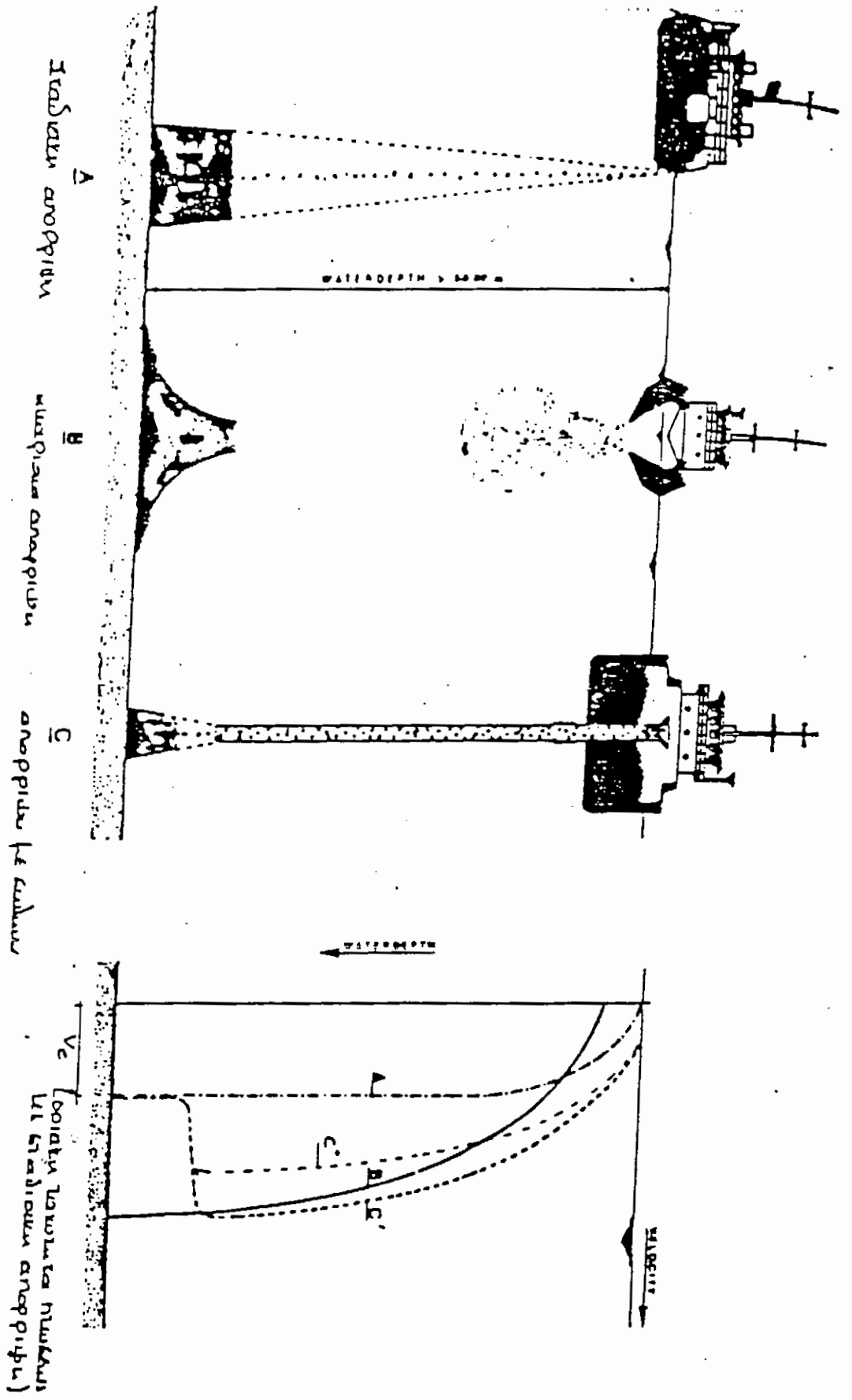
Τύπια διατάξη ωθημένου  
 αγωγού εδραζομένου  
 στον πυθμένα.



Τύπια διατάξη αγωγού σε  
 τμήμα με κλίση από την  
 είσοδο



Αύωση σε υποβρυχίο κύριο τμήμα  
 Προέκυψε από παλιό και κύματα.



Α  
Ισάδια ανόρθη

Β  
κλιμακωτά ανόρθη

Γ  
ανόρθη με σελήνη

Τακτωτα κλιμακωτά  
ηλ τω κλιμακωτά ανόρθη  
Απορθη με σελήνη  
αυτοδία

VE  
[ομοία τακτωτα κλιμακωτά  
ηλ κλιμακωτά ανόρθη]

Οι σωλήνες πολυαιθυλενίου παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή σε διαβρωτικό περιβάλλον, είναι ελαφρείς και πολύ εύκαμπτοι. Το μικρό τους βάρος (ελαφρότεροι από το νερό) έχει σαν αποτέλεσμα ευκολία χειρισμών κατά τη διάρκεια κατασκευής.

Η ευκαμψία τους επιτρέπει την προσαρμογή τους στο σχήμα του πυθμένα και την ακίνδυνη σταδιακή πόντιση τους, όταν κατά τη διάρκεια κατασκευής γεμίζουν με νερό.

Ο κατασκευαστής μπορεί να επιλέξει μια εύκολη και προπαντός γρήγορη μέθοδο τοποθέτησης των σωλήνων στο πυθμένα με ελαχιστοποίηση των υποβρυχίων εργασιών.

Επίσης υπάρχει το πλεονέκτημα της αντοχής των σωλήνων σε δυνάμεις που οφείλονται σε κυματισμούς και ρεύματα.

Με επιλογή άλλου άκαμπτου υλικού θα έπρεπε να εξασφαλιστεί σταθερή θεμελίωση και αγκύρωση ώστε να μην επιτραπεί η παραμικρή μετακίνηση του σωλήνα.

Αντίθετα η σχετική ευκαμψία του πολυαιθυλενίου επιτρέπει την τοποθέτηση τους ακόμα και σε μικρά βάθη χωρίς να επηρεάζεται έντονα από τους κυματισμούς.

Ακόμα ένα μεγάλο πλεονέκτημα των σωλήνων πολυαιθυλενίου είναι η συνέχεια του υλικού. Είναι δυνατόν να παραχθεί και επί τόπου σε όσο μήκος είναι επιθυμητό.

Τελικά τα μήκη που προσφέρεται ο σωλήνας εξαρτώνται από τον τρόπο μεταφοράς. Αν γίνει εισαγωγή από το εξωτερικό είναι πιθανό να έρθει σε δωδεκάμετρα. Η σύνδεση των τεμαχίων μεταξύ τους γίνεται με θερμοσυγκόλληση ή με φλάτσες.

Μειονέκτημα των παραπάνω σωλήνων μπορεί να θεωρηθεί σήμερα το μικρό τους βάρος, επειδή υπάρχει ο κίνδυνος σε περίπτωση εισόδου αέρα, να ανυψωθούν στοιχεία του αγωγού και τελικά να επιπλεύσουν στην επιφάνεια.

Θα πρέπει να ληφθεί όμως ιδιαίτερη μέριμνα για την αποφυγή τέτοιων κινδύνων κατά την κατασκευή.

Άλλοι σωλήνες κατασκευής του υποβρύχιου αγωγού οι οποίοι μειονεκτούν σε σχέση με τον παραπάνω είναι :

- Σωλήνες από ανοξείδωτο χάλυβα
- Χυτοσιδηροί σωλήνες

### 3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΣΩΛΗΝΑΓΩΓΩΝ.

Η τεχνική επιβάλλει σήμερα χρήση των σωληναγωγών για:

- α) τη διοχέτευση στη θάλασσα των ακαθάρτων ή και κατά ένα βαθμό καθαρών, υγρών αποβλήτων των εργοστασίων και των λυμάτων των πόλεων.
- β) την άντληση και παροχέτευση θαλασσίου νερού για αφαλατώσεις, πισίνες, ψύξεις μηχανών κ.λ.π.
- γ) την παροχέτευση υγρών καυσίμων και υγραερίων προς φόρτωση σε δεξαμενόπλοια και αντίστροφα και
- δ) την τοποθέτηση μέσα σ' αυτούς διαφόρων καλωδίων, όπως τηλεφώνου, ρεύματος κ.λ.π.

Σε θαλάσσιες περιοχές στις οποίες αναπτύσσονται ισχυροί η ακόμη και μέτριοι κυματισμοί, οι δυνάμεις που ασκούν τα κύματα πάνω στα εμπόδια που συναντούν κατά την πορεία τους από τα βαθιά νερά προς τις πλησιέστερες ακτές, είναι αρκετά σημαντικές και σε ορισμένες περιπτώσεις εξαιρετικά ισχυρές.

Η εγκατάσταση των σωληνώσεων μέσα σε τέτοιες θαλάσσιες περιοχές είναι εξαιρετικά δύσκολο τεχνικό πρόβλημα, γιατί και η

πιο μικρή παράλειψη ή υποεκτίμηση μπορεί να προκαλέσουν την καταστροφή όλου του έργου. Ακόμη όμως, εξαιρετικά δυσκολότερο τεχνικό πρόβλημα δημιουργείται όταν οι σωληναγωγοί αυτοί υποστούν, από ένα οποιονδήποτε λόγο, κάποιες ζημιές που χρειάζεται να επισκευαστούν.

Για τους εξαιρετικά σοβαρούς αυτούς λόγους δεν πρέπει να υπάρχει κανείς (αν είναι δυνατόν) κίνδυνος αστοχίας. Αυτός ο όρος επιβάλλει να δοθεί εξαιρετικά μεγάλη προσοχή στην εκλογή της κατάλληλης μεθόδου εγκατάστασης τους ιδιαίτερα όμως πρέπει να επιλεγεί και να χρησιμοποιηθεί η ακριβέστερη μαθηματική αναλυτική θεωρία υπολογισμού των στοιχείων και των δυνάμεων του κύματος. Οι θεωρητικοί υπολογισμοί πρέπει να είναι, όσο το δυνατό, απόλυτα ακριβείς, τα δε στοιχεία κατασκευής και εγκατάστασης των σωληναγωγών, που προκύπτουν από τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών, να καθορίζονται στο πεδίο εφαρμογής με ένα βαθμό συντηρητικότητας που να εξασφαλίζεται πλήρως η σταθερότητα των σωληναγωγών, ακόμη και στις πιο δυσμενείς συνθήκες θαλάσσιων προσβολών.

Δεν επιτρέπεται η χρήση αμφισβητούμενων θεωρητικών μεθόδων και στοιχείων υπολογισμού, προκειμένου να μελετηθεί ένα σοβαρό έργο σωληναγωγών.

Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να υπάρχει ο κίνδυνος αστοχίας, λόγω ανεπαρκών αναλυτικών προσεγγιστικών και υπολογιστικών

μεθόδων ή λόγω λήψης αισιόδοξων και υπεραισιόδοξων στοιχείων.

Οι τεχνικές μελέτες των έργων αυτών πρέπει να βασίζονται σε αναλυτικές θεωρητικές μεθόδους, επιστημονικά πλήρως τεκμηριωμένες, ενώ τα απαραίτητα δεδομένα στοιχεία που θα επιλεγούν και θα εισαχθούν στην ανάλυση πρέπει να είναι στοχαστικά συντηρητικά.

Μόνο μ' αυτές τις προϋποθέσεις είναι δυνατό να υπάρχει η απαιτούμενη ασφάλεια στην ακρίβεια των θεωρητικών αποτελεσμάτων και γενικά των στοιχείων που θα προκύψουν από τους υπολογισμούς αυτούς.

Η χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων αυτών μεγάλης ακρίβειας επιτρέπει, παίρνοντας και ένα στοχαστικά συντηρητικό βαθμό ασφαλείας, τον ακριβή καθορισμό και υπολογισμό όλων των τμημάτων και τεχνικών στοιχείων του έργου, στις ακριβείς απαιτούμενες διαστάσεις τους, με πλήρη ασφάλεια και χωρίς υπερεκτιμήσεις ή υποεκτιμήσεις.

Ο βαθμός ασφαλείας στον καθορισμό των τεχνικών στοιχείων του έργου είναι οπωσδήποτε απαραίτητος, γιατί θα καλύψει τις τυχόν απρόσμενες υπερθεωρητικές συνθήκες ροής ή τις τυχόν απροσδόκητες, μικρές αστοχίες των υλικών και των μεθόδων εγκατάστασης τους.



### 3.1 ΖΩΝΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΑΓΩΓΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ.

Οι σωληναγωγοί , γενικά , τοποθετούνται μέσα στη θάλασσα , είτε μετέωροι (πλωτοί) σε κάποιο βάθος μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας και του πυθμένα , (αλλά με στηρίξεις ή αναρτήσεις από διάφορα σημεία τους), είτε πάνω στον πυθμένα εδραζόμενοι κατευθείαν (ή με την παρεμβολή βάρων στο βυθό της θάλασσας), είτε τέλος μέσα στο έδαφος (ταφή) κάτω από τον πυθμένα.

Η πιο συνηθισμένη, όμως, και περισσότερο πρακτική μέθοδος είναι ο συνδυασμός:

α) της ταφής των σωληναγωγών μέσα στο έδαφος κάτω από τον πυθμένα, στη ρηχή περιοχή όπου τα κύματα θραύονται (περιοχή θραύσης) και ο βυθός αναταράσσεται πάρα πολύ από τις συνεχείς θραύσεις των κυμάτων - δηλαδή, από την ακτή μέχρι ένα σημείο (μέγιστο βάθος θραύσης) - και

β) της τοποθέτησής τους, πάνω στον πυθμένα, από το σημείο αυτό μέχρι το στόμιο εκροής τους σε μεγαλύτερα βάθη (δηλαδή στις περιοχές μέσων και βαθιών νερών).

Όπως είναι γενικά γνωστό από τη θαλάσσια Υδραυλική και ειδικότερα από τη Θεωρία των Κυμάτων, τα κύματα που διαδίδονται

από τα βαθιά στα ρηχά νερά παθαίνουν διάφορες γεωμετρικές, κινηματικές αλλά και δυναμικές μεταβολές.

Αποτελέσματα των μεταβολών αυτών είναι: το μήκος και η ταχύτητα διάδοσής τους να μικραίνουν (γιατί αναγκάζονται να φρενάρουν προοδευτικά, όσο προχωρούν προς την ακτή), το ύψος τους, στη πρώτη φάση αφού πέσει σ' ένα ελάχιστο όριο  $0.913H_0$  στο σχετικό βάθος  $d/L_0=0.159$  (όπου  $H_0$  και  $L_0$  το ύψος και το μήκος του κύματος στα βαθιά νερά), στη συνέχεια συνεχώς να αυξάνει, η ορμητικότητα ολοένα να δυναμώνει (αφού ανακόπτεται σιγά-σιγά η προέλασή τους προς τα εμπρός), και η τροχιακή ταχύτητα των μορίων τους να επιταχύνεται αδιάκοπα (λόγω της αύξησης της ορμητικότητας) και σε τέτοιο βαθμό, ώστε όταν κάποτε φθάσει την ταχύτητα της διάδοσης των κυμάτων (κι αυτό γίνεται, για ομαλούς φυσικούς πυθμένες, όταν το κύμα φθάσει σε κάποιο βάθος ίσο περίπου με το ύψος  $H_0$  του κύματος) να προκαλείται η θραύση τους, με τις γνωστές δυναμικές διαχύσεις των μαζών που κατακλύζουν τις ακτές με μεγάλη ορμητικότητα και χαρακτηριστικό παφλασμό.

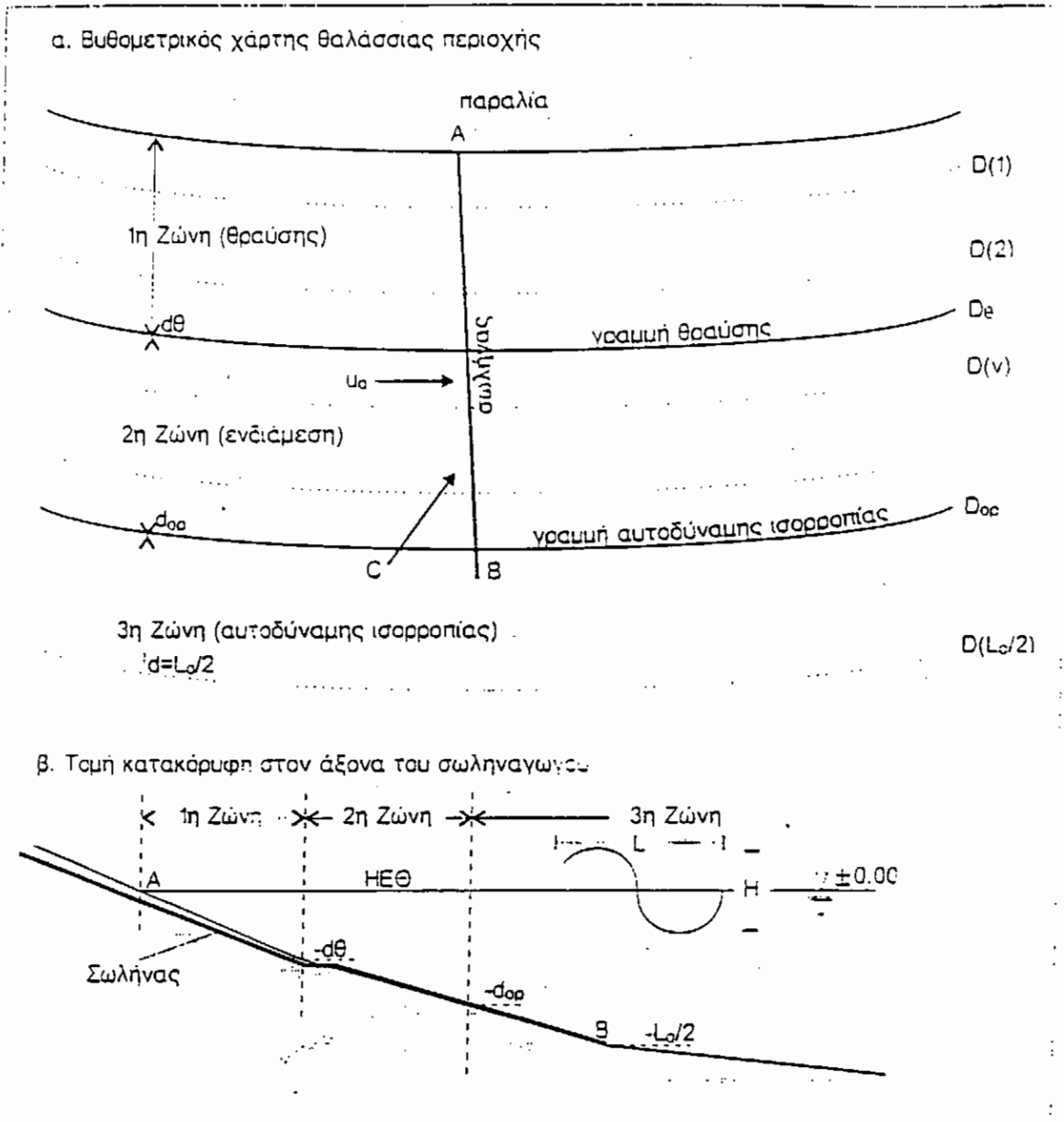
Σ' αυτήν ακριβώς τη φάση, τα κύματα έχουν την δυναμικότερη ορμητικότητά τους και ασκούν τις ισχυρότερες δυνάμεις τους, γιατί αποδεσμεύεται ολόκληρη σχεδόν η κινητική και δυναμική τους ενέργεια.

Η νοητή γραμμή στην οποία το κύμα λέγεται, όπως είναι γνωστό, γραμμή θραύσης του κύματος και η περιοχή από τη γραμμή αυτή μέχρι την ακτογραμμή (τομή της επιφάνειας της θάλασσας με την ξηρά) λέγεται ζώνη θραύσης ή διαταραχής του κύματος (surf zone) (βλέπε Σχήμα 3.1).

Ο καθορισμός της ζώνης αυτής αποτελεί ένα ουσιώδες και φυσικά απαραίτητο στοιχείο στη μελέτη της εγκατάστασης αλλά και υπολογισμού των σωληναγωγών μέσα στη θάλασσα.

Η παραπάνω περιοχή της θραύσης του κύματος, κατά τη διάρκεια των τρικυμιών, συνεχώς αναταράσσεται από τις διαδοχικές και αδιάκοπες θραύσεις των κυμάτων και η σταθερότητα των αντικειμένων ή των έργων και εγκαταστάσεων που βρίσκονται μέσα στη ζώνη αυτή συνεχώς δοκιμάζεται από τις ισχυρές, κατακόρυφες, οριζόντιες και στροβιλώδεις δυνάμεις που αναπτύσσονται από τις απότομες αποδεσμεύσεις όλων σχεδόν των ποσοτήτων των διαφόρων ειδών ενεργειών (κινητικής, δυναμικής, κ.λ.π.), που περιέχουν οι θαλάσσιες μάζες των κυμάτων πριν από την οριστική θραύση τους. Γι' αυτό, η ζώνη θραύσης θεωρείται η πιο επικίνδυνη περιοχή για τη σταθερότητα των έργων και κυρίως για τις θεμελιώσεις ή τις στηρίξεις τους και χρειάζεται ειδική προσοχή και αντιμετώπιση του προβλήματος προστασίας της θεμελίωσης των έργων.

### ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΣΩΛΗΝΑΓΩΓΩΝ



Σχήμα 3.1 Διαχωριστικές ζώνες εγκατάστασης σωληναγωγών μέσα στη θάλασσα

Στις περιοχές μεγαλυτέρων βαθών, τα κύματα δεν θραύονται και οι οριζόντιες ταχύτητες στον πυθμένα συνεχώς μικραίνουν, όσο το βάθος του πυθμένα μεγαλώνει. Σε κάποιο μάλιστα βάθος, θεωρητικά άπειρο αλλά πρακτικά ίσο με  $L_0$  ή και  $L_0/2$  (όπου  $L_0$  το μήκος του κύματος στα βαθιά νερά), η ταχύτητα των μορίων μηδενίζεται και κατά συνέπεια τα αντικείμενα που βρίσκονται πάνω σε πυθμένες με βάθη ίσα ή μεγαλύτερα του  $L_0/2$ , δεν δέχονται καμιά δύναμη από τα κύματα που διαδίδονται στον όγκο του νερού που βρίσκεται πάνω από αυτά. Σ' αυτά τα βάθη, τα αντικείμενα δέχονται μόνο τις υδροστατικές πιέσεις (εκτός από την περίπτωση ύπαρξης υποθαλάσσιου ρεύματος) και αν το μέσο ειδικό βάρος  $\gamma_m$  αυτών είναι μεγαλύτερο εκείνου του θαλάσσιου νερού  $\gamma_w$  τότε, θα ισορροπούν μόνα τους εδραζόμενα πάνω στον πυθμένα, χωρίς να έχουν ανάγκη να στηριχθούν ή να αγκυρωθούν. Βέβαια εάν  $\gamma_m < \gamma_w$  (ή  $\gamma_s < 1$ ) ο σωλήνας επιπλέει και τότε όπως είναι αυτονόητο δεν υπάρχει περίπτωση να ισορροπεί μόνος του, ελεύθερα εδραζόμενος πάνω στον πυθμένα.

Μόνα τους όμως, χωρίς αγκυρώσεις, μπορούν να ισορροπούν και σε μικρότερα βάθη από τα προηγούμενα των βαθιών νερών ( $d \geq L_0/2$ ), εφ' όσον το μέσο ειδικό βάρος του σωληναγωγού είναι μεγαλύτερο εκείνου του θαλάσσιου νερού και εφ' όσον οι οριζόντιες δυνάμεις του κύματος και του τυχόν υπάρχοντος ρεύματος που ασκούνται πάνω στο σωληναγωγό στα βάθη αυτά, είναι μικρότερες από εκείνες της τριβής που αναπτύσσονται μεταξύ του σωληναγωγού και του πυθμένα.

Αυτό μπορεί να συμβαίνει σε ένα βάθος οριακό  $d_{op}$ .

Στο βάθος αυτό και στα μεγαλύτερά του, οι σωληναγωγοί μπορούν να ισορροπούν πάνω στον πυθμένα με το δικό τους μόνο βάρος και με την τριβή τους πάνω στον πυθμένα.

Το βάθος αυτό καθορίζει μια βυθομετρική καμπύλη που μπορεί να ονομασθεί οριακή γραμμή αυτοδύναμης ισορροπίας των σωληναγωγών (βλέπε Σχήμα 3.1).

Πέραν της γραμμής αυτής προς τα βαθιά, ο σωληναγωγός ισορροπεί μόνος του, δηλαδή διαθέτει αυτοδύναμη ισορροπία.

Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω, η θαλάσσια περιοχή μέσα στην οποία θα τοποθετηθεί ή θα εγκατασταθεί ένας σωληναγωγός, μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις ζώνες που αντιστοιχούν στις τρεις παραπάνω περιοχές, μέσα στις οποίες οι υπολογισμοί των στοιχείων και των δυνάμεων του κύματος που προσβάλλουν τους σωληναγωγούς αλλά και οι τρόποι εγκατάστασης, στερέωσης, συγκράτησης ή αγκύρωσης καθώς και ελέγχου αυτής της ίδιας της αντοχής του υλικού τους είναι διαφορετικοί.

Ένας σωληναγωγός που είναι ελευθέρα αναρτημένος και στερεωμένος σε κάποιο ενδιάμεσο βάθος μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας και του βυθού ή που εδράζεται πάνω στον πυθμένα, υφίσταται εκτός από τις υδροστατικές δυνάμεις και σοβαρές πιέσεις των κυμάτων στην περίοδο τρικυμιών, οι οποίες στη γενική περίπτωση είναι τεσσάρων διαφορετικών μορφών.

Οι δυνάμεις αυτές, στη γενική περίπτωση, είναι:

α. η οριζόντια δύναμη ώθησης (Drag Force)  $F_D$ .

β. η οριζόντια δύναμη αδράνειας ή μάζας (Inertia Force)  $F_M$ .

γ. η κατακόρυφη δύναμη δυναμικής άνωσης (Lift Force)  $F_L$  και τέλος

δ. η κατακόρυφη δύναμη αδράνειας ή μάζας (Vertical Inertia Force)  $F_{MU}$

(η τελευταία αυτή δύναμη  $F_{MU}$  μηδενίζεται στον πυθμένα, γιατί η κατακόρυφη συνιστώσα της τροχιακής επιτάχυνσης των μορίων, από την οποία εξαρτάται, είναι μηδέν).

Οι δυνάμεις αυτές δημιουργούνται και αναπτύσσονται κάτω από διαφορετικές συνθήκες ροής και κάτω από διαφορετικούς τρόπους επίδρασης:

1. του μεγέθους της διαμέτρου  $D$  του σωληναγωγού
2. του βάθους  $d$  του πυθμένα
3. του βάθους  $h$  του κέντρου του σωληναγωγού

4. των σχετικών υψών  $H/D$  και  $H/d$  και των αντίστοιχων μηκών  $L/D$  και  $L/d$  του κύματος, σε σχέση με τη διάμετρο  $D$  του σωληναγωγού και του βάθους  $d$  του πυθμένα αντίστοιχα
5. του αριθμού του Reynolds  $Re = \max u \cdot D/\nu$ , που έχει σχέση με τη συνεκτικότητα του νερού  $\nu$ , και
6. του αριθμού Keulegan - Carpenter  $KC = \max u \cdot T/D$ , που έχει σχέση με την εξέλιξη της ροής σε μία πλήρη περίοδο  $T$  του κύματος.

Όλες οι παραπάνω δυνάμεις αναπτύσσονται και εξελίσσονται στη διάρκεια διάδοσης του κύματος, κατά ένα περίπλοκο τρόπο. Ενδέχεται μάλιστα να μην αναπτύσσονται συγχρόνως όλες μαζί, ενώ τα μέγιστά τους δεν δημιουργούνται ταυτόχρονα.

Η περιπλοκή αυτή οφείλεται στην αλληλεπίδραση των παραπάνω παραγόντων επιρροής που επηρεάζουν την ροή, κατά τέτοιο περίπλοκο και μάλλον άγνωστο ακόμη τρόπο ώστε ο υπολογισμός με καθαρά μόνο μαθηματικό τρόπο, πέρα από ορισμένες συνθήκες, είναι αδύνατος.

Αυτό, φυσικά, επιβάλλει το συνδυασμό της θεωρίας με τη χρήση και ανάλυση πειραματικών στοιχείων, που προκύπτουν από μελέτες που γίνονται στη φύση και στο εργαστήριο πάνω σε ομοιώματα.



Πρέπει να σημειωθεί ιδιαίτερα ότι όλες αυτές οι δυνάμεις, που ασκούνται πάνω σε σωληναγωγούς που είναι εγκαταστημένοι μέσα σε θάλασσες που διαταράσσονται από μέτριους ή ισχυρούς κυματισμούς, πρέπει οπωσδήποτε να υπολογίζονται με ακρίβεια για να αντιμετωπίζονται με επιτυχία, επειδή ακριβώς είναι πολύ σοβαρές και απειλούν την ισορροπία και τη σταθερότητα των σωληναγωγών.

Οι δυνάμεις αυτές, για την προηγούμενη περίπτωση εγκατάστασης των σωληναγωγών στον πυθμένα ή πάνω από αυτόν, έχουν διαφορετικές τιμές και αρχίζουν να αυξάνουν από μηδέν στα βαθιά νερά ( $d \geq L_0/2$ ) μέχρι μιας μέγιστης τιμής στη φάση της θραύσης του κύματος.

Αντίθετα η ταφή των σωληναγωγών μέσα στο έδαφος, κάτω από τον πυθμένα, εξασφαλίζει εντελώς την προστασία τους από την επίδραση των παραπάνω δυνάμεων της κυματικής προσβολής και αποτελεί μια σημαντική τεχνική λύση του προβλήματος εγκατάστασης των σωληναγωγών είτε σε θαλάσσιες περιοχές όπου οι δυναμικές πιέσεις των κυμάτων είναι υπερβολικά μεγάλες, ώστε άλλοι τρόποι εγκατάστασης (εκτός εκείνου της ταφής τους) να είναι δαπανηρότεροι, είτε σε περιοχές όπου για τον υπολογισμό των δυνάμεων αυτών δεν υπάρχουν ακριβείς τρόποι υπολογισμού ή εκείνοι που τυχόν υπάρχουν είναι θεωρητικά ατελείς ή ανεπαρκείς και αμφισβητούμενοι (π.χ. στην περιοχή θραύσης του κύματος).

Οι ζώνες αυτές είναι:

- α. η 1<sup>η</sup> Ζώνη ή Ζώνη θραύσης
- β. η 2<sup>η</sup> Ζώνη ή ενδιάμεση και
- γ. η 3<sup>η</sup> Ζώνη ή Ζώνη αυτοδύναμης ισορροπίας ή ηρεμίας

### 3.2.1. 1<sup>η</sup> ΖΩΝΗ ή ΖΩΝΗ ΘΡΑΥΣΗΣ $0 < d < d_{\theta}$

Η ζώνη αυτή καθορίζεται (βλέπε Σχήμα 3.1) από την περιοχή που περικλείεται μεταξύ των γραμμών της θραύσης και της ακτής.

Δηλαδή, σε βάθη  $0 < d < d_{\theta}$ .

Σήμερα υπάρχουν ικανοποιητικά θεωρητικά και εργαστηριακά στοιχεία που επιτρέπουν τον υπολογισμό, με επαρκή ακρίβεια, του βάθους  $d_{\theta}$  στο οποίο θραύεται το κύμα, του ύψους  $H_{\theta}$  στο σημείο θραύσης του, της ταχύτητας και της διεύθυνσης του κύματος λόγω διάθλασης του, καθώς και των άλλων χρήσιμων στοιχείων.

Όλα τα στοιχεία αυτά πρέπει να υπολογιστούν, οπότε η γραμμή θραύσης αυτόματα προσδιορίζεται.

Έτσι η Ζώνη θραύσης μπορεί εύκολα να καθοριστεί πάνω στο δεδομένο βυθομετρικό χάρτη της υπόψη περιοχής (βλέπε Σχήμα 3.1).

Για πολύ μικρούς κυματισμούς, το πρόβλημα της εγκατάστασης των σωληναγωγών μέσα στη ζώνη θραύσης δεν είναι τόσο δύσκολο και αντιμετωπίζεται με απλούς τρόπους. Όμως, για μέτριους και για ισχυρούς κυματισμούς της εγκατάστασης σωληναγωγών μέσα στη ζώνη αυτή είναι ένα εξαιρετικά σοβαρό και δύσκολο τεχνικό και θεωρητικό πρόβλημα.

Μέσα στη ζώνη θραύσης και κατά τις περιόδους σοβαρών τρικυμιών παρατηρούνται ισχυρές αναταράξεις, τόσο των θαλάσσιων μαζών όσο και των υλικών των μη σκληρών πυθμένων, οι οποίες προκαλούνται από τις συνεχείς θραύσεις των κυμάτων.

Ειδικότερα, παρατηρούνται σοβαρές διαβρώσεις των ακτών και του πυθμένα, στην περίπτωση που ο βυθός είναι αμμώδης και γενικά μαλακός ή χαλαρός.

Οι διαταραχές των θαλάσσιων μαζών μέσα στη ζώνη θραύσης είναι στροβιλώδεις και δεν μπορούν ακριβώς να υπολογιστούν. Για τον λόγο αυτό, η εγκατάσταση των σωληναγωγών μέσα στη ζώνη θραύσης, κατά γενικό κανόνα, γίνεται με δύο τρόπους που και οι δύο αποβλέπουν στην καθολική ταφή (σ' όλο το μήκος), των σωληναγωγών μέσα στη ζώνη αυτή.

## I. 1<sup>ος</sup> τρόπος εγκατάστασης των σωληναγωγών στη 1<sup>η</sup> Ζώνη.

Ο τρόπος αυτός προβλέπει την ταφή των σωληναγωγών μέσα στο έδαφος, κάτω από τον πυθμένα (βλέπε Σχήμα 3.2 – 3.6).

Δηλαδή ανοίγεται ένας αύλακας μέσα στο στρώμα του πυθμένα και αφού τοποθετηθεί ο σωληναγωγός μέσα και πάνω σε ένα αμμώδες υπόστρωμα μικρού πάχους, προσχώνεται με διάφορα υλικά (αμμώδη, κροκαλοαμμώδη, χαλικοαμμώδη, θραυστά πετρώδη κ.α.) μέχρι την προηγούμενη, φυσική στάθμη του πυθμένα, ώστε να αποκατασταθεί έτσι πλήρως η μορφή και η υφή του βυθού στην πρώτη του, φυσική κατάσταση.

Η αποκατάσταση του πυθμένα στη φυσική του κατάσταση πρέπει πάντοτε να επιδιώκεται, για να μη μεταβάλλονται οι συνθήκες ροής που παίρνονται και ως συνθήκες μελέτης της εγκατάστασης των σωληναγωγών.

Ο τρόπος αυτός εφαρμόζεται για όλα τα είδη εδαφών πυθμένων, δηλαδή από τα πολύ μαλακά μέχρι και τα βραχώδη.

Συνηθίζεται, όμως, να εφαρμόζεται γενικά σ' όλα τα εδάφη, εκτός από τα βραχώδη. Κι' αυτό, γιατί ενδέχεται να είναι οικονομικότερος ο δεύτερος τρόπος εγκατάστασης των σωληναγωγών, αφού το πρόβλημα είναι κυρίως οικονομικό (πρόσχωση του αγωγού ή εκσκαφή του βράχου) και τη λύση μπορεί να τη δώσει μια τεχνικοοικονομική μελέτη, με την προϋπόθεση

φυσικά ότι δεν θα επιβάλλουν τον πρώτο τρόπο (ταφής κάτω από τον πυθμένα) άλλοι παράγοντες που αποτελούν και πλεονέκτημα αυτού, όπως είναι η προστασία της φυσικής μορφής των ακτών, η θέα από την ακτή, η ναυσιπλοΐα κ.α.

Στην περίπτωση της ταφής των σωληναγωγών μέσα στον πυθμένα, πρέπει να καθορισθεί το βάθος του αύλακα  $h_a$ , σε συνάρτηση με το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος  $h_e$  του στρώματος της επίχωσης πάνω από τον σωληναγωγό (βλέπε Σχήμα 3.2 ως 3.6), καθώς επίσης και το πλάτος  $b$  του αύλακα αυτού.

Τα στοιχεία αυτά συνίσταται να πληρούν τις σχέσεις:

$$(I) \quad \min h_e = (1 / 10)D + \Delta H = 0.625 D + 0.9395 + \Delta H \geq 1.00 \text{ m}$$

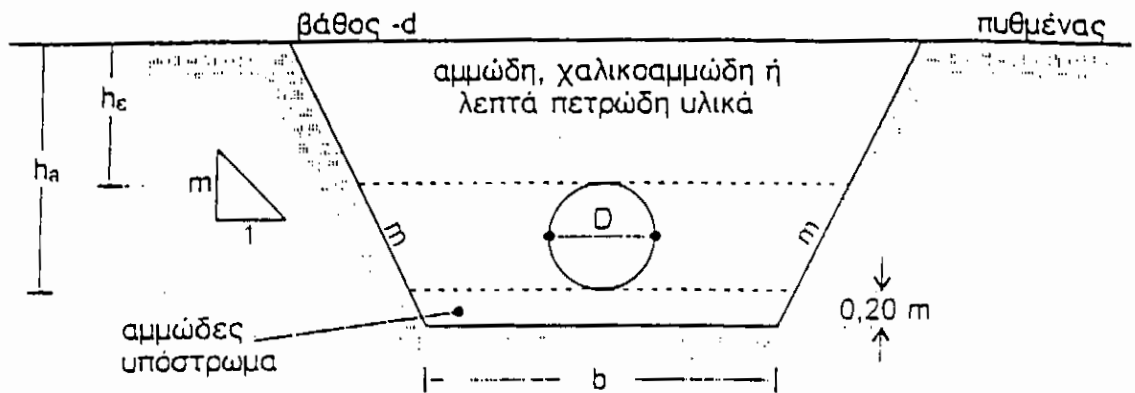
$$(II) \quad \min h_a = h_e + D + 0.20 = 1.625 D + 1.1395 + \Delta H \geq 1.20 + D$$

$$(IIa) \quad \min b = (2 / 5)D = 1.875D + 0.3125 \geq 0.50 \text{ m}$$

όπου:  $D = H$  εξωτερική διάμετρος του σωληναγωγού = 0.10 / 2.50 m

$\Delta H =$  το μέγιστο πάχος διάβρωσης του πυθμένα σε m, που προκαλείται από τις διαταραχές και τις αναταράξεις των υγρών μαζών των κυμάτων και των ρευμάτων. (Για  $\Delta H > 0.50$  m, τα  $h_e$  και  $h_a$  των σχέσεων I και II μπορεί να μειώνονται κατά ένα ποσοστό ανάλογα με τις συνθήκες).

Το πάχος  $h_e$  στην περίπτωση που οι σωληναγωγοί επιπλέουν (όταν, δηλαδή, το μέσο ειδικό βάρος του σωληναγωγού είναι μικρότερο εκείνου του νερού), συνιστάται να ελέγχεται και εφόσον χρειάζεται να αυξάνεται τόσο, ώστε το βάρος του στρώματος αυτού μαζί με το βάρος του σωληναγωγού να είναι μεγαλύτερο από



Για  $D = 0,10 + 2,50 \text{ m}$

$$\min h_e = (1 + 10) D + \Delta H = 0,625D + 0,9375 + \Delta H \geq 1,00 \text{ m}$$

$$\min h_a = h_e + D + 0,20 = 1,625D + 1,1375 + \Delta H \geq 1,20 + D$$

$$\min b = (2 + 5) D = 1,875D + 0,3125 \geq 0,50 \text{ m}$$

$m$  = κλίση πρσανούς ανάλογη με τη σκληρότητα του εδάφους

$\Delta H$  = max πάχος διάβρωσης του πυθμένα (σε m)

Σχήμα 3.2 Διατομή χωρίς αγκύρια και χωρίς πλάκα προστασίας



Για  $D = 0,10 + 2,50 \text{ m}$

$$\min h_e = (1 + 10) D + \Delta H = 0,625D + 0,9375 + \Delta H \geq 1,00 \text{ m}$$

$$\min h_a = h_e + D + 0,20 = 1,625D + 1,1375 + \Delta H \geq 1,20 + D$$

$$\min b = (2 + 5) D = 1,875D + 0,3125 \geq 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Για } \Delta H \leq t \quad \min \Pi = (4 + 10) D = 3,75 D + 0,625 D \text{ (σε m)}$$

$$\text{Για } \Delta H > t \quad \min \Pi = 2 (\Delta H - t) \sigma\omega + (4 + 10) D = 2 (\Delta H - t) \sigma\omega - 3,75 D + 0,625 \text{ (σε m)}$$

$\omega$  = γωνία σταθεροποίησης του πρσανούς

Σχήμα 3.3 Διατομή με πλάκα προστασίας στη στάθμη -d (πυθμένας)



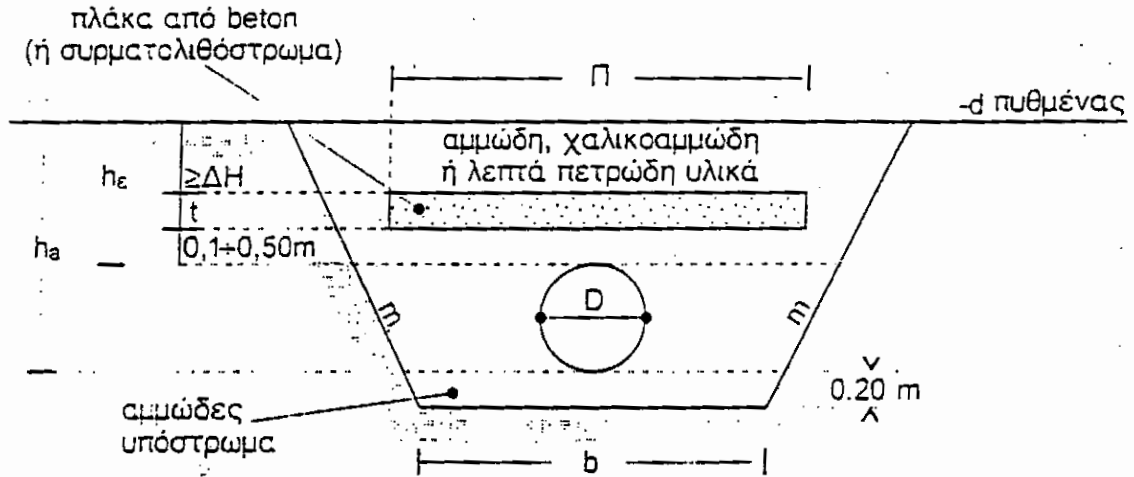
Για  $D = 0,10 - 2,50 \text{ m}$

$$\min h_{\varepsilon} = (1 + 10) D + \Delta H = 0,625D + 0,9375 + \Delta H \geq 1,00 \text{ m}$$

$$\min h_a = h_{\varepsilon} - D + 0,20 = 1,625D + 1,1375 - \Delta H \geq 1,20 + D$$

$$\min b = (2 + 5) \cdot D = 1,875D + 0,3125 \geq 0,50 \text{ m}$$

**Σχήμα 34** Διατομή με αγκύρια (κύβοι ή παρ/δα από σκυρόδεμα) με ή και χωρίς πλάκα προστασίας του πυθμένα



Για  $D = 0,10 + 2,50 \text{ m}$

$$\min h_{\varepsilon} = (1 + 10) D + \Delta H = 0,625D + 0,9375 + \Delta H \geq 1,00 \text{ m}$$

$$\min h_a = h_{\varepsilon} - D + 0,20 = 1,625D + 1,1375 + \Delta H \geq 1,20 + D$$

$$\min b = (2 + 5) D = 1,875D + 0,3125 \geq 0,50 \text{ m}$$

$$\min \Pi = (2 + 6) D = 1,75 D + 0,625$$

**Σχήμα 35** Διατομή με πλάκα προστασίας - επιφόρτισης κάτω από στρώμα διάβρωσης και πάνω από το σωληναγωγό (από σκυρόδεμα)

πλάκα από beton  
(συρματολιθόστρωμα)

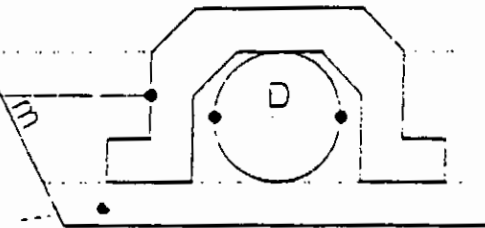


-d πυθμένας

$h_e$

αμμώδη, χαλικοαμμώδη  
ή λεπτά πετρώδη υλικά

αγκύριο  
από beton



0.20 m

αμμώδες  
υπόστρωμα

b

$$0.10 + 2.50 \pi$$

$$= (1 + 10) D + \Delta H = 0.625D + 0.9375 + \Delta H \geq 1.00 \text{ m}$$

$$= h_e - D + 0.20 = 1.625D + 1.1375 + \Delta H \geq 1.25 + D$$

$$(2 + 5) D = 1.875D + 0.3125 \geq 0.50 \text{ m}$$

**36 Διατομή με αγκυρία - ημιδακτύλιους ή Π με φτερά στη βάση με η  
πλάκα προστασίας του πυθμένα (από beton) ή συρματολιθόστρωμα**



τη δύναμη της άνωσης, και αυτό αποτελεί ένα τρόπο εξουδετέρωσης της δύναμης αυτής που εξασφαλίζει την ισορροπία του σωληναγωγού.

Αυτό φυσικά δεν είναι υποχρεωτικό, γιατί είναι δυνατό οι δυνάμεις άνωσης να εξουδετερωθούν και με άλλους ασφαλέστερους τρόπους (π.χ. με αγκύρια, όπως αναφέρεται παρακάτω).

Εφόσον λοιπόν το έδαφος κάτω από τον πυθμένα είναι μαλακό και το πάχος είναι αρκετό, πρέπει να εξετάζεται η εφαρμογή του παραπάνω τρόπου εξουδετέρωσης της άνωσης.

Εξάλλου, οι εκτιμήσεις του πάχους  $\Delta H$  της διάβρωσης του πυθμένα πρέπει να γίνονται με μεγάλη προσοχή και να είναι αρκετά συντηρητικές, ώστε να μηδενίζεται - εάν είναι δυνατό - ο κίνδυνος εκταφής των σωληναγωγών απ' αυτή την αιτία. Πάντως, σε καμιά περίπτωση, το πάχος  $h_e$  της επίχωσης του σωληναγωγού δεν πρέπει να είναι μικρότερο του ενός μέτρου, εκτός εάν αποδεδειγμένα υπάρχουν απόλυτα ασφαλείς συνθήκες ηρεμίας του πυθμένα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι εκτιμήσεις του πάχους  $\Delta H$  της διάβρωσης του πυθμένα απαιτούν μία πολύχρονη και συστηματική εργασία μετρήσεων, που συνήθως δεν γίνεται. Έτσι, οι εκτιμήσεις αυτές είτε δεν υπάρχουν καθόλου είτε γίνονται λόγω πίεσης χρόνου σε μία ή το πολύ δύο χρονικές περιόδους, κι οπωσδήποτε ο βαθμός ακρίβειάς τους δεν είναι μεγάλος.

Συνεπώς, υπάρχει κατά βάθος ένας βαθμός ανασφάλειας των εκτιμήσεων του πάχους διάβρωσης  $\Delta H$  του πυθμένα. Αυτό επιβάλλει, πέρα από την ασφάλεια που παρέχει η ταφή του σωληναγωγού σε μεγαλύτερα, κατά  $\Delta H$  κάτω από τον πυθμένα βάθη (όπως αναφέρεται παραπάνω, στον καθορισμό του βάθους του αύλακα  $h_a$ ), να προστατευθεί (εφόσον όμως κριθεί αναγκαίο από τη μελέτη των δεδομένων συνθηκών της περιοχής) το στρώμα της πρόσχωσης του αύλακα (και συνεπώς και του σωληναγωγού), θωρακίζοντας τα, με κατάλληλα προστατευτικά δομικά υλικά θωράκισης όπως π.χ. με λεπτές πλάκες από σκυρόδεμα (πάχους τουλάχιστον  $t=0.15\text{m}$ ), με εύκαμπτα συρματολιθοστρώματα, με τσιμεντοσακόλιθους κ.α.

Η τοποθέτηση των μονάδων αυτών θωρακίσεως (όπως στο εξής θα αποκαλούνται), γίνεται είτε πάνω στην επιφάνεια του νέου πυθμένα (που δημιουργήθηκε από τα υλικά πρόσχωσης του αύλακα και που αποκαθιστούν τον παλιό φυσικό πυθμένα, στην αρχική στάθμη) όπως στο Σχήμα 3.3, είτε κάτω από τον πυθμένα και μέσα στο στρώμα της πρόσχωσης του αύλακα σ' ένα βάθος τουλάχιστο ίσο με το πάχος  $\Delta H$  της διάβρωσης αλλά και λίγο ( $0.10 - 0.50 \text{ m}$ ) πάνω από το ανώτερο σημείο του σωληναγωγού, όπως στο Σχήμα 3.5.

Η τοποθέτηση των μονάδων αυτών θωράκισης μέσα στο στρώμα της πρόσχωσης (βλέπε Σχήμα 3.5) έχει το πλεονέκτημα της μεγαλύτερης ασφάλειας, αφού βρίσκεται σε ασφαλές βυθόμετρο που δεν επηρεάζεται από τις διαβρώσεις, αλλά και το

πλεονέκτημα της χρησιμοποίησης μικρότερων πλακών ή λιθοσυρματοπλεγμάτων κ.α. πράγμα που σημαίνει μικρότερο κόστος.

Γενικά, για περιορισμένα πάχη διάβρωσης μικρότερα του πάχους  $t$ , των μονάδων θωρακίσεως (περίπου μικρότερα των 25 cm), τα υλικά αυτά τοποθετούνται είτε πάνω, είτε κάτω από τον πυθμένα και πρέπει να υπολογίζονται για να αντέχουν στην άρση και τοποθέτησή τους, και στην τυχόν από τα κύματα παράσυρσή τους.

Στις περιπτώσεις αυτές τα πλάτη  $\Pi$  των πλακών (ή και των άλλων μονάδων θωράκισης) συνίσταται να καθορίζονται σε σχέση με την διάμετρο του σωληναγωγού  $D$  ως εξής:

α. Για τοποθέτηση πάνω στον πυθμένα (Σχήμα 3.3) και  $\Delta H \leq t$ :

$$\min \Pi = (4 / 10) D = 3.75 D + 0.625 \text{ (το } \Pi \text{ και } D \text{ σε m)} \quad (\text{III})$$

β. Για τοποθέτηση κάτω από τον πυθμένα (Σχήμα 3.5):

$$\min \Pi = (2 / 8) D = 1.75 + D \cdot 0.625 \quad (\text{IV})$$

(Στις παραπάνω σχέσεις III και IV, οι μικρότεροι συντελεστές 4 και 2 αντιστοιχούν σε σωληναγωγούς με τις μεγαλύτερες διαμέτρους  $D = 2.50 \text{ m}$ , ενώ οι μεγαλύτεροι 10 και 8 σ' εκείνους με τις μικρότερες  $D = 0.10 \text{ m}$ ).

Για σοβαρές όμως διαβρώσεις, πάχους μεγαλύτερου του πάχους των μονάδων θωρακίσεως ( $t > 0.25 \text{ m}$ ), πρέπει να αποφεύγεται η τοποθέτηση των μονάδων αυτών πάνω στην επιφάνεια

του νέου πυθμένα που διαμορφώνεται με τα υλικά πρόσχωσης του αύλακα, και συνίσταται να τοποθετούνται μέσα στο στρώμα πρόσχωσης (κάτω από τον πυθμένα), σε ένα βάθος τουλάχιστον ίσο με το πάχος  $\Delta H$  της διάβρωσης, όπως αναφέρθηκε παραπάνω (βλέπε Σχήμα 3.5).

Αν όμως, για ένα οποιονδήποτε λόγο, απαιτηθεί να γίνει η τοποθέτηση των μονάδων αυτών θωρακίσεως πάνω στην επιφάνεια του πυθμένα, τότε θα πρέπει (όταν μάλιστα δεν διατίθεται το ανάλογο βάθος  $h_a$  ταφής του σωληναγωγού) : αφενός μεν, το πάνω στρώμα της πρόσχωσης να γίνει κατά προτίμηση με πετρώδη, θραυστά υλικά και χονδρά χαλικώδη που το μέγεθός τους θα υπολογισθεί με βάση τις μέγιστες οριζόντιες ταχύτητες των μορίων του κύματος και του ρεύματος στον πυθμένα, ώστε να μην παρασύρονται και να περιορίζεται έτσι η διάβρωση, αφετέρου δε, το πλάτος  $\Pi$  των πλακών και γενικά των μονάδων θωράκισης να υπολογίζεται από την παρακάτω γενική σχέση  $V$  που ισχύει για τυχόν  $\Delta H > t$ .

Ωστε για  $\Delta H > t$  και για τοποθέτηση των μονάδων θωρακίσεως πάνω στον πυθμένα, είναι:

$$\min \Pi = 2(\Delta H - t)\sigma\phi\omega + (4/10)D = 2(\Delta H - t)\sigma\phi\omega + 3.75D + 0.625 \quad (V)$$

όπου:  $t$  = το πάχος της πλάκας σε m και γενικά της μονάδας θωράκισης.

$\Delta H$ : το πάχος (ύψος) διάβρωσης του πυθμένα σε m.

$\omega$  : η γωνία στην οποία σταθεροποιούνται τα πρανή

του πυθμένα κάτω από τα άκρα της πλάκας στην πιο δυσμενή φάση της διάβρωσης (βλέπε Σχήμα 3.3).

Η σχέση (V) εξασφαλίζει την έδραση του κεντρικού τμήματος της πλάκας προστασίας πάνω στον πυθμένα, με τις εξής υποθέσεις:

(i) Η μονάδα θωράκισης θα μένει σταθερή στη θέση της, κατά τις περιόδους διάβρωσης του πυθμένα, εδραζόμενη στο μεσαίο τμήμα της, πλάτους τουλάχιστον ίσου με  $(4 / 10) D$ .

Για τις εύκαμπτες μονάδες θωράκισης όπως είναι π.χ. τα συρματολιθοστρώματα δεν υπάρχει λόγος να τεθεί περιοριστικός όρος γιατί τα άκρα αυτών (ως εύκαμπτα) θα καμθούν και θα αγκαλιάσουν ολόκληρο το σώμα της κατασκευής ή του σωλήνος προσφέροντας πλήρη προστασία.

(ii) Η διάβρωση του πυθμένα, έξω από το χώρο της άκαμπτης μονάδας θωράκισης, θα συντελείται πλήρως και η στάθμη του φυσικού πυθμένα στα δύο ακραία σημεία της θα κατέβει (στη δυσμενέστερη περίπτωση) κατά το ύψος  $\Delta H$  της διάβρωσης, ενώ για τις εύκαμπτες τα κενά από τις διαβρώσεις δεν επηρεάζουν την προστασία.

(iii) Η διάβρωση του πυθμένα κάτω από τα δύο ακραία τμήματα μιας άκαμπτης μονάδας (πλάκας) μήκους καθένα  $(\Delta H - t)$ σφω, θα συντελείται (λόγω προστασίας π.χ. από την πλάκα και λόγω μεγέθους υλικών) σε περιορισμένο βαθμό, που θα καθορίζεται

ανάλογα με την κλίση σφω που παίρνει το πρανές του πυθμένα κάτω από τα ακραία τμήματα της πλάκας κατά την πιο κρίσιμη περίοδο διάβρωσης του πυθμένα.

Η κλίση αυτή μπορεί να προκαθορισθεί, υπολογίζοντας το ατομικό βάρος των πετρωδών υλικών του πάνω στρώματος της επίχωσης (ή και αντίστροφα), όπως γίνεται και στον υπολογισμό του ατομικού βάρους των μονάδων θωράκισης των υφάλων στρωμάτων των υποθαλάσσιων κυματοθραυστών, ή βάση της συνισταμένης ταχύτητας των μορίων του κύματος και του ρεύματος στον πυθμένα.

Έτσι, για παράδειγμα, αν το πρανές του πυθμένα κάτω από τα ακραία τμήματα των πλακών σταθεροποιείται, κατά την πιο κρίσιμη περίοδο μιας διάβρωσης ύψους  $\max \Delta H = 0.70 \text{ m}$ , σε μια κλίση  $\epsilon_{\phi\omega} = 1:3$ , ο δε σωληναγωγός έχει  $D = 0.80 \text{ m}$  και η πλάκα πάχος  $t = 0.20 \text{ m}$ , τότε από την σχέση (V) προκύπτει:

$$\min \Pi = 2(0.70 - 0.20) \times 3 + 3.75 \times 0.80 + 0.625 = 6.625 \sim 6.70 \text{ m}$$

Άρα το πλάτος των πλακών θα είναι  $6.70 \text{ m}$  και στη δυσμενέστερη περίπτωση θα εδράζονται στο μεσαίο τμήμα τους, πλάτους  $3.75 D + 0.675 = 3.675 \text{ m}$ .

Αν όμως το πάχος διάβρωσης του πυθμένα είναι

$\max \Delta H = 0.15 < t$  τότε η σχέση (III) δίνει πλάτος πλάκας:

$$\min \Pi = 3.75 \times 0.80 + 0.625 = 3.675 \text{ m} \sim 3.70 \text{ m}$$

Στις παραπάνω περιπτώσεις που οι πλάκες εργάζονται σαν αμφιπροέχουσες δοκοί (με προβόλους) θα πρέπει να υπολογίζονται σε κάμψη και σε διάτμηση, παίρνοντας όλες τις δυνάμεις που δρουν πάνω σ' αυτές (βάρη, ανώσεις, πιέσεις κύματος κ.λ.π.). Φυσικά, θα πρέπει να γίνεται και ο κλασσικός υπολογισμός των πλακών για να αντέχουν στην άρση και στην τοποθέτησή τους.

Γενικά πάντως για τέτοιες σοβαρές διαβρώσεις η εφαρμογή του τρόπου αυτού θωρακίσεως επάνω στον πυθμένα συνιστάται να γίνεται με μεγάλη προσοχή και αν είναι δυνατό να αποφεύγεται.

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις τοποθέτησης των μονάδων αυτών προστασίας του πυθμένα από τις διαβρώσεις των κυμάτων και των ρευμάτων, ο σωλήνας φορτίζεται επιπλέον με το βυθισμένο βάρος αυτών, και αυτό μπορεί να παρθεί στον υπολογισμό, για να μειωθεί (εφόσον φυσικά υπάρχει ανάγκη να γίνει τέτοιος υπολογισμός) ανάλογα, το πάχος της πρόσχωσης  $h_e$  πάνω από τον σωληναγωγό, που υπολογίσθηκε για να εξουδετερώσει με το βάρος του, τις τυχόν αναπτυσσόμενες δυνάμεις άνωσης ή και για να καλύψει, τις διαβρώσεις που δημιουργούν οι συρτικές δυνάμεις, τόσο των υγρών μαζών των θραυσμένων κυμάτων και των τυχόν ρευμάτων που προχωρούν προς την ακτή, όσο και εκείνων που επιστρέφουν απ' αυτή προς το πέλαγος. Πρέπει εδώ να τονισθεί ιδιαίτερα ότι στην περίπτωση τοποθέτησης των μονάδων θωρακίσεως επάνω στον πυθμένα, πρέπει οπωσδήποτε και ανελλιπώς να γίνεται ο υπολογισμός σταθερότητάς τους, έναντι

των δυνάμεων του κύματος αλλά και του τυχόν υπάρχοντος ρεύματος, που δρουν στην περιοχή του

- Συστήματα αγκύρωσης, συγκράτησης και στερέωσης των σωληναγωγών

Άλλοι τεχνητοί τρόποι εξουδετέρωσης των δυνάμεων της άνωσης αλλά και οποιονδήποτε άλλων κατακόρυφων δυνάμεων των σωληναγωγών ή και συγκράτησής τους στην περίπτωση τυχαίας εκταφής τους από τα κύματα, είναι οι αγκυρώσεις και συγκρατήσεις των αγωγών με διάφορα αγκύρια και πλάκες φόρτωσης αυτών, που προσδένονται πάνω στο σωληναγωγό ανά ορισμένες αποστάσεις, όπως στο Σχήμα 3.4, ή τοποθετούνται πάνω από τον αγωγό και τον συγκρατούν στη θέση του, όπως στα Σχήμα 3.5 και 3.6. Τα αγκύρια αυτά και οι πλάκες προτιμούνται να είναι από σκυρόδεμα, γιατί το κόστος τους είναι μικρό και η διάρκεια ζωής τους απεριόριστη. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν αγκύρια διαφόρων σχημάτων. Μερικά δείχνονται στο Σχήμα 3.8. Όλα τα αγκύρια πρέπει να επιδιώκεται να έχουν τέτοιες διαστάσεις, ώστε να θάβονται μέσα στον αύλακα χωρίς να εξέχουν πάνω από τον πυθμένα (βλέπε Σχήματα 3.4, 3.5 και 3.6).

Εξυπακούεται ότι τα συρματόσχοινα, συρματολιθοστρώματα, ζώνες και τα οποιαδήποτε άλλα μέσα πρόσδεσης των αγκυρίων στο σωλήνα επάνω ή και αντίστροφα του σωλήνα πάνω σ'αυτά, που είναι σιδηρά πρέπει να είναι ανοξειδωτά και να μην προσβάλλονται από το θαλάσσιο νερό ή από τα οξέα.



## II. 2ος τρόπος εγκατάστασης των σωληναγωγών στην 1η Ζώνη.

Ο τρόπος αυτός προβλέπει την τοποθέτηση των σωληναγωγών πάνω στον πυθμένα ή και λίγο μέσα σ' αυτόν, και την προστασία τους σ' αυτές τις θέσεις με την πρόσχωσή τους (ταφή τους) με πετρώματα και με φυσικούς ή τεχνητούς ογκόλιθους (βλέπε σχ.3.7), ή και με άλλα βαριά επίσης υλικά όπως συρματολιθοστρώματα βαρέου τύπου κ.ά.

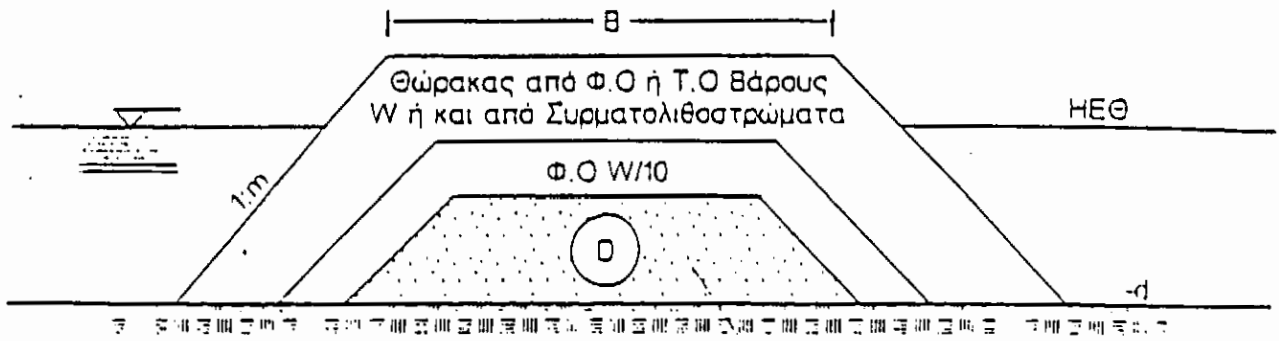
Ο τρόπος αυτός μπορεί να προτιμηθεί από τον προηγούμενο στην περίπτωση που ο πυθμένας είναι βραχώδης και η λύση αυτή πλεονεκτεί οικονομικά, αλλά με την προϋπόθεση ότι δεν θα υπάρχουν οι περιορισμοί της προστασίας της μορφής της παραλίας, της θέας από την ακτή ή και άλλοι λόγοι, όπως της ναυσιπλοίας κ.λ.π. Είναι φανερό ότι η μέθοδος αυτή απαιτεί την κατασκευή μιας σοβαρής, ογκώδους και βαριάς κατασκευής, όμοιας μ' εκείνης των βυθισμένων κυματοθραυστών, που θα είναι ικανή ν' αντισταθεί στην δράση των ισχυρότερων κυμάτων, όπως είναι τα θραυόμενα κύματα, όχι πια απλώς για να προστατεύσει τον σωληναγωγό, γιατί αυτή η κατασκευή είναι υπερβολικά μεγάλη για το σκοπό αυτό, αλλά κυρίως για να προστατεύσει αυτή την ίδια την κατασκευή που λόγω όγκου προβάλλει μεγάλη αντίσταση στις καταστροφικές θραύσεις των κυμάτων. Το πρόβλημα συνεπώς είναι να κατασκευαστεί ένας κυματοθραύστης περιορισμένης αποτελεσματικότητας (αφού δεν ενδιαφέρει η διασφάλιση της ηρεμίας των εκατέρωθεν αυτού λεκανών,

όπως συμβαίνει στην περίπτωση των κυματοθραυστών των λιμένων, αγκυροβολίας και αναμονής ή και ακόμη των εμπορευματικών λιμανιών), σύμφωνα πάντα με τους γνωστούς στη λιμενολογία τρόπους, με στέψη είτε πάνω από το το ΗΕΘ ( Ήρεμο Επίπεδο της Θάλασσας) είτε κάτω απ' αυτό (υποθαλάσσιοι ή βυθισμένοι κυματοθραύστες), ανάλογα με τα βάθη της περιοχής και τις απαιτούμενες συνολικά εξωτερικές ελάχιστες διαστάσεις της κατασκευής.

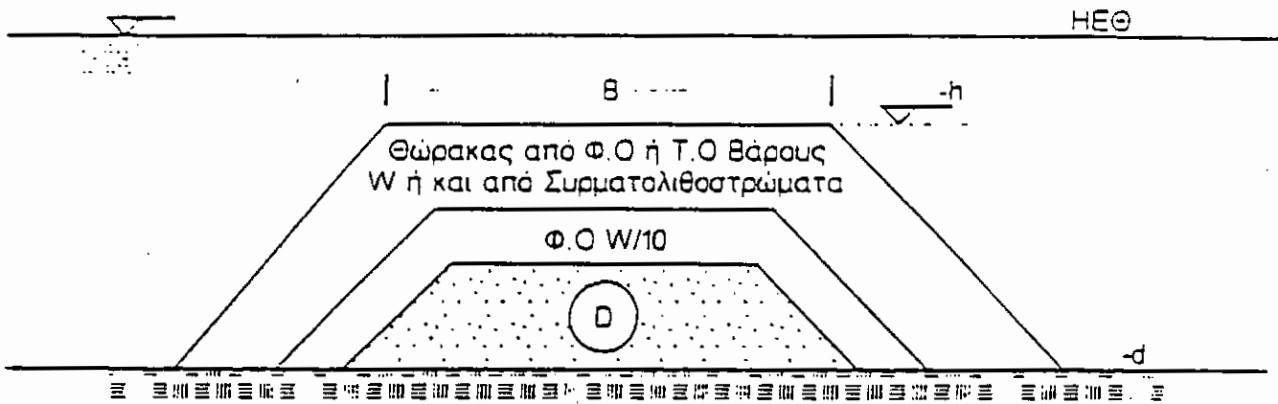
Στο Σχήμα 3.7 δείχνονται τρεις τυπικές διατομές κυματοθραυστών προστασίας των σωληναγωγών που μπορούν να εφαρμοστούν. Ο υπολογισμός και ο έλεγχος τους είναι ακριβώς ο ίδιος που γίνεται για τους κυματοθραύστες των λιμανιών.

Η επιλογή της εφαρμογής του 1<sup>ου</sup> ή του 2<sup>ου</sup> τρόπου, θα εξαρτηθεί από τους περιορισμούς που θα τεθούν από την αρμόδια Αρχή (προστασία της μορφής της παραλίας και της θέας προς τη θάλασσα, ελευθερία της ναυσιπλοΐας, λουτρικές θαλάσσιες απαιτήσεις, ανυπαρξία υλικών, αδυναμία διάθεσης κατάλληλων μηχανημάτων κ.λ.π.), από το είδος του πυθμένα (μαλακός ή σκληρός) και τέλος από τη δαπάνη της καθεμιάς κατασκευής.

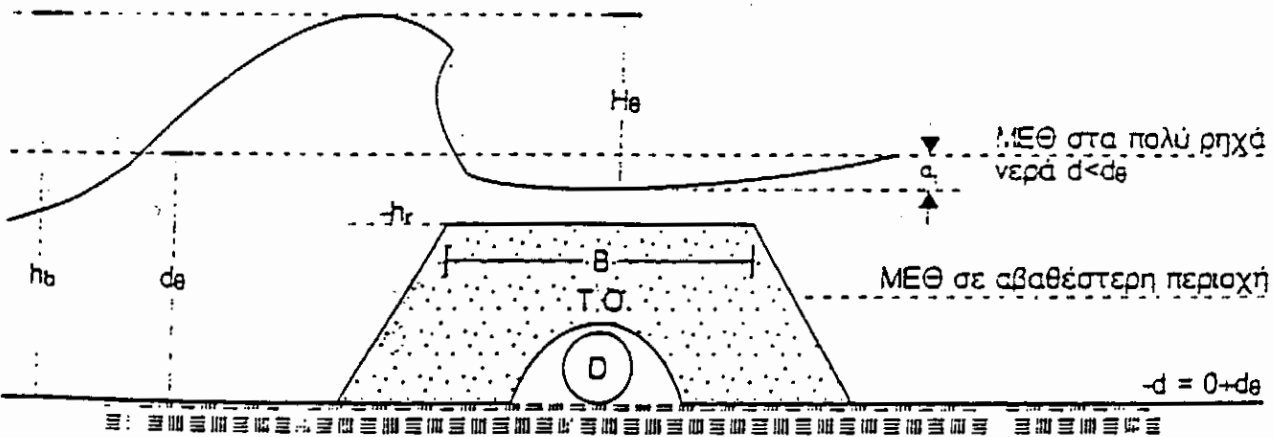
Πάντως, για τη ζώνη αυτή, συνιστάται γενικά για οποιαδήποτε έδαφος πυθμένα(μαλακό ή σκληρό) να προτιμάται ο πρώτος τρόπος της ταφής των σωληναγωγών κάτω από τον πυθμένα,



α. Διατομή στα πολύ ρηχά νερά προς την ακτή με στέψη πάνω από το ΜΕΘ  
χαλικοαμμώδη ή παρόμοια υλικά

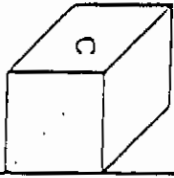


β. Διατομή στα ρηχά νερά με στέψη κάτω από το ΜΕΘ (υποθαλάσσιος κυματοθραύστης)

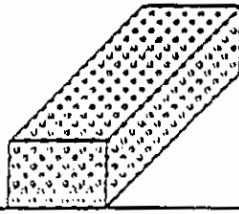


γ. Διατομή με ένα Τεχ. Ογκόλιθο από σκυρόδεμα

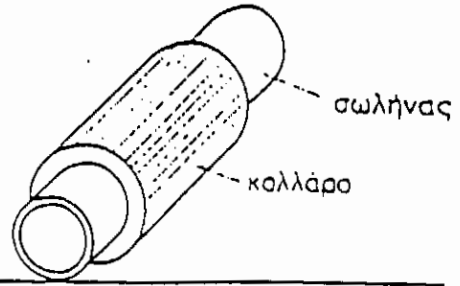
ήμα 3.7. Τυπικές διατομές κυματοθραυστών για την προστασία και τη συγκράτηση των σωληναγωγών στην περιοχή της ζώνης θραύσης του κύματος.



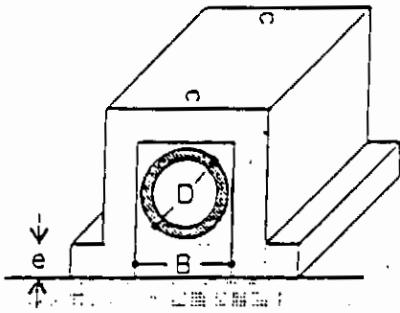
α. Κύβος ή παραλληλεπίπεδο από Βετον ή άλλα βαρέα υλικά



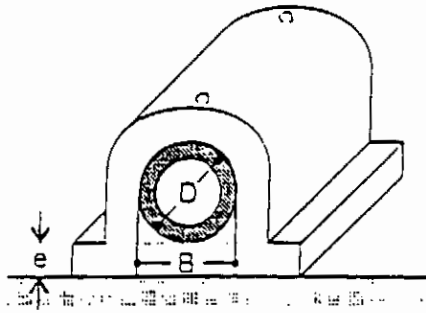
α1. Συρματολιθοστρώματα (Συρμάτινα πλέγματα γεμάτα λίθους)



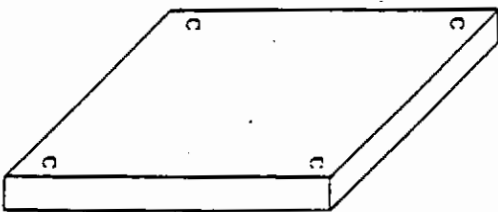
β. Δακτύλιος (κολλάρο) από Βετον



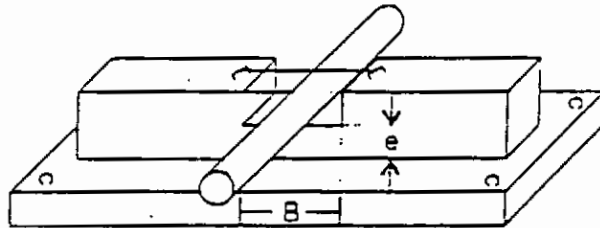
γ. Αγκύρια από Βετον σχήματος Π με ή χωρίς φτερά στη βάση



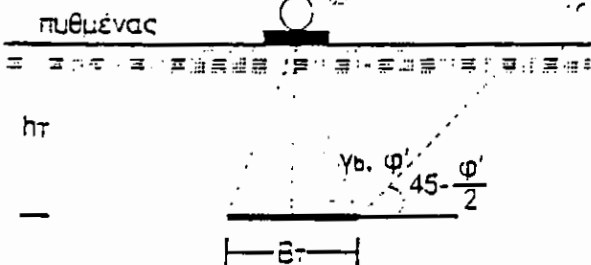
δ. Αγκύρια από Βετον σχήματος ημικυλίνδρου με ή χωρίς φτερά



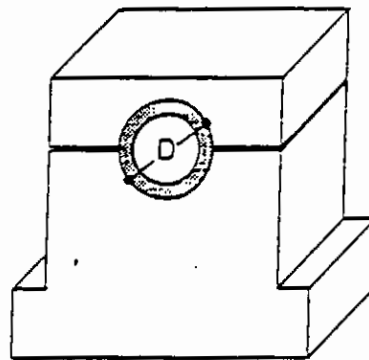
ε. Πλάκες επιφόρτισης των σωλήνων και προστασίας του πυθμένα από βετον ή από άλλα βαρέα υλικά



ζ. Πλάκες ή τεχνητοί ογκόλιθοι έδρασης, πρόσδεσης και αγκύρωσης των σωλήνων με ζώνες, περόνες, βαρέα καπάκια-καπέλα από βετον ή κ.α.



η. Αγκύρωση των σωλήνων μέσα στο έδαφος κάτω από τον πυθμένα σε πλάκες βετον



θ. Βάθρα από Βετον. (με καπέλο - πλάκα από Βετον ή με ζώνες συγκράτησης)

Σχήμα 3.8 Τύποι αγκυρίων συγκράτησης, αγκύρωσης, πρόσδεσης, έδρασης και στερέωσης των σωληναγωγών καθώς και πλάκες (από βετον) επιφόρτισης αυτών ή προστασίας του πυθμένα.

γιατί εκτός του ότι δεν αλλοιώνεται το περιβάλλον και κανένα σημάδι δεν προδίδει την ύπαρξη τους, είναι ασφαλισμένοι από κάθε κίνδυνο και η όλη εγκατάσταση πρέπει γενικά να αποτελεί οικονομικότερη λύση.

Τέλος για τις περιπτώσεις μικρών κυματισμών (ύψους 1-1,50m) με μικρές δυνάμεις και ελαφρές διαβρώσεις του πυθμένα και της ακτής ή και των ρευμάτων, η εγκατάσταση των σωληναγωγών (μικρών διαμέτρων) μπορεί να γίνει πάνω ή και λίγο ψηλότερα από τον πυθμένα, χωρίς να προσχωθούν στηριζόμενοι και αγκυρούμενοι πάνω σε μεμονωμένα βάθρα-στηρίγματα, (τεχνητοί από σκυρόδεμα ογκόλιθοι, όπως στο Σχήμα 3.8ζ, τοποθετούμενοι πάνω ή και λίγο ψηλότερα από τον πυθμένα μεγαλύτερά του πάχους διάβρωσης ΔΗ αυτού, ενώ η άνω επιφάνεια τους βρίσκεται στην ίδια στάθμη ή και λίγο ψηλότερα από τη στάθμη του μη διαβρωμένου πυθμένα.

Βέβαια, αν το έδαφος είναι βραχώδες, δεν θα υπάρχει διάβρωση του πυθμένα και τότε το ίδιο το βραχώδες έδαφος θα χρησιμοποιηθεί (αντί των τεχνητών ογκόλιθων) για αγκύρωση του σωληναγωγού με σιδερένιες ανοξείδωτες φουρκέτες.

Το θέμα εδώ είναι καθαρά τεχνικό, δηλαδή να βρεθεί η κατάλληλη μέθοδος πάκτωσης (αγκύρωσης) των φουρκετών μέσα στο βράχο με πλήρη ασφάλεια, που οπωσδήποτε μέσα στη θάλασσα γίνεται ένα πάρα πολύ δύσκολο πρόβλημα.

Σ' όλες τις παραπάνω περιπτώσεις είναι απαραίτητο να υπολογισθούν, τόσο οι δυνάμεις που δρουν πάνω στο σωληναγωγό, όσο και εκείνες που μεταφέρονται απ' αυτόν στα στηρίγματα του (βάθρα, φουρκέτες κ.λ.π.).

Οι δυνάμεις αυτές θα χρησιμοποιηθούν προφανώς για να ελεγχεί η αντοχή τόσο του σωληναγωγού όσο και η ευστάθεια και η αντοχή τόσο του σωληναγωγού όσο και η ευστάθεια και η αντοχή των στηριγμάτων του.

Από τις δυνάμεις αυτές οι μόνιμες δυνάμεις αλλά ακόμη και εκείνες του ρεύματος μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια, ενώ οι δυνάμεις του κύματος κατά τη στιγμή της θραύσης του είναι πολύ σύνθετες και ποιοτικά σχεδόν άγνωστες. Στην περιοχή της θραύσης του κύματος επικρατούν οι δυνάμεις που οφείλονται στην ταχύτητα των μορίων, δηλαδή οι δυνάμεις ώθησης και δυναμικής άνωσης,  $F_D$  και  $F_L$  (και όχι οι δυνάμεις μάζας  $F_m$ ), που είναι ανάλογες του τετραγώνου της οριζόντιας ταχύτητας  $u^2$  των μορίων κατά την στιγμή της θραύσης.

Όμως οι δυνάμεις αυτές ενισχύονται με δυνάμεις που οφείλονται σε σοβαρά στροβιλώδη στοιχεία που δεν μπορούν να καθοριστούν θεωρητικά.

Όπως μάλιστα έχει αναφερθεί, ο υπολογισμός των δυνάμεων που ασκούν τα κύματα πάνω στο σωληναγωγό στην περιοχή της θραύσης τους είναι δυνατόν να υπολογισθούν με ακριβείς

θεωρητικές σχέσεις και αυτή η θεωρητική αδυναμία αποτελεί ένα εμπόδιο στην εφαρμογή του τρόπου αυτού εγκατάστασης μεγάλων σωληναγωγών στην 1<sup>η</sup> Ζώνη, για μέτριους και ισχυρούς κυματισμούς.

Όπως επειδή στην περίπτωση αυτή πρόκειται για μικρούς σωληναγωγούς και μικρούς κυματισμούς με μικρές δυναμικές δράσεις, είναι δυνατόν για τον υπολογισμό των δυνάμεων  $F_D$  και  $F_L$ , που ασκούν τα κύματα πάνω στους σωληναγωγούς στην περιοχή της θραύσης τους, να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες σχέσεις που χρησιμοποιούνται και στη περιοχή έξω από την ζώνη θραύσης, παίρνοντας όμως πολύ συντηρητικές τιμές των συντελεστών  $C_D$  και  $C_L$  και ως οριζόντια ταχύτητα των μορίων  $u_\theta$ , εκείνη κατά τη στιγμή της θραύσης του κύματος.

Φυσικά δεν υπάρχουν απόλυτα ακριβείς θεωρητικές σχέσεις που δίνουν την ταχύτητα αυτή, ενώ οι τιμές των συντελεστών  $C_D$  και  $C_L$  ποικίλουν. Για τον υπολογισμό της οριζόντιας αυτής ταχύτητας των μορίων κατά τη στιγμή της θραύσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί πίνακας ο οποίος έχει προκύψει από την θεωρία Steam Fuction του R. Dean που σήμερα θεωρείται απ' όλους η πιο έγκυρη και ακριβής θεωρία. Στην πράξη χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση υπολογισμού της ταχύτητας των μορίων  $u_\theta$  κατά την στιγμή της θραύσης, που έχει ως βάση τη θεωρία του μεμονωμένου κύματος:

$$u_\theta = (gh_\theta)^{1/2}$$

όπου:  $h_\theta$  = κάποιο από τα  $H_\theta, d_\theta$  και  $h_\theta$  ( Βλέπε ΣΧ.3.7γ ).

$H\theta$  = το ύψος του θραυόμενου κύματος.

$d\theta$  = το βάθος του πυθμένα στην περιοχή θραύσης.

$hb$  = το ύψος από τον πυθμένα μέχρι την κορυφή του θραυόμενου κύματος.

$at$  = το βάθος της κοιλίας του θραυόμενου κύματος από το Μ.Ε.Θ.

Ως  $h\theta$  έχουν προταθεί το  $H\theta$ , το  $d\theta$  και το  $hb$ . Η επιλογή του  $h\theta$  από αυτά, ανήκει στον μελετητή μηχανικό.

Έτσι αν εκλεγεί:

α.  $h\theta = d\theta$  και επειδή  $d\theta = 1,28H\theta$  (Solidary theory)

$$\text{τότε: } C_\theta = u_\theta = (1,28gH_\theta)^{1/2}$$

β.  $h\theta = hb = H\theta + d\theta = at$

$$\text{τότε: } C_\theta = u_\theta = \delta(H_\theta)^{1/2} \text{ (X)}$$

$$\text{όπου: } \delta = [g(1+u-\tau)]^{1/2}$$

$$u = d\theta/H\theta$$

$$\tau = at/H\theta$$

Θέτοντας  $u = 1,28$  και  $\tau = 0,15 - 0,40 = \frac{1}{2}(0,15 + 0,40) = 0,28$  η σχέση

$C_\theta = u_\theta$  γράφεται:

$$C_\theta = u_\theta = (2gH_\theta)^{1/2}$$

γ.  $h\theta = H\theta + d\theta = 2,28H\theta$

$$\text{τότε: } C_\theta = u_\theta = (2,28gH_\theta)^{1/2} \text{ (Kamar 1969)}$$

Ο υπολογισμός συνεπώς των δυνάμεων του κύματος πάνω στον σωληναγωγό, κάτω από τις συνθήκες θραύσης του κύματος, μπορεί να γίνει κατά προσέγγιση με τον παραπάνω τρόπο παίρνοντας τις προηγούμενες σχέσεις και τις δυσμενέστερες τιμές των συντελεστών  $C_D$  και  $C_L$  κατά την φάση της θραύσης του κύματος.



### 3.2.2 2<sup>η</sup> ΖΩΝΗ Ή ΖΩΝΗ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ: $d_{\theta} < d < d_{op}$ .

Η περιοχή της ζώνης αυτής (βλέπε Σχήμα 3.1) αρχίζει από τη γραμμή της θραύσης του κύματος στην οποία τελειώνει η 1<sup>η</sup> ζώνη (στο βάθος  $d_{\theta}$ ) και φθάνει μέχρι την οριακή γραμμή της αυτοδύναμης ισορροπίας του σωληναγωγού, που ταυτίζεται με κάποια ορισμένη βυθοκαμπύλη σε ένα οριακό βάθος  $d_{op}$ .

Στο βάθος αυτό καθώς και στα μεγαλύτερά του, οι δυνάμεις του κύματος είναι μικρές ή και μηδαμινές, ώστε ο σωληναγωγός να ισορροπεί πάνω στον πυθμένα, χωρίς να υπάρχει ανάγκη να αγκυρωθεί ή να συγκρατηθεί τεχνητά.

Δηλαδή από το βάθος αυτό αρχίζει η τρίτη ζώνη της αυτοδύναμης ισορροπίας και επεκτείνεται απεριόριστα προς τα βαθιά νερά. (Φυσικά εδώ υπάρχει μία εξαίρεση στην περίπτωση που το σχετικό μέσο ειδικό βάρος του σωληναγωγού  $\gamma_s = \gamma_m / \gamma_w$  είναι μικρότερο ή ίσο της μονάδας, οπότε το βάρος του σωληναγωγού δεν ισορροπεί τη δύναμη της υδροστατικής άνωσης και ο σωληναγωγός επιπλέει).

Στην περίπτωση αυτή προφανώς είναι  $d_{op}$  και η τρίτη ζώνη καταργείται γιατί οι σωληναγωγοί χρειάζονται αγκυρώσεις για να συγκρατηθούν σε ένα οποιοδήποτε βάθος από την που έχουν να ανεβαίνουν κατακόρυφα προς την επιφάνεια.

Οι σωλήνες π.χ. HD - PE που κατασκευάζονται με πολυαιθυλένιο, με ειδικό βάρος υλικού  $0.95 \text{ t/m}^3$ , εάν διοχετεύουν υγρά ειδικού βάρους μικρότερου ή ίσου προς εκείνου του θαλάσσιου νερού, τότε οπωσδήποτε χρειάζονται αγκυρώσεις για να εξουδετερώσουν τις δυνάμεις της άνωσης που προκαλούνται από τις υδροστατικές πιέσεις).

Αντίθετα, στα μικρότερα βάθη από το οριακό αυτό βάθος  $d_{op}$ , δηλαδή μέσα στην ενδιάμεση ζώνη ( $d_0 < d < d_{op}$ ), οι δυνάμεις που ασκούν τα κύματα πάνω στο σωληναγωγό (ενισχυόμενες, πολλές φορές, και με τις δυνάμεις των υποθαλάσσιων ρευμάτων) έχουν σημαντικές τιμές, τις οποίες δεν μπορούν να εξισορροπήσουν οι ελεύθερα εδραζόμενοι σωληναγωγοί πάνω στον πυθμένα μόνο με το βάρος τους και με την δύναμη τριβής τους πάνω στον πυθμένα, αλλά πρέπει να σταθεροποιηθούν με πρόσθετα τεχνητά μέσα.

Το πέρας της ζώνης αυτής προσδιορίζεται με τον υπολογισμό του οριακού αυτού βάθους  $d_{op}$  που αποτελεί και το τέλος της 2<sup>ης</sup> ζώνης. Έτσι εφόσον υπολογισθεί το βάθος  $d_{op}$  και δεδομένου ότι το βάθος  $d_0$  της άλλης γραμμής της ζώνης έχει καθορισθεί από τον προσδιορισμό της πρώτης ζώνης, η ενδιάμεση ζώνη αυτόματα καθορίζεται πάνω στο δεδομένο βυθομετρικό χάρτη της υπόψη περιοχής (βλέπε Σχήμα 3.1).

Βεβαίως δεν είναι απαραίτητο να προσδιορισθεί το βάθος αυτό  $d_{op}$ , γιατί τούτο θα προσδιορισθεί οπωσδήποτε από τον σταδιακό υπολογισμό στα διάφορα βάθη του σωληναγωγού που

γίνεται από τη θέση βάθους  $d_0$  μέχρι το τέλος του, μέσα στη 2<sup>η</sup> ζώνη και εφόσον το τέλος του αγωγού φθάνει ως το τερματικό αυτό βάθος  $d_{op}$  της ζώνης αυτής.

Έτσι ο υπολογισμός του  $d_{op}$  εκ των προτέρων δεν είναι πρακτικά απαραίτητη ενέργεια, και γι' αυτό δεν θα επιδιωχθεί στην παραπέρα ανάλυση.

Όπως έχει προαναφερθεί, μέσα στην ενδιάμεση ζώνη, ο σωλήνας δεν ισορροπεί μόνος του, τοποθετημένος και εδραζόμενος ελεύθερα πάνω στον πυθμένα, και για να στερεωθεί θα πρέπει ή να ταφεί σ' όλο του, το μήκος μέσα στο έδαφος κάτω από τον πυθμένα και να αγκυρωθεί (εφόσον χρειάζεται) όπως αυτό επιβάλλεται και στον 1<sup>ο</sup> τρόπο που εφαρμόζεται στην 1<sup>η</sup> Ζώνη της θραύσης ή να τοποθετηθεί πάνω στον πυθμένα (ή και λίγο πάνω από αυτόν) και να αγκυρωθεί ή να στηριχθεί και να προσδεθεί ανά ορισμένες αποστάσεις με αγκύρια και στηρίγματα διαφόρων τύπων, όπως αυτά έχουν περιγραφεί και εφαρμόζονται στην αγκύρωση των σωληναγωγών που τοποθετούνται με τον πρώτο τρόπο ταφής μέσα ή πάνω στον πυθμένα στην 1<sup>η</sup> Ζώνη (Σχήματα 3.6 και 3.7).

Ειδικότερα, για την τοποθέτησή τους λίγο πάνω από τον πυθμένα κατά ένα ελεύθερο άνοιγμα μεταξύ του σωλήνα και του πυθμένα  $e$  ή  $e/D$  (συνήθως κατά  $e/D=0,20/1,00$ ), χρησιμοποιούνται διάφορα αγκύρια και πλάκες, όπως π.χ. των Σχημάτων 3.8α,β,γ,δ,ε,ζ και θ, καθώς και άλλες βοηθητικές κατασκευές που μπορεί να είναι καθαρές επινοήσεις του μελετητή μηχανικού.

Μια τέτοια επινόηση μπορεί να τεθεί σε εφαρμογή κατασκευάζοντας ένα πρόσθετο εξωτερικό περίβλημα του σωληναγωγού (Σχήμα 3.8β), από κατάλληλο βαρύτερο υλικό, τέτοιου πάχους και τέτοιου ειδικού βάρους, ώστε να ισορροπεί μόνος του με το δικό του βάρος και χωρίς αγκύρια, στηρίξεις ή αγκυρώσεις, σε ολόκληρο εκείνο το τμήμα που βρίσκεται μέσα στη δεύτερη ζώνη. Φυσικά, η ενίσχυση αυτή του σωληναγωγού δεν χρειάζεται να υπάρχει και στο τμήμα εκείνο που τυχόν προχωρεί μέσα στη 3<sup>η</sup> Ζώνη.

Ο πρώτος τρόπος της ταφής των σωληναγωγών στη 2<sup>η</sup> αυτή ζώνη είναι ακριβώς ο ίδιος με τον 1<sup>ο</sup> τρόπο της 1<sup>ης</sup> Ζώνης και κατά συνέπεια και εδώ ισχύουν ακριβώς τα ίδια στοιχεία και οι ίδιες θεωρήσεις, με τη διαφορά ότι εδώ ο πυθμένας γενικά δεν έχει ανάγκη προστασίας, γιατί δεν υποσκάπτεται συνήθως από τις οριζόντιες κινήσεις των υγρών μορίων κοντά στον πυθμένα.

Σ' όσες όμως περιπτώσεις (κυματικές, παλιρροιακές ή άλλες ισχυρές δράσεις) μπορεί να αναπτυχθούν ταχύτητες πάνω από τις κρίσιμες ταχύτητες παράσυρσης των υλικών κι αυτό πρέπει να ελέγχεται πάντοτε, τότε θα παίρνονται κι εδώ τα μέτρα που προτείνονται και στην πρώτη ζώνη.

Δηλαδή θα εξετάζεται η περίπτωση της ολοκληρωτικής ταφής του σωληναγωγού κάτω ή πάνω από τον πυθμένα (βλέπε Σχήματα 3.2-3.7) ή προτιμότερο η περίπτωση της χρήσης Τεχνητών Ογκόλιθων ως στηρίγματα, του τύπου του Σχήματος

3.8ζ,θ ή παρεμφερούς, που να εδράζονται όμως σε ασφαλή βάθη (κάτω από τον πυθμένα) μεγαλύτερα του μέγιστου πάχους  $\max \Delta H$  της περιοδικής διάβρωσης του πυθμένα που διασφαλίζουν διαβρώσεις  $\Delta H$  μέχρι 1,00 m.

Η μέθοδος της ολοκληρωτικής ταφής των σωληναγωγών κάτω από τον πυθμένα στην ενδιάμεση ζώνη δεν προτιμάται συνήθως, γιατί γενικά θεωρείται δυσκολότερη και ίσως δαπανηρότερη.

Έχει όμως το σοβαρότερο πλεονέκτημα ότι ο σωληναγωγός προστατεύεται πλήρως, όχι μόνο από τις δράσεις των κυμάτων, αλλά και τυχόν προσκρούσεις σκαφών ή διαφόρων εξαρτημάτων και αντικειμένων τους (αγκυρών κ.λ.π.), και αυτό το πλεονέκτημα πολλές φορές είναι ικανό να επιβάλλει την προτίμηση του συστήματος της ταφής.

Στην περίπτωση όμως της εφαρμογής του δεύτερου τρόπου, δηλαδή της τοποθέτησης των σωληναγωγών πάνω στον πυθμένα ή και υψηλότερα απ' αυτόν, δεν προτιμάται η επίχωσή τους, με το 2<sup>ο</sup> τρόπο της 1ης Ζώνης γιατί υπάρχουν σοβαρά μειονεκτήματα, αλλά τοποθετούνται ελεύθερα πάνω ή και λίγο ψηλότερα από τον πυθμένα οπότε πρέπει απαραίτητα να υπολογισθούν με ικανή ακρίβεια όλες οι δυνάμεις που δρουν επάνω τους, τόσο κατά την οριζόντια διεύθυνση, όσο και κατά την κατακόρυφη ώστε να εξουδετερωθούν με αγκύρια, στηρίξεις ή και με άλλα υλικά.

Οι δυνάμεις αυτές είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό, τόσο του βάρους των συναφών με αυτά εξαρτημάτων και στοιχείων σύνδεσης, πρόσδεσης, αγκύρωσης, στήριξης και εγκατάστασής τους, όσο και για τον υπολογισμό αυτού του ίδιου του σωληναγωγού και της επινόησης του εδάφους αυτού ή των βάθρων στήριξής του.

Ο σωληναγωγός υφίσταται κάμψεις και συνεπώς καταπονείται με καμπτικές ροπές στις θέσεις των στηρίξεων ή αγκυρώσεών του, καθώς και στα ελεύθερα μεταξύ αυτών τμήματά του, και ενδέχεται μάλιστα (συνηθέστερη περίπτωση) και κατά τις δύο διευθύνσεις (οριζόντια κατά την εγκάρσια έννοια του αγωγού και κατά την κατακόρυφο).

Πρέπει να σημειωθεί ότι και στην παρούσα περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα αγκύρια των τύπων που έχουν αναφερθεί και παραπάνω (βλέπε Σχήμα 3.8α) μόνο δεξιά ή ακόμη συνηθέστερα, συγχρόνως δεξιά και αριστερά του σωληναγωγού με κατάλληλες προσδέσεις, τα δε αγκύρια σχήματος  $\Pi$  και οι ημικύλινδροι  $\Omega$ , ιπαστί αλλά με ένα μικρό περιθώριο κίνησης του σωληναγωγού (βλέπε Σχήματα 3.8γ,δ, και θ) κατά πλάτος και καθ' ύψος, κυρίως όμως κατά την κατακόρυφη έννοια.

Για την περίπτωση που προβλέπεται ο σωλήνας να τοποθετηθεί πάνω και σ' επαφή με τον πυθμένα αυτά έχουν σκοπό να διευκολύνουν την τοποθέτησή τους για να μην προκαλέσουν

ζημιές στους σωλήνες, οι οποίοι εν πάσει περιπτώσει συνιστάται να προστατεύονται με διάφορα ελαστικά υλικά.

Έτσι καθορίζονται (βλέπε Σχήμα 3.8):

α. το ελεύθερο εσωτερικό πλάτος:  $B=(1,05/1,20)D$  (XI)

β. το περιθωριακό ύψος πάνω από τον πυθμένα:

$$e=(0,05/0,20)D \quad (\text{XII})$$

Στην περίπτωση όμως που αποφασισθεί ο σωληναγωγός να τοποθετηθεί λίγο ψηλότερα από τον πυθμένα, γιατί τότε οι κατακόρυφες προς τα πάνω αλλά και οι οριζόντιες δυνάμεις που προκαλούν τα κύματα και τα ρεύματα πάνω στο σωλήνα είναι σημαντικά μικρότερες, και συνεπώς και η εγκατάσταση όλη είναι οικονομικότερη, τότε τα παραπάνω κατά πλάτος και καθ' ύψος περιθώρια καθορίζονται αντίστοιχα σε:

$$B=(1,05/1,20)D \quad (\text{XIII})$$

και

$$e=(0,20/1,00)D \quad (\text{XIV})$$

Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται ειδικά αγκύρια έδρασης, στήριξης και πρόσδεσης των σωληναγωγών.

Τέτοια αγκύρια είναι π.χ. τα αγκύρια των σχημάτων 3.8β, γ, δ, ζ και θ.

Πάντως το ελεύθερο περιθωριακό ύψος  $e$ , προκαθορίζεται ακριβώς γιατί παίρνεται υπόψη στον υπολογισμό.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην εκλογή των διαστάσεων όλων γενικά των αγκυρίων σε σχέση με την κατά μήκος απόσταση τοποθέτησής τους και με την αντοχή σε κάμψη του σωληναγωγού, ώστε ο όγκος τους να μην είναι μεγάλος για να μην προβάλλει σοβαρή αντίσταση στην ροή.

Στην περίπτωση όμως που αναπόφευκτα (όπως π.χ. στην περίπτωση των διαχυτήρων αγωγών, ενός δικτύου αποχέτευσης που απαιτούν την τοποθέτηση τους σε υπολογίσιμο ύψος πάνω από τον πυθμένα, (βλέπε σχήμα 3.8θ) ή και για άλλους σοβαρούς ειδικούς λόγους (π.χ. λόγω οικονομικής τοποθέτησης των αγκυρίων) καθορισθούν διαστάσεις που επηρεάζουν τη ροή, τότε στον έλεγχο της ισορροπίας τους ή πρέπει να υπολογισθούν και να παρθούν και οι δυνάμεις του κύματος που ασκούνται πάνω στα αγκύρια αυτά ή προτιμότερο τα αγκύρια - στηρίγματα να ταφούν μέσα στον πυθμένα, εφόσον αυτός ο τρόπος κριθεί οικονομικά και τεχνικά κατάλληλος.

Οι παραπάνω τρόποι αγκύρωσης και στήριξης των σωληναγωγών δεν είναι μοναδικοί και φυσικά, κάθε μηχανικός μελετητής μπορεί να επιλέξει ή και να επινοήσει άλλους τρόπους, ίσως καλύτερους και οικονομικότερους.



### 3.2.3. 3<sup>η</sup> ΖΩΝΗ ΑΥΤΟΔΥΝΑΜΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ (Η ΗΡΕΜΙΑΣ) $d > d_{op}$

Η περιοχή αυτή καθορίζεται από την οριακή βυθοκαμπύλη  $d = d_{op}$ , στην οποία τελειώνει η ενδιάμεση ζώνη και εκτείνεται απεριόριστα προς το πέλαγος σε μεγαλύτερα βάθη  $d > d_{op}$ .

Η ζώνη αυτή καθορίζεται αυτόματα με τον καθορισμό της 2<sup>ης</sup> Ζώνης.

Στη ζώνη αυτοδύναμης ισορροπίας οι δυνάμεις του κύματος και του τυχόν υπάρχοντος ρεύματος πάνω στους σωληναγωγούς που βρίσκονται εδρασμένοι ελεύθερα πάνω στον πυθμένα είναι μηδαμινές ή αρκετά μικρές, ώστε να μην είναι ικανές να ανατρέψουν την αυτοδύναμη ισορροπία των σωληναγωγών που αυτοί έχουν λόγω βάρους και της τριβής τους πάνω στον πυθμένα, κι έτσι δεν έχουν ανάγκη να αγκυρωθούν ή να συγκρατηθούν.

Φυσικά, εάν οι σωληναγωγοί είναι ελαφρού τύπου (πολυαιθυλένιο, PVC κ.α.) τότε η υδροστατική πίεση δημιουργεί δυνάμεις άνωσης μεγαλύτερες εκείνων του δικού τους βάρους και θα πρέπει οπωσδήποτε να αγκυρωθούν με αγκύρια όπως και στην περίπτωση της 2<sup>ης</sup> Ζώνης.

Βέβαια, στην περίπτωση εγκατάστασης των σωλήνων στα βαθιά νερά ( $d > L_0/2$ ), επιβάλλεται η εξουδετέρωση μόνο των δυνάμεων υδροστατικής πίεσης και εκείνων του τυχόν υπάρχοντος ρεύματος, γιατί όπως έχει αναφερθεί οι δυνάμεις των κυμάτων που αναπτύσσονται στα βάθη αυτά από τα κύματα είναι μηδενικές.

Στις περιπτώσεις δηλαδή αυτές που, ενώ οι δυνάμεις των κυμάτων και των ρευμάτων είναι μηδενικές, ο σωληναγωγός επιπλέει λόγω των υδροστατικών πιέσεων (δηλαδή αυτοδύναμη ισορροπία των σωληναγωγών δεν υπάρχει), το όριο βαθών μεταξύ της δεύτερης και της τρίτης ζώνης καταργείται και η περιοχή της 3<sup>ης</sup> Ζώνης προστίθεται κατ' επέκταση στην 2<sup>η</sup> Ζώνη.

Τότε το οριακό βάθος της 2<sup>ης</sup> Ζώνης είναι απεριόριστο, δηλαδή είναι:  $d_{op} = \text{απειρο}$ .

## 4. ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

### 4.1 Υποθαλάσσιος αγωγός

Οι παροχές υποθαλάσσιου αγωγού που θα κατασκευασθεί στην πρώτη φάση και θα έχει διάμετρο 630 mm με εσωτερική 558.6 mm και ονομαστική πίεση 6 atm, είναι:

$$\text{Max } Q=0.27 \text{ m}^3/\text{s}$$

Εναλλακτικά είναι δυνατή η χρήση σώληνα διαμέτρου  $\Phi 500$  mm που απαιτεί μεγαλύτερη ονομαστική πίεση της τάξης των 9 atm, ενεργειακό κόστος που μπορεί να αποσβεστεί στις δαπάνες λειτουργίας με ανύψωση της δεξαμενή με πρόσθετο κόστος του ενός εκατ.δρχ. περίπου.

Η αναζήτηση της βέλτιστης λύσης είναι θέμα βελτιστοποίησης του συστήματος βιολογικού καθαρισμού και υποθαλάσσιου που θα πρέπει να αναζητηθεί από τον Ανάδοχο κατασκευής του έργου στην μελέτη προσφοράς κατασκευής.

Οι ταχύτητες που επιτυγχάνονται με την παραπάνω παραδοχή στοιχεία, είναι:

$$\text{max } V=1.06 \text{ m/s}$$

Ο υπολογισμός των απωλειών γίνεται με το νομογράφημα του Σχήματος 4.2 που προτείνεται από όλους τους κατασκευαστές σωλήνων πολυαιθυλενίου HDPE.

Για παροχή  $Q=0.27 \text{ m}^3/\text{s}$  έχουμε:  $J=0.0012$

Για τη δεύτερη φάση που θα χρησιμοποιηθεί διάμετρος 500 mm με εσωτερική 443.4 mm και ονομαστική πίεση 6 atm, η παροχή είναι:

$$\text{Max } Q=0.12 \text{ m}^3/\text{s}$$

Αντίστοιχα η ταχύτητα που είναι:  $V=0.82 \text{ m/s}$  και οι απώλειες :  $J=0.0010$ .

#### 4.2 Διαχυτήρες

Ο αριθμός των στομιών και η θέση αλλαγής της διαμετρου στον διαχυτήρα θα καθοριστούν από τους υδραυλικούς υπολογισμούς που ακολουθούν.

Η υπολογιστική μέθοδος είναι η παρακατω:

Υπολογισμος υψους  $H_i$

$$H_i = H_{i-1} [(\gamma' - \gamma) / \gamma] \times \Delta\psi + h_{f,i-1} + \Delta H$$

οπου:

$\Delta\psi$ : υψομετρικη διαφορα μεταξυ στομιων

$$0.005 \times 3 = 0.015 \text{ m}$$

$$(\gamma' - \gamma) / \gamma = (1.025 - 1) / 1 = 0.025$$

$h_{f,i-1}$ : οι γραμμικες απωλειες στο αντιστοιχο τμημα

$\Delta H$ : οι τοπικες απωλειες

Υπολογισμος του συντελεστη  $P_i$ :

$$P_i = [q_{i-1} + q_i + \dots + q_1]^2 / [(\pi D^2 / 4)^2 \times 2gH_i]$$

Υπολογισμος του συντελεστη συστολης:

$$c_i = (c_1 - p_i)$$

Υπολογισμος της παροχης  $Q_i$ :

$$Q_i = c_i [(\pi d_i^2)^2 \times 2gH_i]^{1/2} + \sum_{k=1}^{k=i-1} q_k$$

Υπολογισμος της ταχυτητας  $V_i$ :

$$V_i = 4Q_i / \pi D^2$$

$$H_{f,i,i-1} = l_j$$

Για τους υπολογισμους χρησιμοποιηθηκαν τα παρακατω στοιχεια:

$$D_A = 0.5586 \text{ m}$$

$$D_B = 0.3546 \text{ m}$$

$$d_1 = d_2 = 0.1022 \text{ m}$$

$$d_i = 0.090 \text{ m}, \quad i = 3, 4, \dots, n$$

Ο συντελεστής συστολής για το στόμιο του τύπου είναι :0.82  
και ο συντελεστής ισχύει για μήκος σωλήνα μεταξύ  $2d_i$  και  $5d_i$

Για μήκος 0.30m έχουμε :

$$2d_i = 0.20 \text{ και } 5d_i = 0.50\text{m}$$

$$2d_i = 0.18 \text{ και } 5d_i = 0.45\text{m}$$

οπότε ο συντελεστής ισχύει (Degremont : Water Treatment Handbook)

Η απόσταση μεταξύ των στομίων ώστε να αποφεύγεται η αλληλοεπικάλυψη των φλεβών που εκρέουν δίνεται από τον τύπο:

$$l = 0.15y + 2.10(d_i H_i) \text{ ή } l \geq 10d$$

Για  $H_i$  0.50 και  $d_i$  0.09 προκύπτει  $l = 1.5 + 0.5 = 2\text{m}$  ή  $l = 1.02$

Για λόγους ασφαλείας και καλύτερης αγκύρωσης προτείνεται  $l = 3\text{m}$

Το φορτίο στην κεφαλή του τελευταίου διαχυτήρα προτείνεται

$$H_0 = 0.45$$

Η ταχύτητα μέσα στον διαχυτήρα πρέπει να διατηρείται στα παρακάτω όρια:

$$0.30 < V < 1.20 \text{ m/s}$$

Η ταχύτητα που συνιστά η βιβλιογραφία για την οικονομικότητα του αγωγού και την αποφυγή υπερβολικών απωλειών (Metcalf & Eddy, 1979), είναι από 0.60 μέχρι 0.90 m/s.

Σε περίπτωση που τα λύματα έχουν υποστεί καθαρισμό και δεν υπάρχει σοβαρός κίνδυνος αποθέσεων μπορούμε να θεωρήσουμε σαν κάτω όριο  $V = 0.30 \text{ m/s}$ , ενώ αρκετοί δίνουν για μέγιστη ταχύτητα μέχρι  $V = 2.80 \text{ m/s}$

Από τη βιβλιογραφία προκύπτει ότι το εμβαδόν διατομής του διαχυτήρα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το συνολικό εμβαδόν των στομιών προτείνονται λόγοι εμβαδών των στομιών προς διαχυτήρα  $1/3 - 2/3$ ,  $E_{\delta}=0.172 \text{ m}^2$ ,  $E_{\sigma\tau}=0.118 \text{ m}^2$ , άρα  $E_{\sigma\tau}/E_{\delta}=2/3$ .

Στον πίνακα 4.3 φαίνονται οι αναλυτικοί υπολογισμοί του διαχυτήρα με βάση τις σχέσεις και παραδοχές που περιγράφησαν παραπάνω. Ο απαιτούμενος αριθμός στομιών είναι 18 για τον αγωγό της πρώτης φάσης, ενώ για τον αγωγό 400 mm της δεύτερης φάσης όπως φαίνεται από τον πίνακα είναι 7.

Τα αντίστοιχα μήκη είναι:

A' Φάση:

$\Phi 400$ ,  $L_B=17.0 \text{ m}$ ,  $N_B=7$

$\Phi 630$ ,  $L_A=31.0 \text{ m}$ ,  $N_R=11$

Συστολή 630/400,  $L_S=1.0 \text{ m}$

Συνολικό μήκος διαχυτήρα =49 m

B' Φάση:

$\Phi 400$ ,  $L=18 \text{ m}$

### 4.3 Φρεάτιο Φόρτισης

Ο υπολογισμός  $H_0$  του μανομετρικού ύψους από τη στάθμη της θάλασσας δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$H_0 = (V_\delta)^2 / 2g + (\gamma - \gamma' / \gamma)y + \Delta H$$

όπου:

$V_\delta$  : Ταχύτητα στην έξοδο του διαχυτήρα

$y$  : Βάθος εκβολής διαχυτήρα

$(\gamma - \gamma' / \gamma)$  : Πυκνότητα φορτίο :  $0.025y$

$\Delta H$  : Όλες οι απώλειες από το θάλαμο αναρρόφησης μέχρι και την εκροή της φλέβας στη θάλασσα.

- Εκτίμηση απωλειών μέχρι την αρχή του διαχυτήρα :
- Απώλειες στο φρεάτιο φόρτισης  $0.07 \text{ m}$
- Γραμμικές απώλειες μέσα στον υποθαλάσσιο αγωγό:  
 $2175 \times 0.0012 = 2.61 \text{ m}$
- Τοπικές απώλειες στις καμπύλες  $45^\circ$ :  
 $2 \times 0.2 \times [(1.06)^2 / 2 \times 9.81] = 0.02 \text{ m}$
- Το σύνολο των απωλειών μέχρι την κεφαλή του διαχυτήρα είναι :  $\Delta H' = 2.70 \text{ m}$

Για να βρεθεί σε πιο στόμιο παρουσιάζεται το δυσμενέστερο

$H_0$ , παρουσιάζεται ο πίνακας 5.3.

Από τον πίνακα έχουμε:  $H_0 = 3.28 \text{ m}$

Άρα κατώτατη στάθμη στο φρεάτιο φόρτισης  $3.28 \text{ m}$ .



Αντίστοιχα για τον αγωγό της δεύτερης φάσης, έχουμε:

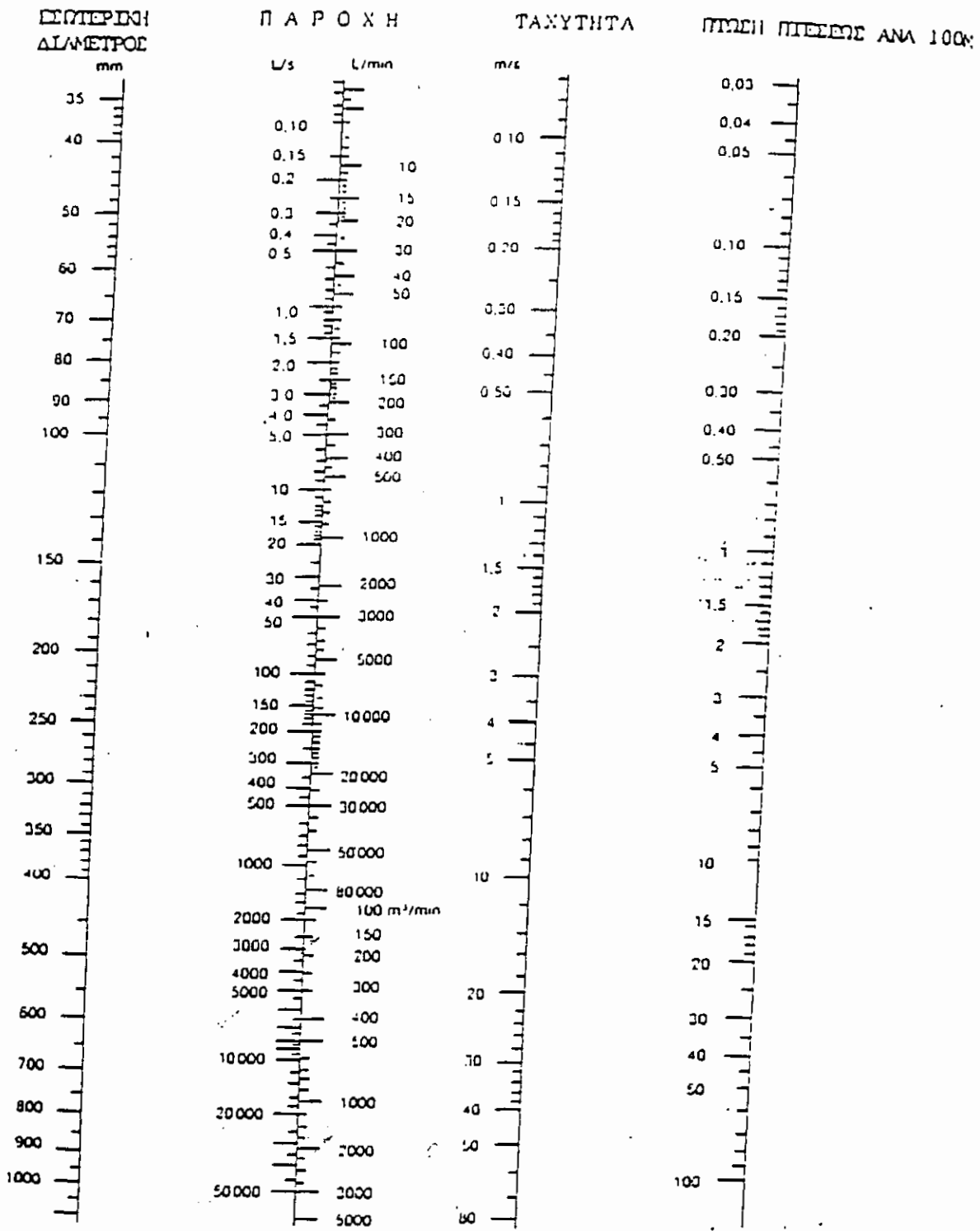
Απώλειες στο φρεάτιο φόρτισης	0.07 m
Γραμμικές στον αγωγό μεταφοράς : $2175 \times 0.0010 = 2.18$ m	
Τοπικές στις καμπύλες και τη συστολή 500/400	0.03 m
Σύνολο	2.28 m

Απώλειες μέσα στο διαχυτήρα : $0.4730 - 0.45 =$	0.023 m
Απώλειες στο σωλήνα εξόδου της φλέβας	0.019 m
Σύνολο	0.042 m

Συνολικές απώλειες :  $0.042 + 2.28 = 2.32$  m

$$H_0 = [(2.44)^2 / (2 \times 9.81)] + 0.025 [(0.005 \times 19) + 7.5] + 2.32 = 2.81 \text{ m}$$

κατώτατη στάθμη στο φρεάτιο φόρτισης: 2.90 m



Σημια 42 Νομογράφημα Εκτίμησης Απωλειών Σωλήνων Πολυαιθυλενίου HDPE

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3 ( Υπολογισμός Διαστάσεων Διαχυτήρα )

στομ	di	D	Hi	$\frac{(r_1-r_2)}{\gamma} \Delta y$	pi	qi	Vi	Ji	hfi,i-1	ΔHi	q/Q	ΔH
1	0.1022	0.3456	0.45	0.0004	0	0.02	0.41	0.0004	0.0012			
2	0.1022	0.3456	0.45	0.0004	0.004	0.02	0.41	0.0004	0.0012			
3	0.09	0.3456	0.4523	0.0004	0.019	0.0153	0.56	0.0007	0.0022		0.3	0.0007
4	0.09	0.3456	0.4554	0.0004	0.035	0.015	0.71	0.0011	0.0033		0.2	0.0005
5	0.09	0.3456	0.4597	0.0004	0.036	0.0148	0.86	0.0016	0.0048		0.18	0.0006
6	0.09	0.3456	0.4655	0.0004	0.081	0.0145	1.01	0.0022	0.0066		0.15	0.0006
7	0.09	0.3456	0.473	0.0004	0.111	0.0141	1.15	0.0026	0.0078		0.13	0.0005
8	0.09	0.5586	0.4851	0.0004	0.023	0.0155	0.53	0.0003	0.0009	0.0033	0.11	0.0001
9	0.09	0.5586	0.4865	0.0004	0.029	0.0154	0.59	0.0004	0.0012		0.1	0.0001
10	0.09	0.5586	0.4882	0.0004	0.036	0.0153	0.65	0.0005	0.0015		0.1	0.0001
11	0.09	0.5586	0.4902	0.0004	0.044	0.0151	0.71	0.0006	0.0018		0.09	0.0001
12	0.09	0.5586	0.4925	0.0004	0.053	0.0149	0.78	0.0007	0.0021		0.08	0.0001
13	0.09	0.5586	0.4951	0.0004	0.062	0.0144	0.83	0.0008	0.0024		0.07	0.0001
14	0.09	0.5586	0.498	0.0004	0.071	0.0142	0.89	0.0009	0.0027		0.07	0.0001
15	0.09	0.5586	0.5012	0.0004	0.08	0.014	0.947	0.001	0.003		0.06	0.0001
16	0.09	0.5586	0.5047	0.0004	0.09	0.0138	1	0.0011	0.0033		0.06	0.0001
17	0.09	0.5586	0.5085	0.0004	0.1	0.014	1.06	0.0013	0.0039		0.05	0.0001
18	0.09	0.5586	0.5129	0.0004	0.11	0.013	1.11	0.0014	0.0042		0.05	0.0001

## 5. ΔΙΑΧΥΣΗ, ΔΙΑΣΠΟΡΑ, ΑΡΑΙΩΣΗ

### A) Γενικά

Ο υπολογισμός της αραιώσης των λυμάτων θα γίνει σε δύο φάσεις :

#### (1) Αρχική $S_0$

Σε αυτή εξετάζεται η διάχυση των λυμάτων κατά την εξοδό τους από το στόμιο του διαχυτήρα μέχρι την επιφάνεια.

#### (2) Αραίωση $S_1$

Εξετάζεται η διάχυση που υφίστανται τα λύματα περαιτέρω, όταν παρασύρονται από το επιφανειακό θαλάσσιο ρεύμα και διαχέονται περισσότερο. Οφείλεται κυρίως στην τυρβώδη ροή και τα ρεύματα και αυξάνεται με την απόσταση.

### B) Ελάχιστη απαιτούμενη αραιώση

Σύμφωνα με τα κριτήρια σχεδιασμού που συζητήθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο, το διαλυμένο οξυγόνο (DO) πάνω από το σημείο εκβολής των λυμάτων θα πρέπει να είναι  $\geq 5\text{mg/l}$

Η σχέση που συνδέεται το BOD με το οξυγόνο που καταναλώθηκε είναι:

$$\text{BOD}_{\text{Τολικό}} = f(\text{DO}_T - \text{DO}_{\text{επιτρ}})$$

όπου :

$$\text{BOD}_{\text{Τολικό}} = \text{Το συνολικό BOD σε θερμοκρασία } T^{\circ}\text{C}$$

$f$  = συντελεστής αυτοκαθορισμού που κυμαίνεται για την περίπτωση αυτή μεταξύ 1.0 και 1.5. Εκλέγεται  $f=1.25$

(Sluggish streams & large of lakes impoundments = Elements of Water Supply and Waste-water disposal)

$DO_T$  = Το διαλυμένο οξυγόνο στη θάλασσα και σε θερμοκρασία  $T^\circ C$ .

$$DO_{\text{επιτρ}} = 5 \text{ mg/l}$$

Υποτίθεται ότι η θερινή θερμοκρασία της θαλασσάς είναι  $T_\Theta = 25^\circ C$

Για οικιακά λύματα κατά μέσο όρο ισχύει η σχέση :

$$BOD_5 / BOD_{\text{ολ}} = 0.70$$

Ακόμη :

$$BOD_{\text{ολ}}(25^\circ) = BOD_{\text{ολ}}(20^\circ) \times 1.056^{25-20}$$

Με βάση αυτές τις σχέσεις και την υπόθεση :

$$DO_{T(\text{θαλάσσης})} = DO_{(25^\circ)(\text{θαλ})} = 6.74 \text{ mg/l (από πίνακες)}$$

έχουμε:

$$BOD_{\text{ολ}}(25^\circ) = 1.25 (6.74 - 5.00) = 2.18 \text{ mg/l}$$

$$BOD_{\text{ολ}}(25^\circ) = BOD_{\text{ολ}}(25^\circ) / 1.056^5 = 2.18 / 1.056^5 = 1.66 \text{ mg/l}$$

$$BOD_5(25^\circ) = 1.66 \times 0.70 = 1.16 \text{ mg/l}$$

$$BOD_5(25^\circ) = 1.16 \times 1.056^5 = 1.52 \text{ mg/l}$$

Η ελάχιστη αραιώση που πρέπει να παρέχεται από το υποβρύχιο αγωγό είναι:

$$S = BOD_5(\text{εξόδου}) / BOD_5(\text{διαλ})$$

Λαμβάνεται: BOD 5(εξόδου)=20mg/l

Η μέση ελάχιστη αραιώση που πρέπει να παρέχεται από τον υποβρύχιο αγωγό για όλη την διάρκεια της ζωής του έργου είναι:

$$S=20/1.52=14$$

Μια προσεγγιστική μέθοδος για την εκτίμηση της μέσης αραιώσης, λαμβάνοντας υπόψη το πεδίο λυμάτων σε περίπτωση αγωγού εκβολής με διάχυτη και κάθετο ρεύμα ταχύτητας  $u=0.10\text{m/s}$ , προκύπτει:

$$S_a=0.54[(g \times \Delta\rho/\rho)^{1/3} \times y]/[(q/L)^{2/3}]$$

όπου:

$$g = 9.81\text{m/S}^2$$

$$\Delta\rho/\rho = 0.025$$

$$q = 0.27\text{m}^3/\text{s}$$

$$L = 47$$

$$u = 0.10\text{m/s}$$

$$y = 7.5\text{m}$$

$$S_{aw} = S_a/[(1+q \times S_a)/(u \times L + v)]$$

$$S_a = 0.54 \times \{[(9.81 \times 0.025)^{1/3} \times 7.5]/(0.27/49)^{2/3}\} = 81$$

$$S_{aw} = 81/[(1+0.27 \times 81/0.10 \times 49 + 7.5) \times 44]$$

γίνεται έλεγχός για την πραγματική αραιώση που επιτυγχάνεται σε αντιπροσωπευτικά στόμια του διαχυτήρα.

Στην ανάλυση που ακολουθεί δεν λαμβάνεται υπόψη η επίδραση θαλασσιών ρευμάτων και έτσι οι υπολογισμοί συντελούν σε πρόσθετη ασφάλεια.

Οι υπόλογισμοί που ακολουθούν βασίζονται στην καμπύλη του Abraham (Μπουναζούντας, 1984) στη θάλασσα.

Οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς είναι:

$$f(y/dS_0=y/Df)$$

όπου:

$y$  =βάθος εκβολής στομίου

$d$  =διάμετρος στομίου

$S_0$  =διάλυσης στον άξονα φλέβα

$F$  =αριθμός Froude:  $(u/gd)^{1/2}$

$u$  = ταχύτητα εκροής :0.243

$g$  = $[(\gamma' - \gamma) / \gamma] \times \gamma = 0.025 \times 9.81 = 0.243$

Με βάση τα παραπάνω καταρτίζεται ο πίνακας 5.1

#### ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΑΙΩΣΗΣ ΚΑΤΑ ΑΒΡΑΗΑΜ

Στομ	d	g	u	$\gamma$	F	$\log(\gamma/dF)$	$\log(\gamma/dFo)$	$S_0$	S
1	0.1022	0.020	2.44	7.73	15.42	0.69	0.280	39.69	63.50
3	0.09	0.0153	2.40	7.70	16.16	0.72	0.270	45.95	73.52
7	0.09	0.0141	2.22	7.66	14.95	0.76	0.260	46.77	74.83
8	0.09	0.0155	2.44	7.62	16.43	0.71	0.270	45.46	72.74
12	0.09	0.0149	2.35	7.58	15.83	0.73	0.275	44.71	71.54
15	0.09	0.0140	2.20	7.54	14.82	0.75	0.260	46.04	73.66
18	0.09	0.0130	2.04	7.50	13.79	0.78	0.250	46.86	74.98

$$S = 1.6 \times S_0$$

### Γ) Διάχυση κατά την πορεία των λυμάτων

Για τον υπολογισμό της διάχυσης  $S_p$  επειδή δεν υπάρχει μαθηματικό μοντέλο το οποίο να περιγράφει πλήρως το μηχανισμό της διάχυσης στην επιφάνεια της θάλασσας, πρέπει να γίνονται οι παρακάτω παραδοχές:

- Ισχύει ο νόμος της στροβιλώδους ροής κατά τη διάχυση.
- Ο συντελεστής μεταφοράς της διάχυσης  $E$  είναι συνάρτηση του λόγου  $\alpha/\alpha_0$ , όπου  
 $\alpha_0$  = αρχικό εύρος κηλίδας  
 $\alpha$  = η κατακόρυφη ανάμιξη είναι αμελητέα
- Κατά τον Brooks θεωρείτε ότι η τυρβώδης διάχυση κατά την κατακόρυφη ( $y$ ) και επιμήκη ( $x$ ) διεύθυνση, είναι αμελητέες. Για τον συντελεστή τυρβώδους διάχυσης γίνεται δεκτή η σχέση γνωστή σαν “νόμος των 4/3” δηλαδή:  

$$EZ = \lambda x (\alpha_0)^{4/3}$$
- Τιμή του  $\lambda$  που συνήθως εφαρμόζεται όταν δεν υπάρχουν ειδικά στοιχεία, είναι:  $\lambda = 0.01 \text{ cm}^{2/3}/\text{s}$  (Χριστούλας 1985).
- Δεδομένου ότι  $v = \omega = 0$  και  $E_x = E_y = 0$  και επιλύοντας την διαφορική εξίσωση τυρβώδους διάχυσης προκύπτει η έκφραση της συγκέντρωσης  $C$  κατά μήκος του άξονα  $x$ .



$$C = C_0 \exp(kx/u) \operatorname{erf}\left\{1.5 / [(1 + 2bx/3a_0)^3 - 1]\right\}^{1/2}$$

όπου:

$C_0$  = αρχική διάλυση κηλίδας ( $S_0$ )

$C$  = διάλυση μετά από απόσταση  $x$  ( $S_1$ )

$u$  = ταχύτητα ρεύματος

$\operatorname{erf}$  = συνάρτηση σφάλματος

$x$  = εξεταζόμενη απόσταση

$\kappa$  = σταθερά

$a$  = πλάτος πεδίου λυμάτων ίσο με το μήκος του διαχυτή

$\beta = 12E_{z0}/u\kappa a_0$

Κάνοντας χρήση της αναλυτικής μεθόδου ή του διαγράμματος της Metcalf&Eddy, θα υπολογίσουμε την διάλυση σε απόσταση περίπου 2.000m από την ακτή για μήκος διαχυτήρα 49m και διάφορες ταχύτητες ρεύματος και συντελεστή  $\kappa$  σταθερό.

Η εφαρμογή του τύπου δεν θεωρείται επιτυχής για τιμή  $\beta x/Z_0 \leq 8.80$  δηλαδή στην περίπτωση μας  $\beta x 2000/49 \leq 0.80 = \beta \leq 0.020$

Όπως επίσης για πολύ μικρές ταχύτητες ρευμάτων προκύπτουν πολύ μεγάλες τιμές διάλυσης.

(1) Ταχύτητα ρεύματος:  $u = 0.001 \text{ m/s} = 0.1 \text{ cm/s}$

$$E_{z0} = 0.01(a_0)^{4/3} = 0.01(4000)^{4/3} = 635$$

$$\beta = 19.05$$

$$\operatorname{erf}(0.00008)$$

$$S_0/S_1 = 0.0001 \text{ άρα } S_1 = 10000 S_0$$

Δεν θεωρείται επιτυχής.

(2) Ταχύτητα ρεύματος:  $u=0.01\text{m/s}=1\text{cm/s}$

$$E_{eo}=0.01(ao)^{4/3}=635$$

$$\beta = 1.905$$

$$\text{erf}(0.0024)=0.00234$$

$$S/S1=0.00065 \text{ \acute{a}\rho\alpha } S=1540 \quad t=56\text{h}$$

(3) Ταχύτητα ρεύματος:  $u=0.05\text{m/s}=5\text{cm/s}$

$$E_{eo}=635$$

$$\beta = 0.381$$

$$\text{erf}(0.024)=0.0234$$

$$S/S1=0.0234 \text{ \acute{a}\rho\alpha } S=43 \quad t=11.11\text{h}$$

(4) Ταχύτητα ρεύματος:  $u=0.10\text{m/s}=10\text{cm/s}$

$$E_{eo}=635$$

$$\beta = 0.1905$$

$$\text{erf}(0.0062)=0.0698$$

$$S/S1=0.0698 \text{ \acute{a}\rho\alpha } S=14 \quad t=5.5\text{h}$$

(5) Ταχύτητα ρεύματος:  $u=0.15\text{m/s}=15\text{cm/s}$

$$E_{eo}=635$$

$$\beta = 0.127$$

$$\text{erf}(0.103)=0.1158$$

$$S/S1=0.1158 \text{ \acute{a}\rho\alpha } S=8.64 \quad t=3.7$$

Στις δύο τελευταίες περιπτώσεις παρατηρείται ότι πρακτικά δεν υπάρχει διάχυση πλὴν της αρχικής  $S_0$ . Από τα παραπάνω προκύπτει ότι βέλτιστη αραιώση σε απόσταση περίπου 2000m από την ακτή επιτυγχάνεται για ταχύτητες θαλασσιών ρευμάτων  $0.01\text{m/s} \leq u \leq 0.05\text{m/s}$ .

## 6. ΤΡΟΠΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑΓΩΓΟΥ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΗΣ

Ο σωλήνας πρέπει να εγκατασταθεί και να στηριχθεί σε ένα ύψος πάνω από τον πυθμένα  $e=D=2.00$  m. Θα πρέπει συνεπώς να κατασκευασθούν στέρεες στηρίξεις πάνω στις οποίες θα εδράζεται αλλά και θα είναι αγκυρωμένος και στερεά συνδεδεμένος ο σωλήνας.

Οι στηρίξεις αυτές θα κατασκευασθούν σε ορισμένα σημεία κατά μήκος του σωλήνα και οι μεταξύ τους αποστάσεις πρέπει να καθορισθούν ώστε αφενός μεν ο σωλήνας να αντέχει σαν συνεχής δοκός στις δυνάμεις και στις ροπές κάμψης που θα τον επιπονούν, αφετέρου δε οι στηρίξεις (στις οποίες διαβιβάζονται οι δυνάμεις) να είναι ανθεκτικές και το έδαφος ικανό να τις παραλάβει.

Οι στηρίξεις εκλέγονται να κατασκευασθούν από άοπλο σκυρόδεμα δηλαδή να αποτελούνται από τεχνητούς ογκόλιθους που θα τοποθετηθούν ανά ορισμένες αποστάσεις κατά μήκος του άξονα του σωλήνα και πάνω στον πυθμένα και με τη μεγάλη διάστασή τους κατά την εγκάρσια (κάθετα) διεύθυνση εγκατάστασης αυτού.

Οι δυνάμεις που επιπονούν τον σωλήνα στην περίπτωση Β που δρουν μονοκύματα και που θα ληφθούν υπόψη για τον

υπολογισμό της εγκατάστασης του σωληναγωγού βρέθηκε προηγουμένως και είναι:

$$\text{Max } (F_H)_M = +100 \text{ Kp/m, με αντίστοιχη } F_u = -69 \text{ Kp/m και φάση } \sigma_{tM} = -90^\circ$$

$$\text{Min } (F_H)_E = -100 \text{ Kp/m, με αντίστοιχη } F_u = -69 \text{ Kp/m και φάση } \sigma_{tM} = +90^\circ$$

$$\text{Max } (F_U)_M = -4.7 \text{ Kp/m, με αντίστοιχη } F_H = 0 \text{ Kp/m και φάση } \sigma_{tM} = 180^\circ$$

$$\text{Min } (F_H)_E = -91 \text{ Kp/m, με αντίστοιχη } F_H = 0 \text{ Kp/m και φάση } \sigma_{tM} = 0^\circ$$

$$\text{Max } (F_P)_M = +123 \text{ Kp/m, με αντίστοιχη } F_H = +99 \text{ Kp/m και φάση } \sigma_{tM} = -80.82^\circ$$

$$F_U = -73 \text{ kp/m}$$

$$\alpha M = 126.3^\circ$$

$$\text{Min } (F_P)_M = -123 \text{ Kp/m, με αντίστοιχη } F_H = -99 \text{ Kp/m και φάση } \sigma_{tE} = +80.82^\circ$$

$$F_U = -73 \text{ kp/m}$$

$$\alpha E = 233.6^\circ$$

Τέμνουσες δυνάμεις και αντιδράσεις (ελάχιστη απόσταση στηρίξεων  $I=30 \text{ m}$ ) όπως επελέγη και ελέγχθηκε παρακάτω:

A) Κατά την οριζόντια διεύθυνση

$$\begin{aligned} \text{Max } Q_H &= 0.625 \times 0.100 \times 30 = -1.88 \text{ t} \\ &= -90^\circ \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Max } Q_H \\ = -90^\circ \end{aligned}} \right\} \text{ στη φάση } \sigma_{tM}$$

$$\text{με } Q_U = -0.625 \times 0.069 \times 30 = -1.29 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} \text{Min}Q_H &= - 0.625 \times 0.100 \times 3 = -1.88 \text{ t} \\ &= +90^\circ \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Min}Q_H &= - 0.625 \times 0.100 \times 3 = -1.88 \text{ t} \\ &= +90^\circ \end{aligned}} \right\} \text{στη φάση } \sigma_{tE}$$

$$\text{με } Q_U = - 0.625 \times 0.069 \times 30 = - 1.29 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} \text{Max}\Delta_H &= 2 \times Q_H = + 3.75 \text{ t} \\ &= -90^\circ \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Max}\Delta_H &= 2 \times Q_H = + 3.75 \text{ t} \\ &= -90^\circ \end{aligned}} \right\} \text{στη φάση } \sigma_{tM}$$

$$\text{με } \Delta_U = 2 \times Q_U = -2.59 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} \text{Min}\Delta_H &= 2 \times Q_H = - 3.75 \text{ t} \\ &= +90^\circ \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Min}\Delta_H &= 2 \times Q_H = - 3.75 \text{ t} \\ &= +90^\circ \end{aligned}} \right\} \text{στη φάση } \sigma_{tE}$$

$$\text{με } \Delta_U = 2 \times Q_U = -2.59 \text{ t}$$

B) Κατά την κατακόρυφο διεύθυνση:

$$\begin{aligned} \text{Max}Q_U &= 0.265 \times 0.047 \times 30 = -0.88 \text{ t} \\ &= 180^\circ \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Max}Q_U &= 0.265 \times 0.047 \times 30 = -0.88 \text{ t} \\ &= 180^\circ \end{aligned}} \right\} \text{στη φάση } \sigma_{tM}$$

$$\text{με } Q_H = 0$$

$$\begin{aligned} \text{Min}Q_U &= - 0.625 \times 0.091 \times 30 = -1.71 \text{ t} \\ &= 0^\circ \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Min}Q_U &= - 0.625 \times 0.091 \times 30 = -1.71 \text{ t} \\ &= 0^\circ \end{aligned}} \right\} \text{στη φάση } \sigma_{tE}$$

$$\text{με } Q_H = 0$$

$$\begin{aligned} \text{Max}\Delta_U &= 2 \times Q_U = -1.76 \text{ t} \\ &= 180^\circ \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Max}\Delta_U &= 2 \times Q_U = -1.76 \text{ t} \\ &= 180^\circ \end{aligned}} \right\} \text{στη φάση } \sigma_{tM}$$

$$\text{με } \Delta_H = 2 \times Q_H = 0$$

$$\begin{aligned} \text{Min} \Delta_U &= 2 \times Q_U = -3.41 \text{ t} \\ &= 0^\circ \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Min} \Delta_U \\ = 0^\circ \end{aligned}} \right\} \text{ στη φάση } \sigma_E$$

με  $\Delta_H = 2 \times Q_H$

Γ) Κατά λοξή διεύθυνση:

$$\begin{aligned} \text{Max} Q_p &= 0.625 \times 0.123 \times 30 = 2.31 \text{ t} \\ \text{Με } Q_H &= \pm 0.625 \times 0.099 \times 30 = \pm 1.86 \text{ t} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Max } Q_p \\ \text{Με } Q_H \end{aligned}} \right\} \text{ στη φάση } \sigma_M \\ &= \pm 80,82^\circ \end{aligned}$$

$$Q_U = -0.625 \times 0.073 \times 30 = -1.37 \text{ t}$$

$$\text{Max} \Delta_p = 2 \times Q_p = 4.61 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} \text{Με } \Delta_H &= 2 \times Q_H = \pm 3.72 \text{ t} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Με } \Delta_H \\ \Delta_U \\ \alpha_M \end{aligned}} \right\} \text{ στη φάση } \sigma_M = \pm 80.82^\circ \\ \Delta_U &= 2 \times Q_U = -2.74 \text{ t} \\ \alpha_M &= 126.3^\circ \quad \alpha_E = 233.6^\circ \end{aligned}$$

α. Καθορισμός των αποστάσεων μεταξύ των στηρίξεων και έλεγχος αντοχής του σωλήνα

Εκλέγονται οι στηρίξεις να κατασκευασθούν ανά ίσες αποστάσεις με:

$$I = 30 \text{ m}$$

$$\text{Και είναι: } J = \frac{\pi}{64} (D^4 - D_0^4) = \frac{\pi}{64} (2^4 - 1.94^4) = 0.09009 \text{ m}^2$$

$$W\alpha = \frac{2J}{D} = \frac{2 \times 0.09009}{2} = 0.09009 \text{ m}^3$$

$$F = \pi (D^2 - D_0^2)/4 = \pi/4 (2^2 - 1.94^2) = 0.18567 \text{ m}^2$$

$$E = 30000 \text{ kp/cm}^2 = 300000 \text{ t/m}^2$$

$$Ej = 27027.3 \text{ tm}^2$$

Από τις παραπάνω μέγιστες φορτίσεις του σωλήνα η μεγαλύτερη είναι εκείνη της  $\text{Max } (F_p)_M = +123 \text{ kp/m} = 0.123 \text{ t/m}$ , η οποία συμβαίνει στη φάση  $\sigma_M = -80.82^\circ$  και δρα πάνω στο σωλήνα με γωνία  $\alpha_M = 126.3^\circ$  αντίστοιχα ως προς το θετικό κατακόρυφο ημιάξονα  $+z$ .

Σημειώνομαι ότι εδώ συμβαίνει:

$\text{Min}(F_p)_{EI} = \text{Max } (F_p)_M = 123 \text{ kp/m}$  αλλά η  $\text{Min } (F_p)_E$  δρα πάνω στο σωλήνα υπό γωνία  $\alpha_E = 223.6^\circ$

(και αναπτύσσεται στη φάση  $\sigma_M = +80.82^\circ$ ) ενώ η  $\text{Max } (F_p)_M$  υπό γωνία  $126.3^\circ$ .

Για να προχωρήσουν οι υπολογισμοί πρέπει να καθορισθεί η απόσταση μεταξύ των στηρίξεων του σωλήνα. Η απόσταση αυτή (των ανοιγμάτων της συνεχούς δοκού) θα πρέπει να πληρεί τις παρακάτω σχέσεις:

$$M_M \leq M_{\text{εκ}} \quad (6.1)$$

$$f_r = \left( \frac{Mc + Mr}{16} + \frac{Mor}{9.6} \right) \frac{Ir^2}{EJ} \leq (fr)_{\text{επ}} = \frac{Ir}{400} \quad (6.2)$$

όπου:  $M_M$  = η μέγιστη ροπή κάμψης (απόλυτη τιμή)

$f_r$  = το βέλος κάμψης της δοκού

$M_c$  = η ροπή στην αριστερή στήριξη (με πρόσημο) του ανοίγματος  $r$

$M_r$  = η ροπή στη δεξιά στήριξη (με πρόσημο) του ανοίγματος  $r$

$M_{or}$  = η ροπή κάμψης του ανοίγματος  $r$

$E$  = το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα =  $2.100 \text{ kp/cm}^2$

$J$  = η ροπή αδράνειας της διατομής του σωλήνα

Οι σχέσεις 6.1 και 6.2 που είναι συναρτήσεις του  $I_r$ , καθορίζουν τα ανώτατα μήκη αυτού ώστε η αντοχή και η παραμόρφωση σε κάμψη του σωλήνα να μην ξεπερνούν τα επιτρεπόμενα όρια.

Βάσει των παραπάνω στοιχείων η σχέση 6.2 δίνει :

$$f_r = \frac{5}{384} \frac{0.123 \times 30^4}{27027.3} = 0.048 \text{ m} = 4.8 \text{ cm} < \frac{I}{400} = 7.5 \text{ cm}$$

Η μέγιστη ροπή κάμψης είναι:

$$\text{Max } M = M_M = \frac{0.123 \times 30^2}{8} = 13.84 \text{ mt}$$

$$\sigma_p = \frac{M_M}{W_a} = \frac{13.84}{0.09009} = 153.60 \text{ t/m}^2 = 15.4 \text{ kp/cm}^2$$

Επίσης, η μέγιστη τέμνουσα είναι:  $Q_\lambda = \max Q = 2,31 \text{ t}$  και η

$$\max t = \frac{2Q}{F} = \frac{2 \times 2.310}{0.18567} = 2.49 \text{ kp/cm}^2$$

### β. Στηρίξεις των σωλήνων

Οι στηρίξεις των σωλήνων όπως αναφέρθηκε παραπάνω θα κατασκευασθούν από σκυρόδεμα, δηλαδή θα είναι Τ.Ο. και θα τοποθετηθούν πάνω στον πυθμένα. Κι' αυτό γιατί εκτός του ότι είναι μικροί σε μέγεθος και η επίδρασή τους πάνω στη ροή είναι αμελητέα, χρειάζονται για να αντικατασταθούν οι σωλήνες σε ύψος 2 μέτρα από τον πυθμένα, όπως απαιτούν τα δεδομένα της εφαρμογής.



Βάσει των παραπάνω δυνάμεων  $\Delta$  που βρέθηκαν και για ειδικό φαινόμενο βάρος των Τ.Ο. μέσα στο νερό

$$\gamma_b = \gamma_o - \gamma_w = 1.475 \text{ t/m}^3 \text{ και με συντελεστή τριβής}$$

$f = 0.55$ , προκύπτει ότι ο απαιτούμενος περίπου όγκος σκυροδέματος κάθε Τ.Ο. κατά περίπτωση φόρτισης είναι:

$$\text{Για την περίπτωση } \max\Delta_H: \quad O = \left( \frac{3.75}{0.55} - 2.59 \right) \frac{1}{1.475} = 2.87 \text{ m}^3$$

$$\text{Για την περίπτωση } \min\Delta_H: \quad O = \left( \frac{3.75}{0.55} - 2.59 \right) \frac{1}{1.475} = 2.87 \text{ m}^3$$

$$\text{Για την περίπτωση } \max\Delta_U: \quad O = 0$$

$$\text{Για την περίπτωση } \min\Delta_U: \quad O = 0$$

$$\text{Για την περίπτωση } \max\Delta_P: \quad O = \left( \frac{3.72}{0.55} - 2.74 \right) \frac{1}{1.475} = 2.73 \text{ m}^3$$

(εδώ ο σωλήνας μεταξύ των στηρίξεων αιωρείται και δεν εδράζεται).

Συνεπώς απαιτείται ένας Τ.Ο. όγκου τουλάχιστον  $2,87 \text{ m}^3$ . Και αν παρθεί ένας συντελεστής ασφαλείας  $N_o = 1,50$  τότε χρειάζεται ένας Τ.Ο. όγκου τουλάχιστον:

$O = 2.87 \times 1.50 = 4.31 \text{ m}^3$  για να σταθμίσει τις οριζόντιες μόνο δυνάμεις, αφού οι κατακόρυφες είναι πάντοτε αρνητικές, δηλαδή πιέζουν τις στηρίξεις και συνεπώς και το έδαφος έδρασης των στηρίξεων.

Αφού όμως οι κατακόρυφες δυνάμεις, όπως έχει προκύψει από τους παραπάνω υπολογισμούς, είναι πάντοτε αρνητικές, ο σωλήνας δεν δέχεται καθαρές δυνάμεις προς τα πάνω και συνεπώς δεν χρειάζεται αγκύρωση.

Θα χρειασθούν μόνο πλευρικές αντιστηρίξεις για να εμποδίζουν την κίνηση του σωλήνα κατά την οριζόντια διεύθυνση (μπρος και πίσω της ροής) και να παραλάβουν τις οριζόντιες δυνάμεις που ο σωλήνας θα ασκεί πάνω σ' αυτές.

Οι αντιστηρίξεις αυτές θα κατασκευασθούν πάνω στον τεχνητό ογκόλιθο συγχρόνως με αυτόν και θα προεξέχουν σαν πρόβολοι ή σαν στυλίσκοι (από beton arme).

Στο Σχήμα 6.1 φαίνονται οι λεπτομέρειες του Τ.Ο. που ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των στηρίξεων της περιοχής αυτής και ο οποίος στη συνέχεια πρέπει να ελεγχθεί.

γ. Έλεγχος της ευστάθειας του τεχνητού ογκόλιθου (βλέπε Σχ.6.1)

$$\begin{aligned} \text{Δυσμενέστερη περίπτωση: } \max \Delta_H &= \pm 3.75 \text{ t} \quad (\text{μπρος-πίσω}) \\ \Delta_U &= - 2.59 \text{ t} \quad (\text{προς τα κάτω}) \\ &\text{στις φάσεις } \sigma t = \pm 90^\circ \end{aligned}$$

Δυνάμεις:

$$\text{Ίδιο Βάρος : } G = (1.5 \times 1.5 \times 4.00 + 3.10 \times 1.50 \times 0.50 + 0.50 \times 0.50 \times 1.20) 2.5 = 29.06 \text{ t}$$

$$\text{Άνωση : } A = (1.50 \times 1.50 \times 4.00 + 3.10 \times 1.50 \times 0.50 + 0.50 \times 0.50 \times 1.20) 1.025 = 11.92 \text{ t}$$

$$\text{Πιέσεις νερού: } W_w = \frac{1}{2} (48.00 + 50.00) 2 \times 1.50 \times 1.025 = 150.68 \text{ t}$$

$$hw = \frac{1}{3} 2.00 \times \frac{2 \times 48 + 50}{48 + 50} = 0.99 \text{ m}$$

Συνισταμένες δυνάμεις και ροπές ευστάθειας και ανατροπής:

$$H\sigma = \Sigma H_i = 3.75 + 150.68 - 150.68 = 3.75 \text{ t}$$

$$V\sigma = \Sigma V_i = 29.06 - 11.92 + 2.59 = 19.73 \text{ t}$$

$$M_1 = 29.06 \times 2.00 + 150.68 \times 0.99 = 207.29 \text{ mt}$$

$$M_2 = 11.92 \times 2.00 + 150.68 \times 0.99 + 2.59 \times 3.00 = 180.78 \text{ mt}$$

$$K_0 = \frac{M_1}{M_2} = \frac{207.29}{180.78} = 1.15$$

$$N_0 = f \frac{V\sigma}{H\sigma} = 0.55 \frac{19.73}{3.75} = 2.89$$

δ. Μέγιστη τάση εδάφους (στο πόδι Α)

Δυσμενέστερη περίπτωση:  $\max \Delta\rho = \pm 4.61 \text{ t}$

$$\Delta_H = \pm 3.72 \text{ t} \quad (\text{μπρος-πίσω})$$

$$\Delta_U = - 2.74 \text{ t} \quad (\text{προς τα κάτω})$$

$$H\sigma = 3.72 + 150.68 - 150.68 = 3.72 \text{ t}$$

$$V\sigma = 29.06 - 11.92 + 3.74 = 19.88 \text{ t}$$

$$M_A = 19.88 \times 2.00 - 3.72 \times 3.00 = 28.60 \text{ mt}$$

$$M_2 = 11.92 \times 2.00 + 150.68 \times 0.99 + 2.59 \times 3.00 = 180.78 \text{ mt}$$

$$\xi = \frac{28.60}{19.88} = 1.44 > \frac{4.00}{3} = 1.33 \mu$$

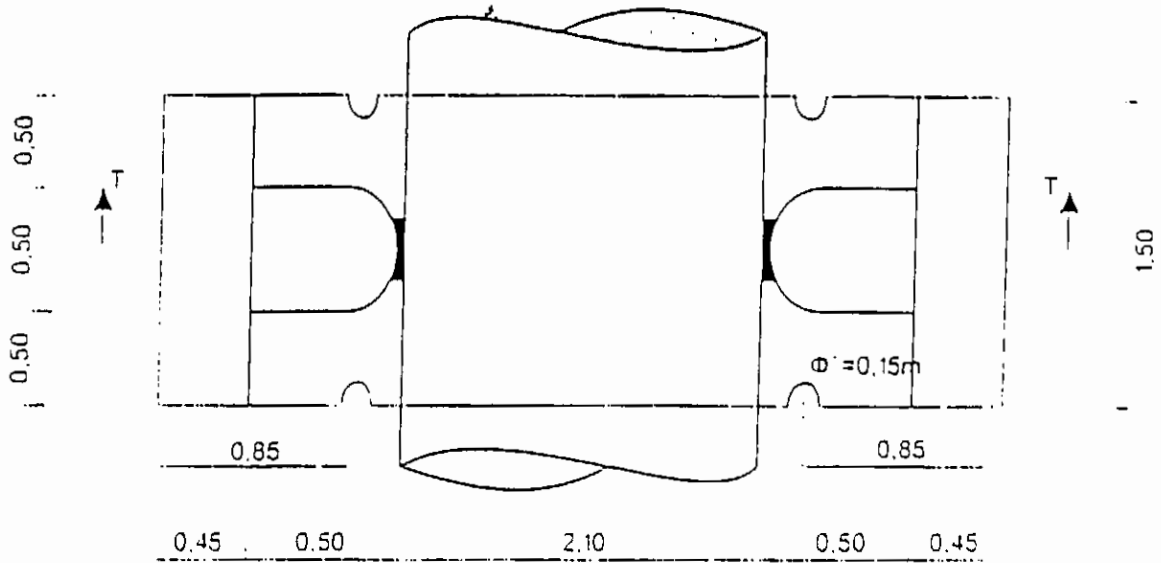
$$e = \frac{4.00}{2} - 1.44 = 0.56 \text{ m}$$

$$\sigma_{AB} = \frac{19.88}{1.5 \times 4.00} \cdot \left(1 \pm \frac{6 \times 0.56}{4.00}\right) = 3.31 (1 \pm 0.84)$$

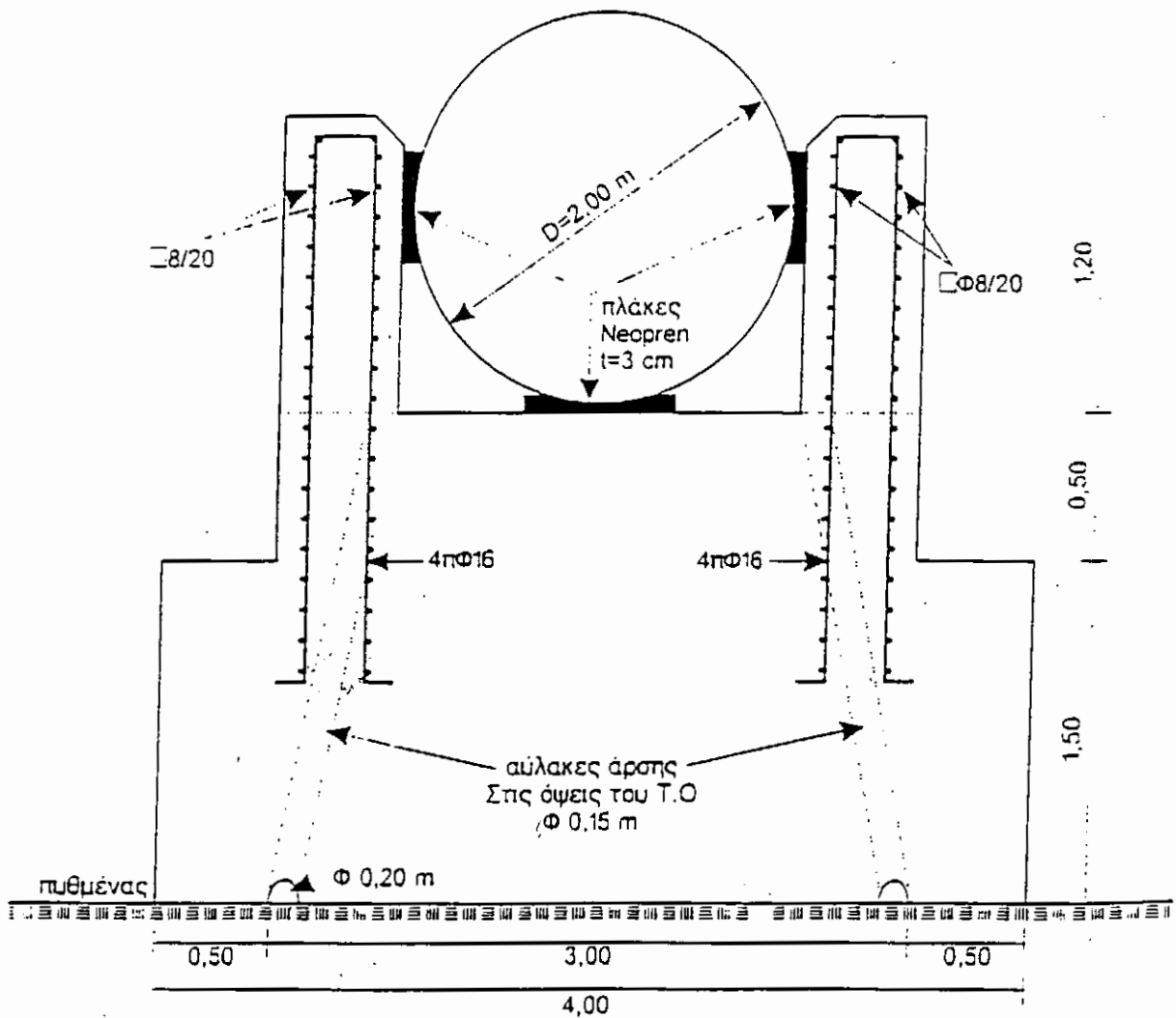
$$\sigma_A = 6.09 \text{ t/m}^2 = 0.61 \text{ kp/cm}^2$$

$$\sigma_B = 0.53 \text{ t/m}^2 = 0.56 \text{ kp/cm}^2$$

α. Άνοψη



β. Τομή Τ-Τ



Σχήμα 6.1. Λεπτομέρειες Τ.Ο. στήριξης του σωλήνα στη περιοχή με βάθος πυθμένα 50 m (τοποθετούνται ανά 30 m)

ε. Υπολογισμοί προβόλων (αντιστήριξης του σωλήνα)

Δυσμενέστερη περίπτωση:

$$\max \Delta_H = + 3.75 \text{ t} \quad (\text{προς τα μπροστά})$$

$$\min \Delta_H = - 3.75 \text{ t} \quad (\text{προς τα πίσω})$$

$$\text{Συνεπώς: } M_{\text{προβ}} = 3.75 \times 1.20 = 4.50 \text{ mt}$$

$$\text{Ενεργό ύψος : } h = 50 - 10 = 40 \text{ cm}$$

$$\text{Ενεργό πλάτος : } b = 50 - 10 = 40 \text{ cm}$$

$$k_2 = \frac{40}{\sqrt{\frac{450}{40}}} = 11.93$$

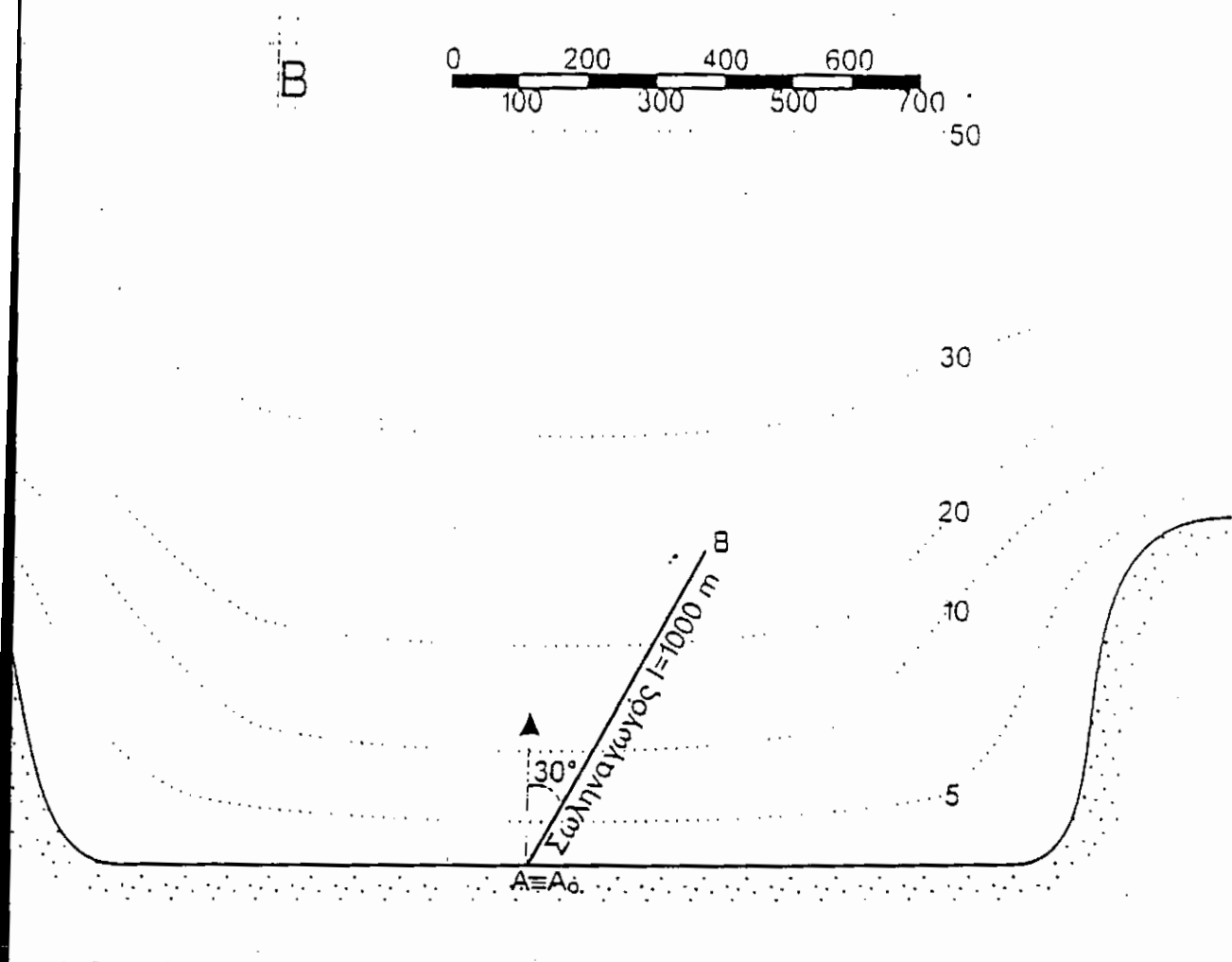
$$f_e = \frac{0.56 \times 450}{40} = 6.30 \text{ cm}^2 \text{ 4}\Phi 16 \text{ σε σχήμα Π, με συνδετήρες}$$

2Φ8/15 (κλειστοί)

## 6.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΩΛΗΝΑΓΩΓΟΥ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΙΑΣ ΠΟΛΗΣ Ω

Στη θαλάσσια περιοχή του βυθομετρικού χάρτη του Σχ. 6.2 πρόκειται να τοποθετηθεί στο βυθό ένας σωληναγωγός που θα αποχετεύει τα ακάθαρτα νερά της πόλης Ω.

Στην ακτή φθάνει ο σωλήνας στο παραλιακό σημείο Α και θα συνεχίσει μέσα στη θάλασσα με διεύθυνση 30° Β.Α. για να καταλήξει στο σημείο εκροής του Β στο βάθος των 25 m όπως φαίνεται στο Σχ. 6.2. Ο σωλήνας είναι σιδηρούς.



6.2. Βυθομετρικό διάγραμμα παραλιακής περιοχής της πόλης Ω

Τα δεδομένα και τα ζητούμενα της εφαρμογής αυτής γράφονται στη συνέχεια παρακάτω.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ:

1. Διεύθυνση μέγιστων κυματισμών (δεσπόζοντες): Β.Δ.
2. Σημαντικό ύψος κύματος στα βαθιά νερά:  $(H_0) = 3.00 \text{ m}$
3. Περίοδος μέγιστων κυματισμών:  $T=8 \text{ sec}$
4. Υποθαλάσσιο ρεύμα με κατεύθυνση Δύση-Ανατολή,  
Ταχύτητας:  $U_0 = 0.500 \text{ knt}$
5. Ειδικό βάρος λυμάτων:  $\gamma_c = 1.000 \text{ t/m}^3$
6. Ειδικό βάρος θαλάσσιου νερού:  $\gamma_w = 1.025 \text{ t/m}^3$
7. Ειδικό βάρος σιδηροσωλήνα (του υλικού κατασκευής):  
 $\gamma_p = 1.025 \text{ t/m}^3$
8. Εξωτερική διάμετρος σιδηροσωλήνα:  $D = 0.800 \text{ m}$
9. Εσωτερική διάμετρος σιδηροσωλήνα:  $D_0 = 0.780 \text{ m}$
10. Περιοδική διάβρωση του πυθμένα στη ζώνη θραύσης,  
αυτοαποκαθιστούμενη:  $\Delta H = 0.500 \text{ m}$
11. Έδαφος πυθμένα αμμώδες, με συντελεστή τριβής  
εδάφους – σωλήνων ή Τ.Ο.:  $f = 0.550$
12. Γωνία εσωτερικής τριβής και φυσικού πρανούς του  
αμμώδους πυθμένα:  $\phi = 34^\circ$
13. Επιτρεπόμενη αντοχή του χάλυβα κατασκευής των  
σιδηροσωλήνων :  $\sigma_e = 2.00 \text{ t/cm}^2$
14. Επιτρεπόμενη τάση εδάφους πυθμένα:  $\sigma = 2.00 \text{ kg/cm}^2$
15. Μέσο ειδικό βάρος του σιδηροσωλήνα :

$$\gamma_m = 7.85 - \left( \frac{0.78}{0.80} \right)^2 (7.85 - 1.00) = 1.338 \text{ t/m}^3$$

16. Σχετικό ειδικό βάρος του σιδηροσωλήνα :  
 $\gamma_s = 1.338/1.025 = 1.306$
17. Ειδικό βάρος κεκορεσμένης άμμου:  $\gamma_t = 2.000 \text{ t/m}^3$
18. Ειδικό βάρος Τεχνητών Ογκολίθων από σκυρόδεμα:  
 $\gamma = 2.500 \text{ t/m}^3$

## ZHTOYMEANA

1. Η σύνταξη του διαθλαστικού διαγράμματος των κυμάτων της περιοχής και ο υπολογισμός του ύψους του κύματος στα διάφορα σημεία του σωληναγωγού (σε βάθη με διαφορά 2.5 m).
2. Ο καθορισμός της 1<sup>ης</sup> ΖΩΝΗΣ (θραύσης του κύματος) μέσα στην οποία ο σωληναγωγός θα εγκατασταθεί με ενταφιασμό. Το πέρας της Ζώνης αυτής προφανώς αποτελεί την αρχή της 2<sup>ης</sup> ΖΩΝΗΣ, μέσα στην οποία θα προχωρήσει ο αγωγός ελεύθερος πάνω στον πυθμένα αλλά στηριζόμενος και συγκρατούμενος τεχνητά.
3. Οι ζητούμενοι παρακάτω υπολογισμοί θα γίνουν για δύο περιπτώσεις δράσης των κυμάτων με ή χωρίς υποθαλάσσιο ρεύμα και για τις δύο παρακάτω περιπτώσεις τοποθέτησης του σωληναγωγού στη 2<sup>η</sup> ζώνη.
  - α. Εγκατάσταση των σιδηροσωλήνων σε επαφή κατευθείαν πάνω στον πυθμένα και
  - β. Εγκατάσταση των σιδηροσωλήνων υψηλότερα από τον πυθμένα κατά  $e/D=0.25$



4. Ο υπολογισμός των  $\text{Max } (F)_M$  και  $\text{Min } (F)_E$ , δυνάμεων που αναπτύσσονται πάνω στους σωληναγωγούς, για όλες τις περιπτώσεις των ζητούμενων της παραπάνω παραγράφου 3, στις δυσμενέστερες φάσεις του κύματος.
5. Ο καθορισμός και ο υπολογισμός των στοιχείων και των διατάξεων και μεθόδων εγκατάστασης, στερέωσης και αντοχής των σιδηροσωλήνων:
- Στην 1<sup>η</sup> ζώνη με ενταφιασμό
  - Στη 2<sup>η</sup> ζώνη με έδραση πάνω στον πυθμένα (δηλαδή για  $e/D = 0$ ), για την δυσμενέστερη περίπτωση δράσης κυματισμού με υποθαλάσσιο ρεύμα.

## 6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

Το μελετούμενο έργο είναι σημαντικό και ευαίσθητο σε ζημιές ή αστοχίες, που μπορούν να το καταστρέψουν ολοκληρωτικά. Για το λόγο αυτό οι υπολογισμοί θα γίνουν με τις πιο δυσμενείς συνθήκες. Έτσι επιβάλλεται να υπολογισθούν όλα τα στοιχεία με το μέγιστο ύψος του κύματος.

$$\max H_o = 1.87 (H_o)_s = 1.87 \times 3.00 = 5.60 \text{ m}$$

$$L_o = \frac{g}{2p} T^2 = \frac{g}{2p} 8^2 = 99.92 \text{ m}$$

$$C_o = L_o/T = \frac{g}{2p} T = \frac{g}{2p} 8 = 12.49 \text{ m/sec}$$

Για τον υπολογισμό των μηκών  $L$  και των ταχυτήτων  $C$  διάδοσης του κύματος σε διάφορα χαρακτηριστικά και

απαραίτητα για τους λοιπούς υπολογισμούς βάθης, συντάχθηκε ο  
Πίνακας 1: Στοιχεία των κυμάτων σε διάφορα βάθη

d	d/Lo	d/L	th kd	L*	C*
m	-	-	-	m	m/sec
100	1.00	1.00	1.00	99.92	12.49
50	0.50	0.5018	0.9964	99.56	12.44
47.5	0.475	0.4726	0.9946	99.41	12.42
45	0.45	0.4531	0.9933	99.25	12.41
42.5	0.425	0.4210	0.9905	98.97	12.37
40	0.40	0.4050	0.9877	98.69	12.34
38	0.38	0.3860	0.9845	98.37	12.30
35	0.35	0.3579	0.9780	97.72	12.21
30	0.30	0.3121	0.9611	96.02	12.00
27.5	0.275	0.2898	0.9490	94.82	11.85
25	0.25	0.2679	0.9332	93.25	11.66
22.5	0.225	0.2463	0.9134	91.27	11.41
20	0.20	0.2251	0.8884	88.74	11.10
17.5	0.175	0.2042	0.8572	85.65	10.71
15	0.15	0.1833	0.8183	81.76	10.22
12.5	0.125	0.1624	0.7700	76.94	9.62
10	0.10	0.1410	0.7093	70.87	8.86
7.5	0.075	0.1186	0.6324	63.19	7.90
6	0.06	0.1043	0.5725	57.48	7.15
5	0.05	0.09446	0.5310	53.06	6.63
4	0.04	0.08329	0.4802	47.98	6.00
3	0.03	0.07135	0.4205	42.02	5.25
2.5	0.025	0.06479	0.3860	38.57	4.82
1.5	0.015	0.04964	0.03022	31.20	3.80

$$C/C_0 = L/L_0 = th kd$$

### 6.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΔΙΑΘΛΑΣΤΙΚΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΣΕ ΟΛΗ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΟΥ ΣΩΛΗΝΑΓΩΓΟΥ

Για την κατασκευή του διαθλαστικού διαγράμματος των κυμάτων θα εφαρμοστεί η μέθοδος R. Silvester. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην κατασκευή πρώτα των ορθογωνίων του κύματος, βάσει αναλυτικών στοιχείων και μετά από τις ορθογώνιες αυτές κατασκευάζονται οι κορυφογραμμές, που φέρονται γεωμετρικά σαν κάθετες καμπύλες πάνω στις ορθογώνιες.

Η μέθοδος αυτή προβλέπει την γεωμετρική κατασκευή με αναλυτικά στοιχεία των περιβαλλουσών των ορθογωνίων και τη χάραξη με καμπυλόγραμμα των ορθογωνίων καμπύλων γραμμών σαν εφαπτόμενες των πλευρών των περιβαλλουσών.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Η παραπάνω μέθοδος της κατασκευής πρώτα των ορθογωνίων θεωρείται πρωτεύουσας σημασίας γιατί είναι ακριβέστερη, αφού για τον υπολογισμό του ύψους του κύματος ενδιαφέρουν τα πλάτη (ή το ίδιο τα μήκη των κορυφογραμμών) μεταξύ δύο γειτονικών ορθογωνίων που περιλαμβάνουν τη θεωρούμενη θέση υπολογισμού του ύψους του κύματος, τόσο στη θέση αυτή όσο και στα βαθειά νερά.

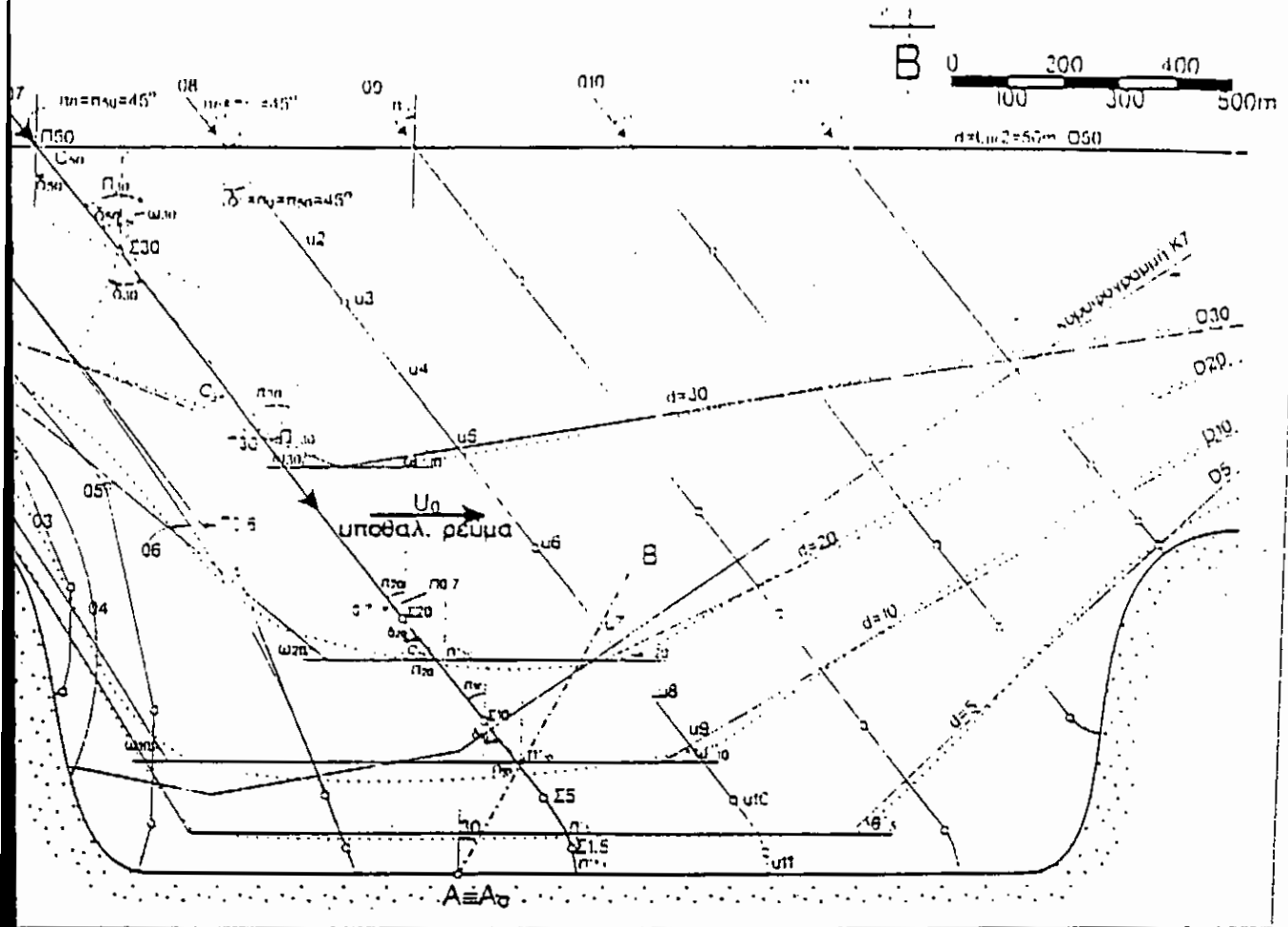
Αντίθετα, η ακριβής χάραξη των κορυφογραμμών δεν εξασφαλίζει την χάραξη των ορθογωνίων με την ίδια ακρίβεια

και γι' αυτό η μέθοδος της χάραξης των κορυφογραμμών θεωρείται δευτερεύουσας προσέγγισης και δεν προτιμάται.

Από τον βυθομετρικό χάρτη του Σχ. 6.2 φαίνεται ότι οι βυθομετρικές καμπύλες έχουν τυχαία διάταξη και συνεπώς η διάθλαση των κυμάτων στην περιοχή είναι σύνθετη . Δηλαδή, στην περίπτωση αυτή, τόσο οι ορθογώνιες όσο και οι κορυφογραμμές είναι μεταξύ τους μη παράλληλες καμπύλες γραμμές και όχι ευθείες ή παράλληλες καμπύλες.

Στο Σχ. 6.3 φαίνεται η γεωμετρική διαδικασία της κατασκευής του διαθλαστικού διαγράμματος και δείχνεται ειδικά μόνο για παράδειγμα η γεωμετρική κατασκευή της ορθογωνίου 0,7 γιατί και για τις άλλες ορθογώνιες ακολουθείται ο ίδιος τρόπος.

Για διευκόλυνση των υπολογισμών (κυρίως των γωνιών  $\omega$ , μεταξύ των βυθοκαμπυλών  $D(v)$  αλλά και με τη βυθοκαμπύλη  $d_0 = L_0/2$  των βαθιών νερών που παίρνεται ως αφετηρία καθώς και των στοιχείων των άλλων γεωμετρικών κατασκευών που χρειάζεται να γίνουν) οι βυθοκαμπύλες τροποποιήθηκαν σε ισοδύναμες κατά προσέγγιση τεθλασμένες ευθείες γραμμές (περιβάλλουσες των βυθοκαμπυλών).



α 63 Κατασκευή των ορθογωνίων ON και των κορυφογραμμών των τριγωνών

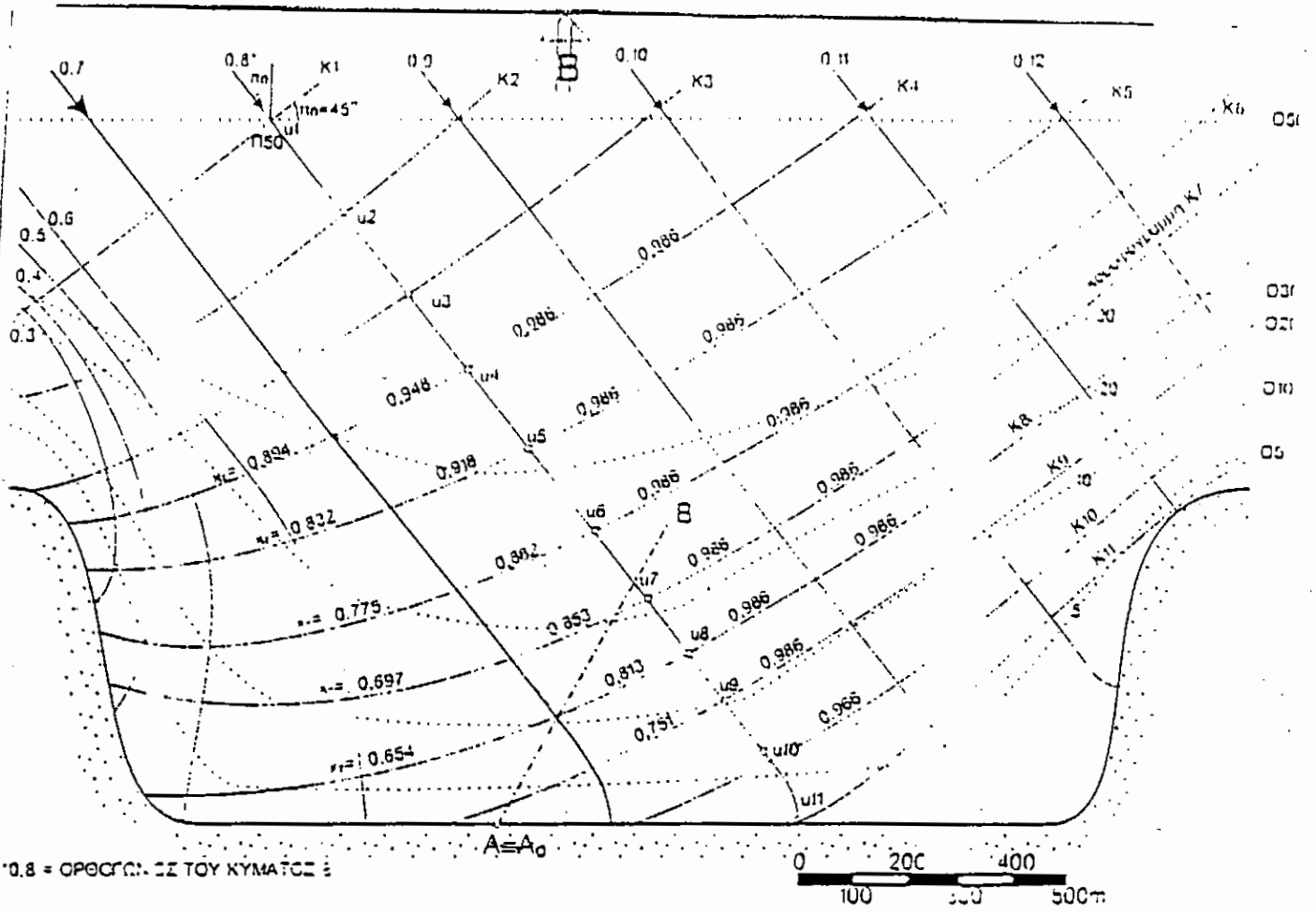
- Χάραξη των ορθογωνίων (Ο.Ν. – ΟΡΘΟΓΩΝΙΟΣ Ν) των κυμάτων

Το διαθλαστικό διάγραμμα του Σχ.6.4 έχει κατασκευασθεί με 10 ορθογώνιες με χαρακτηριστική αρίθμηση, από 0.3 μέχρι 0.12, ενώ για την περίπτωση του προβλήματος αρκούσαν μόνο οι 4, δηλαδή οι 0.6 έως 0.9. Όλες οι ορθογώνιες των βαθιών νερών (που έχουν κοινή διεύθυνση, την διεύθυνση των κυμάτων στα βαθιά νερά), δηλαδή οι ορθογώνιες που διασχίζουν τις βυθοκαμπύλες με βάθη μεγαλύτερα του  $d=L_0/2 = 50 \text{ m}$ , είναι ευθείες γραμμές, παράλληλες προς την διεύθυνση που έρχονται τα κύματα (εδώ είναι Β.Δ.).

Μέχρι λοιπόν την βυθοκαμπύλη  $D50=50 \text{ m}$ , οι ορθογώνιες διατηρούν την παραλληλότητά τους και έχουν συνεπώς την ίδια γωνία πρόσπτωσης, που εδώ είναι  $\pi_0=45^\circ$ , αφού η διεύθυνση του κύματος είναι Β.Δ. (βλέπε Σχ. 6.3 – 6.4).

Μετά το πέρασμα της βυθομετρικής καμπύλης  $D50$  οι κορυφογραμμές καμπυλώνουν και η γωνία διεύθυνσης του κύματος σε κάθε σημείο μετά την καμπύλη  $D50$  και μέχρι την ακτή έχει διαφορετική τιμή, που προκαλεί συνεχώς κύρτωση των ορθογωνίων του πελάγους μέχρι να φτάσουν στην ακτή.

Συμβαίνει δηλαδή το φαινόμενο με τη διάθλαση του φωτός όταν οι ακτίνες προχωρούν από αραιότερο σε πυκνότερο οπτικό μέσο.



Σχήμα 6.4. Διαθλαστικό Διάγραμμα των Κυμάτων

Για την κατασκευή του διαθλαστικού διαγράμματος χρειάζεται να χαραχθούν ορισμένες χαρακτηριστικές ορθογώνιες, των οποίων οι μεταξύ τους αποστάσεις θα εξαρτηθούν από τη διάταξη των βυθοκαμπυλών, από την κλίμακα του βυθομετρικού χάρτη και από την εμπειρία του μελετητή.

Πρέπει να επιδιώκεται πάντοτε το δίκτυο των ορθογωνίων που θα χαραχθεί να δίνει την ακριβή εικόνα της αραίωσης ή της συρρίκνωσης (πύκνωσης) των κορυφογραμμών στις διάφορες περιοχές, γιατί από τα τμηματικά μήκη αυτών μεταξύ των ορθογωνίων προσδιορίζονται οι συντελεστές διάθλασης  $K_r$ , στα διάφορα σημεία της περιοχής και συνεπώς και το ύψος του κύματος.

Ο R. Silvester συνιστά, ανάλογα με τη γωνία πρόσπτωσης του κύματος στα βαθιά νερά, πάνω στην πρώτη βυθοκαμπύλη με βάθος  $d=L_0/2$  των βαθιών νερών να χρησιμοποιούνται οι βυθοκαμπύλες με σχετικά βάθη  $d/L_0$ .

Ως αφετηρία για την χάραξη των ορθογωνίων παίρνεται η πρώτη καμπύλη των βαθιών νερών, που πρακτικά θεωρείται η D50 με  $d=L_0/2=50$  m. Ορθότερη θεωρητικά είναι βέβαια, όπως έχει αναφερθεί, η D100 με βάθος  $d=L_0=100$  m. Όμως παίρνοντας την D50 με βάθος  $d=L_0/2=50$  m, το σφάλμα είναι ασήμαντο ενώ αποφεύγονται άσκοποι υπολογισμοί και διεργασίες.



Στην περίπτωση της περιοχής του Σχ.6.4 εκλέχθηκαν και χαράχθηκαν 10 ορθογώνιοι. Στο Σχ.6.3 έχει χαραχθεί με λεπτομέρειες (για παράδειγμα) η γεωμετρική κατασκευή με αναλυτικά όμως στοιχεία μόνο της ορθογωνίου 0.7, ενώ κατά τον ίδιο τρόπο χαράχθηκαν και οι υπόλοιπες.

Η κατασκευή είναι γραμμική, δηλαδή χαράσσεται η τεθλασμένη περιβάλλουσα της ορθογωνίου, που γίνεται από σημείο σε σημείο μέσου βάθους των βυθοκαμπυλών που τα περιέχουν και από τη βυθοκαμπύλη D50 μέχρι την ακτή.

Έτσι με τον τρόπο αυτό προκύπτει μία τεθλασμένη γραμμή (που είναι η περιβάλλουσα της καμπυλόγραμμης ορθογωνίου) με κορυφές τα ενδιάμεσα σημεία μεταξύ των βυθοκαμπυλών.

Η καμπυλόγραμμη ορθογωνίος εγγράφεται τότε σ' αυτή σχεδιαστικά με το καμπυλόγραμμο.

Στη συνέχεια παραθέτονται οι υπολογισμοί και οι διεργασίες που χρειάζονται να γίνουν σημείο προς σημείο, για να κατασκευασθεί η περιβάλλουσα της ορθογωνίου 0.7.

#### • ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΟΡΘΟΓΩΝΙΟΥ 0.7

Η ορθογωνίος 0.7 θα κατασκευασθεί όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αφού πρώτα κατασκευασθεί η περιβάλλουσα αυτής τεθλασμένη γραμμή 0.7 που έχει κορυφές τα πέντε σημεία μέσου βάθους των βαθυκαμπυλών.

Η ορθογώνιος καμπύλη 0.7 θα χαραχθεί μετά με καμπυλόγραμμο.

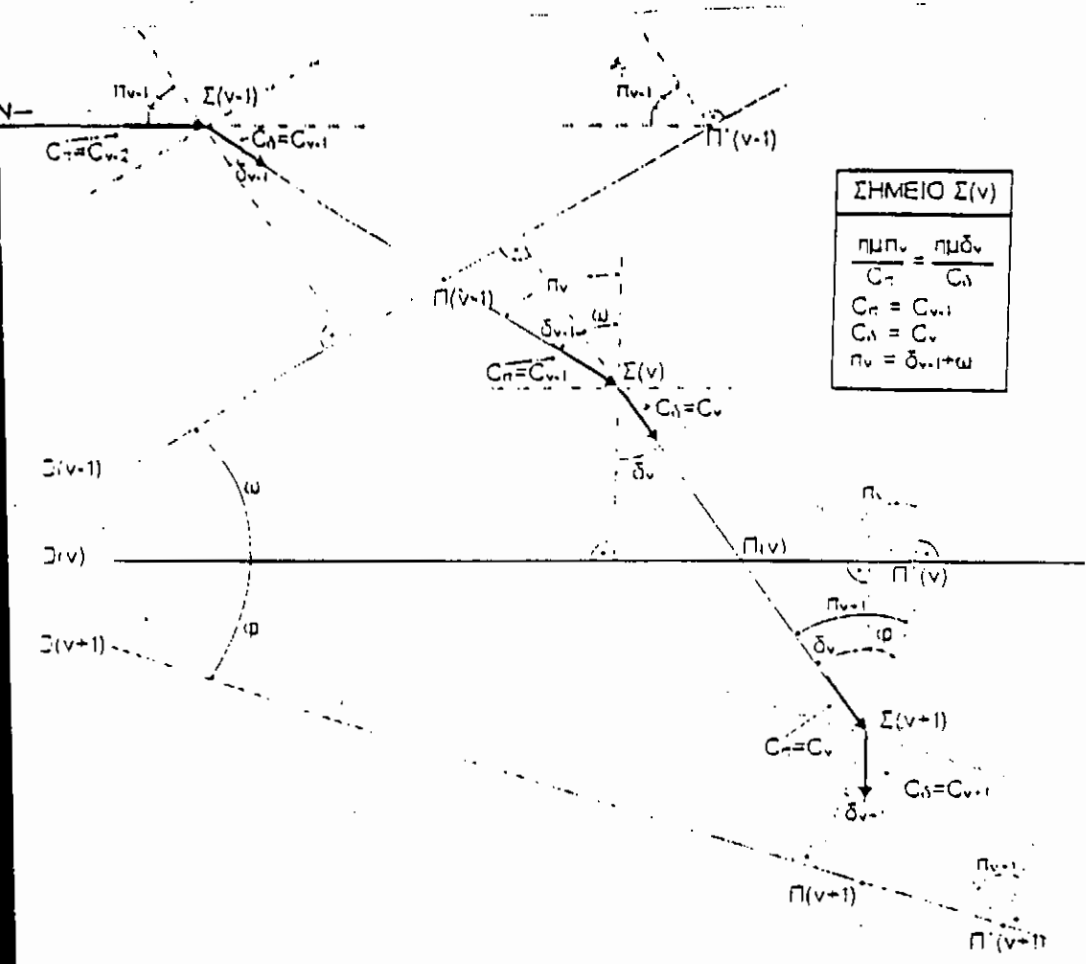
Η περιβάλλουσα της ορθογωνίου Π.0.7 θα κατασκευασθεί με γεωμετρικό τρόπο από κορυφοσημείο σε κορυφοσημείο και με αναλυτικά στοιχεία που θα υπολογισθούν.

Η γενική διαδικασία, που θα εφαρμοσθεί σε όλα τα κορυφοσημεία της περιβάλλουσας αυτής περιγράφεται παρακάτω λεπτομερώς.

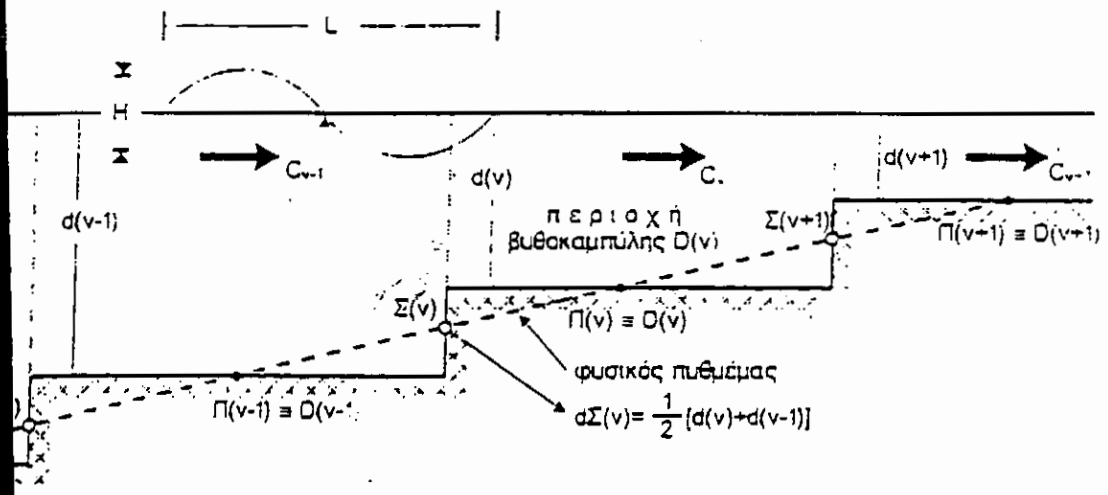
Στο Σχ.6.5α δείχνεται μία τυχαία διάταξη βυθοκαμπυλών,  $D(n-1)$ ,  $D(n)$   $D(n+1)$  και η γεωμετρική παράσταση της πορείας που ακολουθεί κατά τη διάδοση του κύματος, η περιβάλλουσα μιας τυχαίας διαθλασμένης ορθογωνίου  $N$  αυτού, ΠΟ. $N$ , καθώς το κύμα διασχίζει τις βυθοκαμπύλες αυτές και διαδίδεται προς την ακτή.

Η μέθοδος που εφαρμόζεται εδώ παίρνει ως προϋπόθεση τη μετατροπή του κεκλιμένου πυθμένα σε βαθμιδωτό με οριζόντιες βαθμίδες (ή αναβαθμούς), όπως φαίνεται στο ΣΧ.6.5β. Οι αναβαθμοί γίνονται στις ενδιάμεσες μεταξύ των παραπάνω  $D(v)$  βυθοκαμπυλών, που περνούν από τα ενδιάμεσα σημεία:  $\Sigma(1)$ ,  $\Sigma(2)$  ..... $\Sigma(v)$ ,  $\Sigma(v+1)$ ,..... που έχουν φυσικά βάθη αντίστοιχα του μέσου βάθους των βυθοκαμπυλών που τα περιλαμβάνουν, δηλαδή:

$$D\Sigma(v) = \frac{1}{2} [d(v) + d(v-1)]$$



Γραφία της τεθλασμένης Περιβάλλουσας της ορθογωνίου N : ΠΟ. N του κύματος κατά το πέρασμά του από τις βυθοκαμπύλες D(v-1), Σ(v), D(v+1) ... όπου παθαίνει διάθλαση



Προποίηση του κεκλιμένου φυσικού πυθμένα σε βαθμωτό με αναβαθμούς σταθερού βάθους d<sub>v-1</sub>, d<sub>v</sub>, ...

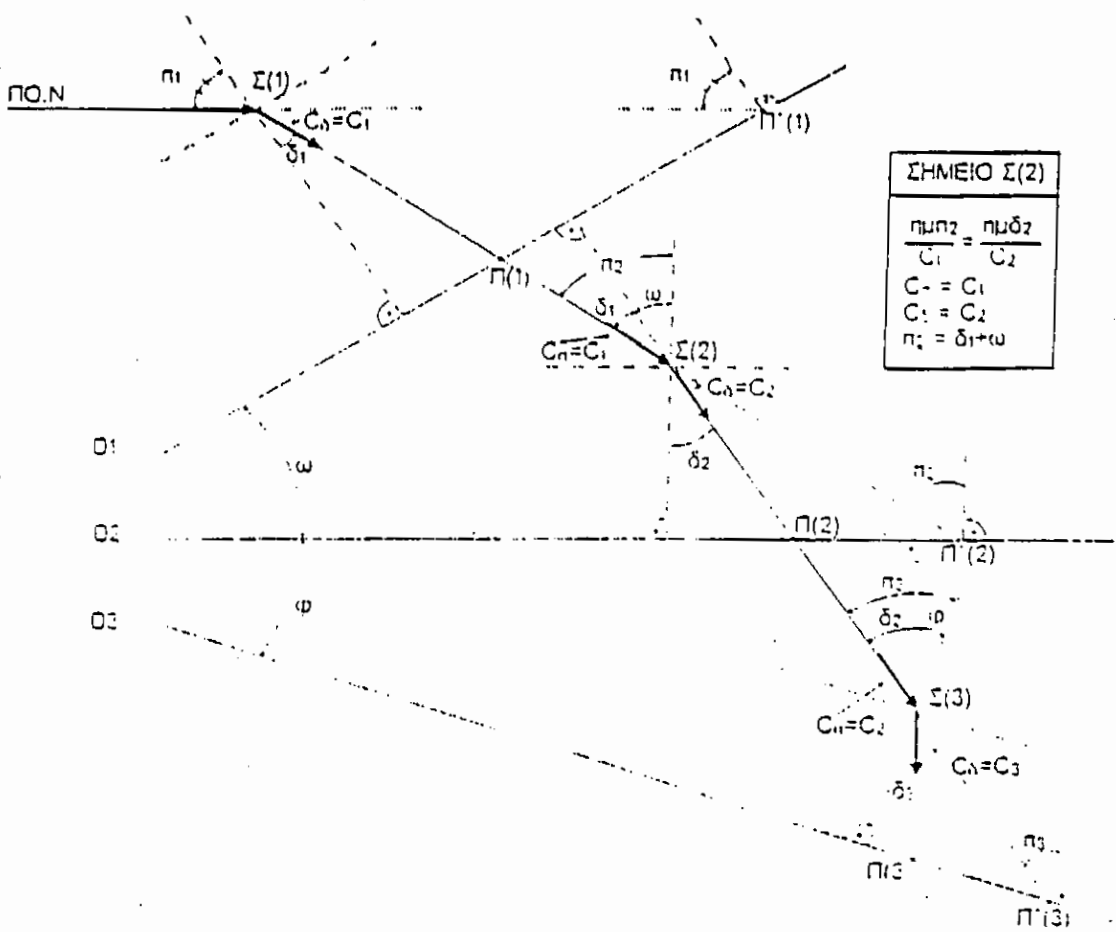
Περιβάλλουσα ορθογωνίου N του κύματος  
 Γεωμετρική παράσταση της πορείας που ακολουθεί η ΠΟ.N\* του κύματος κατά τη διάδοσή του από τα βαθιιά, στα ρηχά, ειδικά στην περιοχή των αμμιτών D(v-1), D(v), και D(v+1).

Έτσι σε κάθε βυθοκαμπύλη  $D(1), D(2), \dots, D(v), D(v+1), \dots$  αντιστοιχεί και μια οριζόντια περιοχή πυθμένα με αντίστοιχα βάθη τα βάθη  $d(1), d(2), \dots, d(v), d(v+1), \dots$  αυτών.

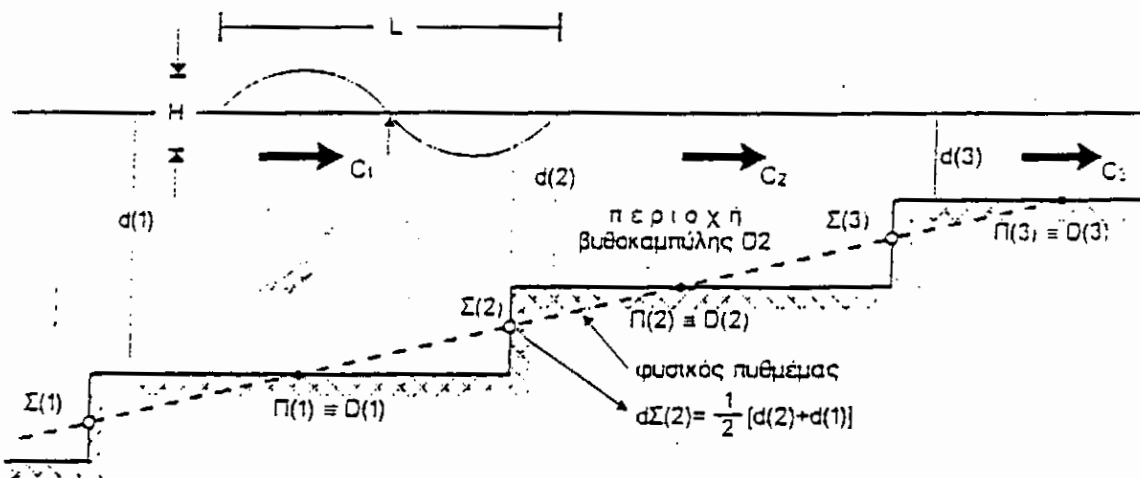
Είναι φανερό ότι στα παραπάνω μεταβατικά σημεία των αναβαθμών του πυθμένα,  $\Sigma(1), \Sigma(2) \dots \Sigma(v), \Sigma(v+1), \dots$  αποτελούν τις κορυφές της τεθλασμένης περιβάλλουσας της αντίστοιχης ορθογωνίου ΠΟ.Ν., στα οποία γίνεται η διάθλαση από περιοχή σε περιοχή.

Παρακάτω δίνονται αναλυτικά, βήμα προς βήμα, η πορεία που ακολουθεί και οι μεταβολές που υφίσταται, η τυχαία (τεθλασμένη) περιβάλλουσα της ορθογωνίου  $N, ΠΟ.Ν.$ , καθώς προχωρεί από τα βαθιά νερά (δηλαδή από την περιοχή της βυθοκαμπύλης  $D(0)$  με βάθος  $d(0) = L_0/2$  στα ρηχά νερά) προς την ακτή (βλέπε Σχ. 6.5 και Σχ. 6.6).

- Στην οριακή περιοχή  $D(0)$  με βάθος πυθμένα  $d(0) = L_0/2$ , όλες οι ορθογώνιες που γράφουν τα κύματα είναι ευθύγραμμες και παράλληλες και προσπίπτουν πάνω στη βυθοκαμπύλη  $D(0)$  με καμπύλη πρόσπτωσης  $C_\pi$  που είναι ίση με την ταχύτητα διάδοσης  $C_0$  στα βαθιά νερά και με γωνία πρόσπτωσης  $\pi_0$  που δεν είναι άλλη από την γωνία  $\alpha_0$  που σχηματίζει η διεύθυνση διάδοσης του κύματος στα βαθιά νερά με την κάθετο ευθεία πάνω στη βυθοκαμπύλη  $D(0)$ . Δηλαδή είναι  $C_\pi = C_0$  και  $\pi_0 = \alpha_0$ .



α. Πορεία της τεθλασμένης Περιβάλλουσας της ορθογωνίου N : ΠΟ. Ν του κύματος κατά το πέρασμά του από τις βυθοκαμπύλες D1, D2, D3



β. Μετασχηματισμός του κεκλιμένου φυσικού πυθμένα σε βαθμιδωτό με αναβαθμούς σταθερού βήθους d1, d2, d3

\* Αν η D1 είναι η βυθοκαμπύλη των βαθειών νερών τότε d1=Ld/2, Π1 ≡ Π'1 και π1=δ1=π0=α2, π2=π0+ω, Cπ=Cδ=C0=(g/2π)T

Σχήμα 6.6. Γεωμετρική παράσταση της πορείας που ακολουθεί η ΠΟ.Ν. του κύματος κατά τη διάδοσή του από τα βαθειά στα ρηχά, ειδικά στην περιοχή των βυθοκαμπυλών D1, D2 και D3

Εδώ όλες οι ορθογώνιες του κύματος είναι ευθείες γραμμές, παράλληλες μεταξύ τους και οι αντίστοιχοι κλάδοι των τεθλασμένων περιβαλλουσών αυτών ταυτίζονται με αυτές.

Έτσι παίρνοντας μία τυχαία ορθογώνιο Ο.Ν. που ακολουθεί (ή γράφει) το κύμα και που ξεκινά από ένα σημείο  $\Sigma(0)$  στα βαθιά νερά, η περιβάλλουσα αυτής ΠΟ.Ν. θα ακολουθήσει αναγκαστικά τη σταθερή διεύθυνση της διάδοσης του κύματος και θα προσπέσει πάνω στη βυθοκαμπύλη  $D(0)$  καθώς και στην περιοχή της ολόκληρης, με την ίδια γωνία πρόσπτωσης  $\pi_0$  του κύματος στα βαθιά νερά.

Επειδή στην οριζόντια αυτή περιοχή της βυθοκαμπύλης  $D(0)$  δεν αλλάζουν οι συνθήκες πυθμένα των βαθιών νερών, η ΠΟ.Ν. δεν θα διαθλασθεί, δηλαδή θα είναι:

$$\pi_0 = \delta_0$$

και συνεπώς η πορεία της θα συνεχιστεί ομαλή, σταθερή και ευθύγραμμη και με ταχύτητα διάθλασης  $C_\delta$  ίση με ταχύτητα διάδοσης του κύματος στα βαθιά νερά  $C_0$  ( $C_\delta = C_0$ ), μέχρι το επόμενο μεταβατικό σημεία  $\Sigma(1)$  στο οποίο υπάρχει κατακόρυφος αναβαθμός προς τα πάνω και ο πυθμένας αλλάζει βάθος.

Εκεί λόγω της αλλαγής (μείωση) του βάθους υφίσταται διάθλαση, δηλαδή κάμπτεται προς την κάθετη ευθεία πάνω στη βυθοκαμπύλη  $D(1)$ , κατά την γωνία διάθλασης  $\delta_1$  και συνεχίζει την πορεία της μέσα στη νέα περιοχή της βυθοκαμπύλης  $D(1)$  με οριζόντιο πυθμένα βάθους  $d(1)$  κατά τη νέα σταθερή διεύθυνση της  $\Sigma(1) - \Sigma(2)$  και με την ταχύτητα διάθλασης  $C_\delta = C_1$  που

είναι ίση με την ταχύτητα διάδοσης  $C_1$  που έχει το κύμα στο βάθος αυτό  $d(1)$ , μέχρι να φθάσει στο σημείο  $\Sigma(2)$  όπου υπάρχει ο επόμενος κατακόρυφος αναβαθμός, οπότε και πάλι θα διαθλαστεί.

Με τον ίδιο παραπάνω τρόπο, η ΠΟ.Ν. με τον κλάδο της  $\Sigma(v-2) - \Sigma(v-1)$  φθάνει στο σημείο  $\Sigma(v-1)$ , που είναι η αρχή της περιοχής της βυθοκαμπύλης  $D(v-1)$  με οριζόντιο πυθμένα βάθους  $d(v-1)$  και με την ταχύτητα διάθλασης  $C_\delta = C_{v-2}$  διάδοσης του κύματος στο βάθος  $d(v-2)$ .

Η ΠΟ.Ν. με τον κλάδο της  $\Sigma(v-2) - \Sigma(v-1)$  προσπίπτει στο σημείο  $\Sigma(v-1)$  επί της περιοχής  $D(v-1)$  με μια γωνία πρόσπτωσης  $\pi_{v-1}$  και με την ταχύτητα πρόσπτωσης  $C_\pi = C_{v-2}$ . Στο σημείο αυτό  $\Sigma(v-1)$ , λόγω της απότομης μεταβολής του βάθους του πυθμένα (μείωση), η ΠΟ.Ν. διαθλάται με μία γωνία διάθλασης  $\delta_{v-1}$ . Στη συνέχεια προχωρεί κατά τη νέα αυτή διεύθυνσή της μέσα στη περιοχή της βυθοκαμπύλης  $D(v-1)$  σταθερού βάθους  $d(v-1)$ , με την ταχύτητα διάθλασης  $C_\delta = C_{v-1}$  και αφού τμήσει τη βυθοκαμπύλη στο  $\Pi_{v-1}$  φθάνει στο τέρμα της περιοχής αυτής στο σημείο  $\Sigma(v)$ , όπου υπάρχει αναβαθμός μεταξύ των περιοχών των βυθοκαμπυλών  $D(v-1)$  και  $D(v)$ , οπότε και διαθλάται ξανά.

Η ΠΟ.Ν. με τον κλάδο της  $\Sigma(v-1) - \Sigma(v)$  προσπίπτει επί της περιοχής της βυθοκαμπύλης  $D(v)$  με γωνία πρόσπτωσης  $\pi_v = \delta_{v-1} + \omega$  και με ταχύτητα πρόσπτωσης  $C_\pi = C_{v-1}$ . Στο σημείο αυτό  $\Sigma(v)$ , λόγω ακριβώς της ύπαρξης του αναβαθμού στον πυθμένα, αναγκαστικά διαθλάται.

Η γωνία διάθλασης αυτής  $\delta_v$  καθορίζει τη νέα διεύθυνση πορείας της ΠΟ.Ν. η οποία συνεχίζει να προχωρεί ομαλά μέσα στην περιοχή της βυθοκαμπύλης  $D(v)$  σταθερού βάθους  $d(v)$  και με τη σταθερή ταχύτητα διάθλασης  $C_\delta = C_v$ , που είναι ίση με την ταχύτητα διάδοσης του κύματος στο βάθος αυτό. Έτσι αφού περάσει τη βυθοκαμπύλη  $D(v)$  στο σημείο  $P_v$  φθάνει στο τέρμα  $\Sigma(v+1)$  της περιοχής της βυθοκαμπύλης  $D(v)$ , όπου υπάρχει ο νέος αναβαθμός και ο πυθμένας υπερυψώνεται στο βάθος  $d(v+1)$  της νέας περιοχής της βυθοκαμπύλης  $D(v+1)$ .

Σ' αυτή τη γενική διαδικασία της διάθλασης ισχύει ο νόμος του Snell:

«Τα ημίτονα των γωνιών πρόσπτωσης και διάθλασης  $\eta\mu\pi_v$  και  $\eta\mu\delta_v$  του κύματος στον αναβαθμό  $\Sigma(v)$  είναι ανάλογα προς τις ταχύτητες πρόσπτωσης και διάθλασης  $C_\pi$  και  $C_\delta$  του κύματος στον ίδιο αναβαθμό, που είναι αντίστοιχα ίσες με τις ταχύτητες διάδοσης του κύματος  $C_{v-1}$  και  $C_v$  πριν και μετά τον αναβαθμό, δηλαδή στις βυθοκαμπύλες  $D(v-1)$  και  $D(v)$ ».

Η μαθηματική έκφραση του νόμου αυτού είναι η παρακάτω:

$$\frac{\eta\mu\pi_v}{C_\pi} = \frac{\eta\mu\delta_v}{C_\delta} \quad (6.3)$$

$$\text{ή } \frac{\eta\mu\delta_v}{\eta\mu\pi_v} = \frac{C_\delta}{C_\pi} = \frac{C_v}{C_{v-1}} \quad (6.4)$$



$$\text{όπου: } \pi_v = \delta_{v-1} + \omega \quad (6.5)$$

$$C_\pi = C_{v-1} \quad (6.6)$$

$$C_\delta = C_v \quad (6.7)$$

Η ΠΟ.Ν. με τον κλάδο της  $\Sigma(v) - \Sigma(v+1)$  προσπίπτει επί της περιοχής της βυθοκαμπύλης  $D(v-1)$  με γωνία πρόσπτωσης (σύμφωνα με τη διάταξη του ΣΧ.6.5α):

$$\pi_{v+1} = \delta_v + \varphi \quad (6.8)$$

και με ταχύτητα  $C_\pi = C_v$

Στο σημείο αυτό  $\Sigma(v+1)$  η ΠΟ.Ν. και πάλι διαθλάται λόγω ακριβώς της ύπαρξης του αναβαθμού μεταξύ των περιοχών των βυθοκαμπυλών  $D(v)$  και  $D(v+1)$ , και ο νόμος Snell ισχύει και εδώ.

- Με τον παραπάνω τρόπο συνεχίζεται η πορεία της περιβάλλουσας ΠΟ.Ν. μέχρι την ακτή.
- Από την παραπάνω ανάλυση φαίνεται καθαρά ότι για την χάραξη της περιβάλλουσας μίας ορθογωνίου, ΠΟ.Ν., χρειάζεται να βρεθούν:

α) Τα κατακόρυφα σημεία  $\Sigma(1), \Sigma(2) \dots \Sigma(v+1) \dots$  της περιβάλλουσας που είναι τα μέσα σημεία μεταξύ των διαδοχικών βυθοκαμπυλών  $D(1), D(2) \dots D(v)$ .

β) Οι ταχύτητες διάδοσης του κύματος στις περιοχές των βυθοκαμπυλών  $D(1), D(2) \dots D(v+1) \dots$  με αντίστοιχα βάθη  $d(1), d(2) \dots d(v), d(v+1), \dots$

γ) Οι γωνίες πρόσπτωσης  $\pi$  και διάθλασης  $\delta$ , σε κάθε κορυφοσημείο  $\Sigma(1), \Sigma(2), \dots, \Sigma(v), \Sigma(v+1), \dots$  της περιβάλλουσας.

Όλα τα παραπάνω μπορούν να υπολογισθούν από τα δεδομένα στοιχεία του κύματος και του βυθομετρικού χάρτη, εκτός από τις γωνίες διάθλασης  $\delta$  που για την εύρεσή τους θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η σχέση 6.4.

Για απλοποίηση της παραπάνω ανάλυσης σχεδιάστηκε το διάγραμμα διάθλασης του ΣΧ.6.5α και β, όπου φαίνονται δύο συγκεκριμένες βυθοκαμπύλες  $D(1)$  και  $D(2)$  βάθους  $d(1)$  και  $d(2)$  αντίστοιχα και δύο κορυφοσημεία  $\Sigma 1$  και  $\Sigma 2$  της περιβάλλουσας της ορθογωνίου  $N$ , της ΠΟ.Ν.

Στην περίπτωση αυτή, οι σχέσεις 6.3 έως 6.7 γράφονται:

$$\frac{\eta\mu\delta_2}{\eta\mu\pi_2} = \frac{C_2}{C_1} \quad (6.9)$$

$$\pi_2 = \delta_1 + \omega \quad (6.10)$$

$$C_\pi = C_1 \quad (6.11)$$

$$C_\delta = C_2 \quad (6.12)$$

Στη συνέχεια βρίσκονται, σημείο προς σημείο  $\Sigma(v)$ , όλα τα στοιχεία που χρειάζονται για να υπολογισθούν οι διαδοχικές γωνίες διάθλασης  $\delta_v$ , ώστε να χαραχθεί γεωμετρικά η περιβάλλουσα ΠΟ.7 της ορθογωνίου Ο.7, οπότε με καμπυλόγραμμα χαράσσεται και η ορθογώνιος του κύματος Ο.7

ΣΗΜΕΙΟ Σ30 [στο βάθος  $d(\Sigma 30) = \frac{1}{2}(50+30) = 40 \text{ m}$ ]  
(βλέπε Σχ.6.3)

Έστω Π50 το σημείο τομής της ορθογωνίου Ο.7, που έρχεται από τα βαθιά με Β.Δ. διεύθυνση, με την 1<sup>η</sup> βυθοκαμπύλη των βαθιών νερών, που πρακτικά παίρνεται  $D(O) = D(L_0/2) = D50$  με βάθος  $d50 = L_0/2 = 50 \text{ m}$ .

Η γωνία πρόσπτωσης της ορθογωνίου Ο.7, όπως και όλες οι άλλες που έρχονται από το πέλαγος, είναι  $\pi_0 = \pi_{50} = \delta_{50} = 45^\circ$  (Β.Δ. διεύθυνση).

Εδώ συμβαίνει Ο.7= ΠΟ.7

Προεκτείνεται η ΠΟ.7- Π50 μέχρι να τμήσει τη βυθοκαμπύλη  $D(30)$  [ $d(30)=30 \text{ m}$ ] στο σημείο Π'30 και βρίσκεται πάνω στην Π50 – Π'30 το σημείο Σ30 μέσου βάθους των βυθοκαμπυλών  $D30$  και  $D50$ , που αποτελεί το πρώτο κορυφοσημείο της ζητούμενης περιβάλλουσας.

Κατόπιν βρίσκεται η ταχύτητα πρόσπτωσης  $C_\pi = C_{50}$  στη βυθοκαμπύλη  $D50$  και η ταχύτητα διάθλασης  $C_\delta = C_{30}$  στη βυθοκαμπύλη  $D30$ .

Για την ευκολότερη ταξινόμηση και χρησιμοποίηση των στοιχείων του κύματος, συντάχθηκε ο Πιν.1 στον οποίο έχουν υπολογισθεί ορισμένα απαραίτητα στοιχεία των κυμάτων σε διάφορα βάθη.

Έτσι:

Από τον Πιν. 1:  $C_{\pi} = C_{50} = 12.44 \text{ m/sec}$

$$C_{\delta} = C_{30} = 12.00 \text{ m/sec}$$

Από το Σχ. 6.3:  $\epsilon\phi\omega_{30} = 0.4601$  και  $\omega_{30} = 24.70^{\circ}$

Δεδομένο :  $\pi_o = \delta_{50} = 45^{\circ}$

Από το Σχ. 6.3 και Εξ. 6.10:  $\pi_{30} = \delta_{50} + \omega_{30} = 45^{\circ} + 24.70^{\circ} = 69.70^{\circ}$

Από την εξ. 6.9:  $\eta\mu \delta_{30} / \eta\mu 69.70^{\circ} = 12.00 / 12.44$

$$\eta\mu \delta_{30} = 0,9047 \text{ και } \delta_{30} = 64,80^{\circ}$$

ΣΗΜΕΙΟ Σ20 [στο βάθος  $d = \frac{1}{2} (30+20) = 25 \text{ m}$ ]

Από τον Πιν. 1:  $C_{\pi} = C_{30} = 12.00 \text{ m/sec}$

$$C_{\delta} = C_{20} = 11.10 \text{ m/sec}$$

Από το Σχ. 6.3:  $\epsilon\phi\omega_{20} = 0$  και  $\omega_{20} = 0$

$$90 - \delta_{30} + 90 + \omega_{30} + \pi_{20} = 180 \text{ ή}$$

$$\pi_{20} = \delta_{30} - \omega_{30} = 64.80 - 24.70 = 40.10^{\circ}$$

Από την εξ. 6.9:  $\eta\mu \delta_{20} / \eta\mu 40.10^{\circ} = 11.10 / 12.00$

$$\eta\mu \delta_{20} = 0.5968 \text{ και } \delta_{20} = 36.60^{\circ}$$

ΣΗΜΕΙΟ Σ10 [στο βάθος  $d = \frac{1}{2} (10+20) = 15 \text{ m}$ ]

Από τον Πιν. 1:  $C_{\pi} = C_{20} = 11.10 \text{ m/sec}$

$$C_{\delta} = C_{10} = 8.86 \text{ m/sec}$$

Από το Σχ. 6.3:  $\epsilon\phi\theta_{10} = 0^{\circ}$  και  $\theta = 0^{\circ}$

$$90 - \delta_{30} + 90 + \omega_{30} + \pi_{20} = 180 \text{ ή}$$

$$\pi_{10} = \delta_{20} = 36.60^{\circ}$$

Από την εξ. 6.9:  $\eta\mu \delta_{10} / \eta\mu 36.60^{\circ} = 8.86 / 11.10$

$$\eta\mu \delta_{10} = 0.4759 \text{ και } \delta_{10} = 28.40^{\circ}$$

ΣΗΜΕΙΟ Σ5 [στο βάθος  $d = \frac{1}{2}(10+5) = 7,5 \text{ m}$ ]

Από τον Πιν.1:  $C_{\pi} = C_{10} = 6.63 \text{ m/sec}$

$C_{\delta} = C_5 = 3.80 \text{ m/sec}$

Από το Σχ.6.3:  $\epsilon\phi\omega_5 = 0^\circ$  και  $\omega_5 = 0$

$90 - \delta_{30} + 90 + \omega_{30} + \pi_{20} = 180$  ή

$\pi_5 = \delta_{10} = 28.40^\circ$

Από την εξ.6.9:  $\eta\mu \delta_5 / \eta\mu 28.40^\circ = 6.63/8.86$

$\eta\mu \delta_5 = 0.3558$  και  $\delta_5 = 20.80^\circ$

ΣΗΜΕΙΟ Σ1,50 [στο βάθος  $d = \frac{1}{2}(5.00+1.50) = 3.25$ ]

Από τον Πιν.1:  $C_{\pi} = C_5 = 6.63 \text{ m/sec}$

$C_{\delta} = C_{1,50} = 3.80 \text{ m/sec}$

Από το Σχ.6.3:  $\epsilon\phi\omega_{1,50} = 0^\circ$  και  $\omega_{1,50} = 0$

$90 - \delta_{30} + 90 + \omega_{30} + \pi_{20} = 180$  ή

$\pi_{1,50} = \delta_5 = 20.80^\circ$

Από την εξ.6.9:  $\eta\mu \delta_{1,50} / \eta\mu 20.80^\circ = 3.80/6.63$

$\eta\mu \delta_{1,50} = 0.2035$  και  $\delta_{1,50} = 11.75^\circ$

Για την βυθοκαμπύλη της ακτογραμμής, προφανώς είναι:

$\eta\mu\delta_0 = 0$  και  $\delta_0 = 0^\circ$

Με αυτά τα στοιχεία κατασκευάσθηκε τελικά στο Σχ.6.3 η τεθλασμένη περιβάλλουσα της ορθογωνίου Ο.7:

ΠΟ.7 – Σ30 – Σ20 – Σ10 – Σ5 – Σ1,50 – Σ0.

Η ορθογώνιος καμπύλη Ο.7 χαράχθηκε (εγγράφηκε) στη συνέχεια με καμπυλόγραμμο, ως εφαπτόμενη στις πλευρές της περιβάλλουσάς της.

Με τον ίδιο τρόπο χαράχθηκαν και όλες οι υπόλοιπες ορθογώνιες που φαίνονται στο Σχ.6.3.

- Χάραξη των κορυφογραμμών των κυμάτων

Μετά την χάραξη των ορθογωνίων, το επόμενο στάδιο είναι η χάραξη των κορυφογραμμών (βλέπε Σχ.6.3 και 6.4). Και οι κορυφογραμμές, που είναι επίσης καμπύλες γραμμές, κάθετες με τις ορθογώνιες καμπύλες, χαράσσονται με καμπυλόγραμμο αφού πρώτα κατασκευασθούν οι τεθλασμένες περιβάλλουσές τους.

Η τεχνική της κατασκευής των περιβαλλουσών αυτών περιγράφεται στη συνέχεια.

- Σε κάθε ορθογώνιο Ο.Ν. βρίσκεται ένας ορισμένος αριθμός σημείων ίσος με τον αριθμό των κορυφογραμμών που θέλουμε να χαράξουμε (κάθε ένα σημείο απ' αυτά αντιστοιχεί και σε μια διαφορετική κορυφογραμμή).

Για να γίνει αυτό εκλέγεται ή καθορίζεται η απόσταση που θέλουμε να απέχουν οι κορυφογραμμές μεταξύ τους σε ακέραια πολλαπλάσια ή υποπολλαπλάσια του μήκους κύματος, ή το ίδιο ο χρόνος διάδοσης του κύματος από τη μία κορυφογραμμή στην άλλη σε πολλαπλάσια ή υποπολλαπλάσια της περιόδου  $T$  του κύματος.

Εδώ πάρθηκε απόσταση μεταξύ των κορυφογραμμών ίση με 3 μήκη κύματος ( $3L$ ).

Το μήκος του κύματος σε κάθε χαρακτηριστικό βάθος έχει υπολογισθεί στους Πιν. 1 και 3.

Στο Σχ.6.7 φαίνεται ολόκληρο το διαθλαστικό διάγραμμα, στο οποίο έχουν κατασκευασθεί 10 ορθογώνιοι και 11 κορυφογραμμές.

Παίρνοντας λοιπόν έστω την ορθογώνιο Ο.8 βρίσκουμε πάνω σ' αυτήν διαδοχικά τα σημεία από το Π50 -ως πρώτο- μέχρι το τελευταίο ΠΟ στην ακτή, που να απέχουν μεταξύ τους αποστάσεις 3L.

- Καθορισμός των κοινών σημείων  $u_1, u_2, u_3, \dots, u_{11}$  της ορθογωνίου Ο.8 και των κορυφογραμμών  $K_1, K_2, K_3, \dots, K_{11}$
- Δοκιμαστικά και με αρχή το Π50 ή το  $u_1$  παίρνουμε ένα τμήμα πάνω στην ορθογώνιο Ο.8 μήκους ίσου με  $1.50 L_{50} = 1.50 \times 99.56 = 149 \text{ m}$  (όπου  $L_{50}$  το μήκος κύματος στο βάθος  $d = 50 \text{ m}$ ).

Στο σημείο αυτό βρίσκεται ένα βάθος  $d = 47.5 \text{ m}$ , βάσει του βυθομετρικού χάρτη. Στο βάθος αυτό το μήκος κύματος είναι (υπολογίζεται στον Πιν.1)  $L_{47,5} = 99.41$ , οπότε το πραγματικό μήκος των 3 κυμάτων είναι  $3 \times 99.41 = 298 \text{ m}$ . Παίρνοντας συνεπώς τμήμα μήκους Π50 -  $u_2 = 298 \text{ m}$  πάνω στην Ο.8 βρίσκεται το  $u_2$  σημείο της ορθογωνίου Ο.8 που ανήκει στην κορυφογραμμή  $K_2$ , η οποία ανήκει στην περιοχή μέσου βάθους ή αναβαθμού  $d = 47.5 \text{ m}$ .

Από το βυθομετρικό χάρτη προκύπτει πραγματικό βάθος του σημείου  $u_2$ ,  $d = 45.00$  m.

- Στη συνέχεια, παίρνοντας από το  $u_2$  πάνω στην  $O.8$  ένα τμήμα μήκους  $1.5$   $L_{45} = 1.5 \times 99.25 = 149$  m ( όπου  $L_{45}$ , το μήκος του κύματος στο βάθος  $d = 45$  m), βρίσκεται (από τον βυθομετρικό χάρτη) στο τέρμα του τμήματος αυτού βάθους  $d = 42.5$  m.

Γι' αυτό το βάθος βρίσκεται (Πιν.1)  $L_{42,5} = 98.97$  m, οπότε τα 3 μήκη είναι  $3 \times 98.97 = 297$  m. Παίρνοντας την απόσταση  $u_2 - u_3 = 297$  m πάνω στην  $O.8$ , βρίσκεται το  $u_3$  σημείο της ορθογωνίου  $O.8$  που ανήκει και στην κορυφογραμμή  $K3$ . Από το βυθομετρικό χάρτη βρίσκεται πραγματικό βάθος του σημείου  $u_3$ ,  $d = 40.00$  m.

- Το ίδιο επαναλαμβάνεται μέχρι την ακτή και βρίσκονται 11 σημεία πάνω στην ορθογώνιο  $O.8$  που αντίστοιχα ανήκουν στις κορυφογραμμές  $K1$  μέχρι  $K11$ .
- Η ίδια εργασία γίνεται και σε όλες τις άλλες ορθογώνιες. Έτσι σε κάθε ορθογώνιο  $O.6, O.7, \dots O.11$  βρίσκονται τα σημεία  $u_1, u_2, u_3, \dots U_{11}$  που αποτελούν τα σημεία τομής των κορυφογραμμών  $K1, K2, \dots K11$  με τις ορθογώνιες αυτές.
- Αν σ' αυτά τα σημεία  $u_1, u_2, u_3, \dots u_{11}$ , όλων των ορθογωνίων  $O.6, O.7, \dots O.11$  φέρουμε κάθετες πάνω στις αντίστοιχες ορθογώνιες στις οποίες ανήκουν, τότε κάθε μία



(βλέπε π.χ. την K7 στο Σχ.6.3), με αποτέλεσμα να κατασκευάζεται έτσι μια τεθλασμένη γραμμή για κάθε ομάδα σημείων  $u_1, u_2, u_3, \dots, u_{11}$ , που αποτελούν τις περιβάλλουσες ΠΚ αντίστοιχα των καμπυλών των κορυφογραμμών  $K_1, K_2, \dots, K_{11}$ . Οπότε, με καμπυλόγραμμα χαράσσονται οι καμπύλες που περνούν από τις ομάδες των σημείων  $u_1, u_2, u_3, \dots, u_{11}$  αντίστοιχα και είναι εφαπτόμενες των αντίστοιχων περιβαλλουσών, δηλαδή των καθέτων ευθειών πάνω στις ορθογώνιες στα σημεία αυτά.

Για παράδειγμα στο Σχ.6.3, δείχνεται μια τέτοια τεθλασμένη περιβάλλουσα της κορυφογραμμής K7.

- Με την παραπάνω χάραξη όλων των κορυφογραμμών  $K_1, K_2, \dots, K_{11}$  συμπληρώθηκε πλήρως το διαθλαστικό διάγραμμα, που τελικά έχει σχεδιασθεί στο Σχ.6.7.
- Υπολογισμός των συντελεστών διάθλασης

Ο υπολογισμός των συντελεστών διάθλασης  $K_r$  σε κάποιο σημείο γίνεται με την εφαρμογή της παρακάτω εξίσωσης:

$$K_r = \sqrt{\frac{b_o}{b}} \quad (6.13)$$

Όπου:  $b_o$  και  $b$  : τα μήκη των κορυφογραμμών στα βαθιά νερά και στο θεωρούμενο σημείο αντίστοιχα, που αποκόπτουν δύο γειτονικές ορθογώνιες που περικλείουν το σημείο.

Σύμφωνα με αυτή τη σχέση υπολογίζονται στον Πιν. 2 οι συντελεστές διάθλασης σε ορισμένα σημεία τομής των κορυφογραμμών με τις ορθογώνιες 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 και 0.10.

#### 6.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΣΩΛΗΝΑ

- Περίπτωση κυματισμού χωρίς υποθαλάσσιο ρεύμα.

Γενικά το ύψος του κύματος σε ένα τυχόν σημείο βρίσκεται από τη σχέση:

$$H = H_0 K_r K_s$$

Όπου:  $H_0$  = το ύψος του κύματος στα βαθιά νερά

$K_r$  = ο συντελεστής διάθλασης

$K_s$  = ο συντελεστής αβαθούς

Στο προηγούμενο εδάφιο έχει εκτεθεί ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή διάθλασης  $K_r$ .

Ο συντελεστής αυτός  $K_s$  μπορεί να παρθεί κατευθείαν από Πίνακα.

Στον Πιν. 3 γίνονται όλοι οι σχετικοί υπολογισμοί, από το βάθος  $d = 4.00$  m μέχρι το βάθος  $d=25.00$  m, του άξονα του σωληναγωγού, από τους οποίους βρίσκεται τελικά το ύψος του κύματος  $H$  σε ορισμένα σημεία του σωληναγωγού.

Στον Πιν.3 έχουν επίσης γραφεί οι υπολογισθείσες γραφοαναλυτικά με βάση το Σχ.6.3, γωνίες  $\Theta$  που σχηματίζουν οι ορθογώνιες με τις κάθετες πάνω στον άξονα του σωληναγωγού, δηλαδή οι γωνίες πρόσπτωσης επί του αγωγού που θα χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό της οριζόντιας συνιστώσας των δυνάμεων του κύματος, η οποία είναι κάθετη πάνω στον άξονα του σωληναγωγού.

- Περίπτωση κυματισμού με Υποθαλάσσιο Ρεύμα

Όπως αποδεικνύεται εκεί οι επιδράσεις του υποθαλάσσιου ρεύματος πάνω στα στοιχεία του κύματος H και L δεν είναι σημαντικές στις συνήθεις περιπτώσεις όπως εδώ και γι' αυτό θα παραλειφθούν.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 2

## ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΣΕ ΟΡΙΣΜΕΝΑ ΣΗΜΕΙΑ

ΟΡΘΟΓΩΝΙΟΙ	ΚΟΡΥΦΟΓΡΑΜΜΗ	b <sub>0</sub>	b	K <sub>r</sub>
0.6-0.7	K4	180	225	0.894
0.6-0.7	K5	180	260	0.832
0.6-0.7	K6	180	300	0.775
0.6-0.7	K7	180	370	0.697
0.6-0.7	K8	180	420	0.654
0.7-0.8	K4	350	390	0.948
0.7-0.8	K5	350	415	0.918
0.7-0.8	K6	350	450	0.882
0.7-0.8	K7	350	480	0.853
0.7-0.8	K8	350	530	0.813
0.7-0.8	K9	350	620	0.751
0.8-0.9	K4	350	360	0.986
0.8-0.9	K5	350	360	0.986
0.8-0.9	K6	350	360	0.986
0.8-0.9	K7	350	360	0.986
0.8-0.9	K8	350	360	0.986
0.8-0.9	K9	350	360	0.986
0.8-0.9	K10	350	375	0.966
0.9-0.10	K4	350	355	0.986
0.9-0.10	K5	350	355	0.986
0.9-0.10	K6	350	355	0.986
0.9-0.10	K7	350	355	0.986
0.9-0.10	K8	350	355	0.986

## ΠΙΝΑΚΑΣ 3

Υπολογισμός: α) του ύψους του κύματος  $\max H$ , σε διάφορες θέσεις του σωληναγωγού, όταν  $H_0 = 5.60$  m και γωνία πρόσπτωσης  $\pi_0 = 45^\circ$   
 β) του  $H_0'$  για την περίπτωση βαθμιδωτού πυθμένα και κάθετης πρόσπτωσης των κυμάτων  $\pi_0 = 0^\circ$

d	d/L <sub>0</sub>	d/L	L	$\theta$	K <sub>r</sub>	K <sub>s</sub>	K <sub>r</sub> xK <sub>s</sub>	maxH	H <sub>0</sub> '*
m	-	-	m	0	-	-	-	m	m
-4	0.040	0.08329	47.98	44	0.654	1.064	0.696	3.90	3.70
-5	0.050	0.09416	53.06	34	0.650	1.023	0.665	3.70	3.60
-6	0.060	0.1043	57.48	33	0.650	0.9932	0.646	3.60	3.60
-7.5	0.075	0.1186	63.19	32	0.764	0.9624	0.755	4.10	4.30
-10	0.100	0.1410	70.87	30	0.825	0.9327	0.770	4.30	4.70
-12.5	0.125	0.1624	76.94	27	0.836	0.9186	0.768	4.30	4.70
-15	0.150	0.1833	81.76	23	0.838	0.9133	0.768	4.30	4.70
-17.5	0.175	0.2042	85.65	22	0.845	0.9139	0.772	4.30	4.70
-20	0.200	0.2251	88.74	20	0.850	0.9181	0.780	4.40	4.80
-22.5	0.225	0.2463	91.27	18	0.985	0.9245	0.910	5.00	5.40
-25	0.250	0.2679	93.25	14	0.993	0.9323	0.926	5.20	5.60

\* Το ύψος του κύματος  $H_0' = H/K_s$  στα βαθιά νερά για την φανταστική περίπτωση βαθμιδωτού πυθμένα και γωνίας πρόσπτωσης  $\pi_0 = 0$

## 7. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΡΟΠΩΝ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΠΑΡΑΛΙΑΚΗ ΤΟΥΡΙΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Θα εξετάσουμε εναλλακτικούς τρόπους διάθεσης των λυμάτων μιας παραλιακής τουριστικής περιοχής η οποία συγκεντρώνει τα παρακάτω στοιχεία.

Πληθυσμός περιόδου αιχμής 10000 κάτοικοι.

Ελάχιστο επιτρεπόμενο μήκος εκροής 1500 μέτρα από την ακτή.

Βάθος εκροής 20 μέτρα.

Πυκνότητα θάλασσας  $\rho_a = 1024 \text{ gr/cm}^3$

Πυκνότητα λυμάτων  $\rho_o = 1 \text{ gr/cm}^3$

Αρχικό BOD θάλασσας 2mg/lt

Διάμετρος οπής εκροής  $D = 20 \text{ cm}$

BOD λυμάτων 60gr/κάτοικο/ημέρα

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία έχουμε παροχή αποχετευτικού αγωγού :

$$Q = \frac{100 \times 1000 \times 1000}{24 \times 60 \times 60}$$

$$\Rightarrow Q = 11574 \text{ cm}^3 / \text{sec}$$

Ταχύτητες εκροής:  $U_o = \frac{4Q}{\pi D^2} \Rightarrow U_o = \frac{4 \times 11574}{\pi \times 20^2} = 36.84 \text{ cm/sec}$

Αριθμός Froude:  $F_o = \frac{U_o}{\{(P_a - P_o)/P_a\} g D}^{1/2} \Rightarrow$

$$F_o = \frac{36.84}{\{(1.024 - 1)/1.024\} 9.81 \times 20}^{1/2} \Rightarrow$$

$$F_o = 1.72 < 15$$

## 7.1 Εκροή απευθείας από τον διαχυτή

### α) Χωρίς αρχική επεξεργασία των λυμάτων

Συγκέντρωση BOD λυμάτων:

$$C_o = \frac{60 \times 1000 \times 10000}{100 \times 10000} \Rightarrow$$

$$C_o = 600 \text{ mg/l}$$

$$\frac{C_o - C_a}{C_m - C_a} = 0.128 F_o^{-2/3} (X/D)^{1/3} \Rightarrow$$

$$\overline{C_m} = 5.12 \text{ mg/l}$$

β) Επεξεργασία των λυμάτων μέσω δεξαμενής καθίζησης

Στην περίπτωση αυτή κρατείται το 35% της αρχικής συγκέντρωσης. Επομένως θα διοχετευτεί από το διαχυτή μια ποσότητα με

$$C_o' = 600 \times 0.65 = 390 \text{ mg / lt}$$

$$\frac{C_o' - C_a}{C_m - C_a} = 0.128 F_o^{-2/3} (X/D)^{5/3} \Rightarrow$$

$$\overline{C_m} = 4 \text{ mg / lt}$$

γ) Επεξεργασία των λυμάτων μέσω βιολογικού καθαρισμού

Στην περίπτωση αυτή κατακρατείται το 80% της αρχικής συγκέντρωσης. Επομένως από το διαχυτή διοχετεύεται ποσότητα με

$$C_o'' = 600 \times 0.2 = 120 \text{ mg / lt}$$

$$\frac{C_o'' - C_a}{C_m'' - C_a} = 0.128 F_o^{-2/3} (X/D)^{5/3} \Rightarrow$$

$$\overline{C_m''} = 2.61 \text{ mg / lt}$$



## 7.2 Εκροή από διαχυτές με οπές

Εκλέγουμε διαχυτή μήκους  $L=15\text{m}$  με πέντε οπές, διαμέτρου  $8\text{cm}$  και απόσταση μεταξύ τους  $2\text{m}$ .

Στην περίπτωση αυτή έχουμε:

$$BxL = n \left( \frac{\pi d^2}{4} \right)$$

όπου  $L$  είναι κατά προσέγγιση το γινόμενο του αριθμού των οπών επί την απόστασή μεταξύ τους, δηλαδή στην περίπτωση μας  $L=5 \times 2=10\text{m}$

Είναι:

$$BxL = n \left( \frac{\pi d^2}{4} \right) \Rightarrow B = \frac{nx\pi d^2}{4xL} \Rightarrow$$

$$B = 0.25\text{cm}$$

$$F_o = \frac{Q}{BL\sqrt{(DP/P)gB}} \Rightarrow$$

$$F_o = 19.31 > 15$$

$$\xi = \left( \frac{X}{B} \right) F_o^{-4/3} = 154.31$$

Σε αντιστοιχία με την 7.1 έχουμε:

α) Χωρίς αρχική επεξεργασία των λυμάτων

Αρχική συγκέντρωση λυμάτων  $C_0=600\text{mg/l}$

$$\frac{C_0 - C_a}{\bar{C}_m - C_a} = 0.54 F_0^{2/3} \left[ 0.83 + 0.106 \xi^{3/2} \left( 1 + 0.25 \xi^{3/2} \right)^{-1} \right]$$

$$\xi^{1/2} \left( 1 + 0.25 \xi^{3/2} \right)^{1/3} = 476 \Rightarrow$$

$$\bar{C}_m = 3.26 \text{mg/l}$$

β) Επεξεργασία των λυμάτων μέσω δεξαμενής καθίζησης

Στην περίπτωση αυτή κατακρατείται το 35% της αρχικής συγκέντρωσης. Άρα διοχετεύεται ποσότητα με  $C_0' = 600 \times 0.65 = 360 \text{m/l}$ .

Τα αποτελέσματα σύμφωνα με τον τύπο της περίπτωσης (α)

είναι:

$$\frac{C_0' - C_a}{\bar{C}_m' - C_a} = 476 \Rightarrow$$

$$\bar{C}_m' = 2.81 \text{m/l}$$

γ) Επεξεργασία των λυμάτων μέσω βιολογικού καθαρισμού

Στη περίπτωση αυτή κατακρατείται το 80% της αρχικής συγκέντρωσης άρα θα έχουμε διοχέτευση ποσότητας με

$$C_o'' = 600 \times 0.2 = 120 \text{ mg/l}$$

I. Εκροή απευθείας από το διαχυτή

H=20 m

Τρόπος επεξεργασίας	Q	U <sub>o</sub>	F <sub>o</sub>	D	Ca	Co	Cm	(Co-Ca)/ (Cm-Ca)
Χωρίς επεξεργασία	11.574	36.8	1.72	20	2	600	5.12	192
Επεξεργασία μέσω δεξαμενής καθίζησης						390	4	
Επεξεργασία μέσω βιολογικού καθαρισμού						120	2.61	

H=7.5 m

Τρόπος επεξεργασίας	Q	U <sub>o</sub>	F <sub>o</sub>	D	Ca	Co	Cm	(Co-Ca)/ (Cm-Ca)
Χωρίς επεξεργασία	11.574	36.8	1.72	20	2	600	17.9	37.46
Επεξεργασία μέσω δεξαμενής καθίζησης						390	12.3	
Επεξεργασία μέσω βιολογικού καθαρισμού						120	5.15	

H=13 m								
Τρόπος επεξεργασίας	Q	Uo	Fo	D	Ca	Co	Cm	(Co-Ca)/ (Cm-Ca)
Χωρίς επεξεργασία	11.574	36.8	1.72	20	2	600	8.38	93.69
Επεξεργασία μέσω δεξαμενής καθίζησης						390	6.14	
Επεξεργασία μέσω βιολογικού καθαρισμού						120	3.25	

II. Εκροή από το διαχυτή με οπές  $L = 15 \text{ m}$   $d = 8 \text{ cm}$

$$n = 5 \quad Fo = 19.31$$

H=20 m								
Τρόπος επεξεργασίας	Q	Uo	Fo	D	Ca	Co	Cm	(Co-Ca)/ (Cm-Ca)
Χωρίς επεξεργασία	11.574	36.8	1.72	20	2	600	3.26	476
Επεξεργασία μέσω δεξαμενής καθίζησης						390	2.81	
Επεξεργασία μέσω βιολογικού καθαρισμού						120	2.25	

## H=7.5 m

Τρόπος επεξεργασίας	Q	Uo	Fo	D	Ca	Co	Cm	(Co-Ca)/ (Cm-Ca)
Χωρίς επεξεργασία	11.574	36.8	1.72	20	2	600	11.9	60.3
Επεξεργασία μέσω δεξαμενής καθίζησης						390	8.43	
Επεξεργασία μέσω βιολογικού καθαρισμού						120	3.95	

## H=13 m

Τρόπος επεξεργασίας	Q	Uo	Fo	D	Ca	Co	Cm	(Co-Ca)/ (Cm-Ca)
Χωρίς επεξεργασία	11.574	36.8	1.72	20	2	600	7.78	103.4
Επεξεργασία μέσω δεξαμενής καθίζησης						390	5.75	
Επεξεργασία μέσω βιολογικού καθαρισμού						120	3.14	

## 8. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΜΕΛΕΤΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΜΕ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟ ΑΓΩΓΟ ΔΙΑΘΕΣΕΩΣ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Στις πόλεις του Άργους, Ναυπλίου, και στη Νέα Κίος έχει γίνει από κοινού μελέτη βιολογικού καθαρισμού με αγωγό διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων.

Η εκτίμηση του μελλοντικού πληθυσμού στον οποίο βασίστηκε η μελέτη έγινε με βάση τα στοιχεία των απογραφών όπως δίδονται από την στατιστική υπηρεσία της Δ.Ε.Υ.Α. Ναυπλίου.

Με βάση τα στοιχεία αυτά εκτιμήθηκε ότι οι μελλοντικοί ρυθμοί αύξησης του πληθυσμού για τις πόλεις του Άργους και της Νέας Κίου θα είναι της τάξης του 1% και 0.5% αντίστοιχα, και για την πόλη του Ναυπλίου θα είναι της τάξης του 1%.

Έτσι ο μελλοντικός πληθυσμός έχει ως εξής :

### ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ

ΕΤΟΣ	ΝΑΥΠΛΙΟ	ΑΡΓΟΣ	ΝΕΑ ΚΙΑ
2000	12.819	24.152	2.498
2010	14.610	26.025	2.600
2020	15.642	28.044	2.760
2030	17.279	30.890	2.900

Τα παραπάνω στοιχεία αφορούν το μόνιμο πληθυσμό των πόλεων αυτών. Όσον αφορά το μη μόνιμο πληθυσμό τα στοιχεία έχουν ως εξής :

α) ΔΙΑΝΥΚΤΕΡΕΥΣΕΙΣ  
ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ

ΕΤΟΣ	ΝΑΥΠΛΙΟ	ΑΡΓΟΣ	ΝΕΑ ΚΙΑ
2000	2.800	1.450	1.500
2010	3.800	2.200	2.000
2020	5.200	3.250	2.500
2030	7.000	4.810	3.000

β) ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟΙ

Εκτιμήθηκε ότι ο λόγος των διερχόμενων προς διανυκτερεύοντες είναι ( 1.5 ) / 1 διατηρούμενος σταθερός στο σύνολο του χρόνου ζωής του έργου.

γ) ΣΤΡΑΤΟΠΕΔΟ ΚΕΜΧ

Καλύπτει μια δύναμη των 1.600 ατόμων περίπου.

Οι παροχές και τα ρυπαντικά φορτία που προέρχονται από τις βιομηχανίες φαίνονται στον πίνακα 8.1, ενώ στον πίνακα 8.2 φαίνονται οι παροχές και τα ρυπαντικά φορτία σχεδιασμού δηλ. το σύνολο των φορτίων εξαιτίας βιομηχανικών και γενικού πληθυσμού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8.1( ΠΑΡΟΧΕΣ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ )  
ΠΑΡΟΧΕΣ ΑΙΧΜΗΣ ( m<sup>3</sup> / h )

Βιομ/νια	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν
Κύκνος						100	100	100	100		
Ρέα	15	15									
Πελαργός							45	45			
Αβικ	30	30					30	30			
Αφοι Χρισ/λου	100	100	100								100
Ασπς	45	45				45	45	45			
Αγροχυμ.	50	50									
Liberta	50	50				50	50	50			

ΦΟΡΤΙΑ BOD5 ( Kg / d )

ιομ/νια	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν
ύκνος						1200	1200	1200	1200		
έα	180	180									
ελαργός							540	540			
βικ	600	600					600	600			
φοι ρισ/λου	1200	1200	1200								1200
σπς	600	600				600	600	600			
γροχυμ.	600	600									
liberta	600	600				600	600	600			



## ΠΙΝΑΚΑΣ 8.2

## ΠΑΡΟΧΕΣ ΚΑΙ ΡΥΠΑΝΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ	2010	2030
Μέγιστη ημ/σια	m <sup>3</sup> / d	23172	33595
Μέση ημ/σια	m <sup>3</sup> / d	17426	24808
Ελάχιστη ημ/σια	m <sup>3</sup> / d	8128	11200
Παροχή Αιχμής	lt / sec	395.2	549.7
<b>ΦΟΡΤΙΟ</b>			
BOD 5	kg / d	7615	9769
S.S.	kg / d	7805	10197
Ολικό Άζωτο	kg / d	944	1054
Ολικός Φώσφορος	kg / d	345	392
<b>ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ</b>			
BOD 5	mg / lt	329	291
S.S.	mg / lt	337	303
Ολικό Άζωτο	mg / lt	41	31.4
Ολικός Φώσφορος	mg / lt	14.9	11.7

## ΠΙΝΑΚΑΣ 8.3

Περίοδος	Ζώνη	Έκταση	Πληθυσμιακή Πυκνότητα	Ειδική θερινή παροχή ακαθάρτων	Εισροές υπογείων υδάτων	Άθροισμα	Μέγιστη ημερήσια θερινή παροχή δικτύου ακαθάρτων	
							λιτ/δλ	λιτ/δλ
-	-	εκτ.	κατ./εκτ.	λιτ/δλ/εκτ	λιτ/δλ/εκτ	λιτ/δλ/εκτ	λιτ/δλ	λιτ/δλ
Πορεία	I	16,7	163	0,29	0,10	0,39	6,51	560
	II	54,3	79	0,14	0,10	0,24	13,03	1.130
ΣΥΝΟΛΟ		71,0	-	-	-	-	19,54	1.690
Πορεία	I	16,7	210	0,48	0,10	0,58	9,69	840
	II	54,3	101	0,23	0,10	0,33	17,92	1.550
ΣΥΝΟΛΟ		71,0	-	-	-	-	27,61	2.390

### 8.1.1 ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ – ΔΙΑΧΥΤΥΡΗΡΕΣ

Για το σχεδιασμό του υποβρύχιου αγωγού και των διαχυτήρων ελήφθησαν υπόψη τα παρακάτω :

- Ελάχιστη επιτρεπόμενη απόσταση εκβολής λυμάτων από αιγίαλο 1.500 m.
- Επιλεγόμενο ελάχιστο βάθος εκβολής 7 – 7.5 m.
- Εμβαδόν διατομής διαχυτήρα προς εμβαδόν συνολικού εμβαδού στομίων 3 έως 3 / 2.
- Αποστάσεις μεταξύ στομίων :  $l = 0.5y + 2.10dH$  ή  
 $l > 10d$  όπου :  $y$  = βάθος διαχυτήρα  
 $d$  = διάμετρος στομίου  
 $H$  = φορτίο διαχυτήρα
- Ταχύτητα μέσα στον διαχυτήρα :  $0.30 < U < 1.20 \text{ m / sec}$
- Μέση ελάχιστη διάχυση :  $S = \text{BOD5 εξόδου} / \text{BOD5} = 25 \%$
- Πυκνότητα θαλάσσιου νερού :  $1.025 \text{ kgr / m}^3$
- Πυκνότητα λυμάτων :  $1.000 \text{ kgr / m}^3$
- Συντελεστής συστολής που ισχύει για μήκος σωλήνα 2d έως 5d.

## 8.1.2 ΘΕΣΗ ΕΚΒΟΛΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

Για τη βέλτιστη χάραξη του αγωγού εκβολής είναι απαραίτητα μερικά ακόμα στοιχεία, που σε αυτή την φάση της μελέτης δεν υπάρχουν ( πληροφορίες από ΥΥΝ, 1986 ), χωρίς όμως να εμποδίσουν τελικά την ολοκλήρωσή της.

Ειδικότερα και αναφορικά με τον υποθαλάσσιο αγωγό που προτείνεται, επισημαίνουμε και τα παρακάτω :

- Η γενική διάταξη των έργων διάθεσης ακαθάρτων βασίζεται στην προπόθεση ολοκληρωμένου βιολογικού καθαρισμού, που θα πραγματοποιείται στην προτεινόμενη αντίστοιχη θέση Εγκαταστάσεις Καθαρισμού.
- Ο επιθυμητός όμως υψηλός βαθμός καθαρισμού, είναι πιθανόν να μην πραγματοποιηθεί αμέσως με την έναρξη λειτουργίας της Εγκατάστασης, άλλα εξελικτικά στο χρόνο, από μια κατώτερη βαθμίδα προς την τελική επιθυμητή υψηλόβαθμη αποδοχή. Τούτο συνδυαζόμενο και με τις περιόδους αναγκαστικής διακοπής της λειτουργίας της Εγκατάστασης – σε περίπτωση π.χ. διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος – οπότε τα ακάθαρτα θα εκβάλουν στη θάλασσα χωρίς προηγούμενο καθαρισμό, επιβάλλει την πρόβλεψη ελάχιστου βυθομέτρου για το στόμιο εκβολής του υποθαλάσσιου αγωγού, από το οποίο υψόμετρο θα εξαρτηθεί βέβαια και το αντίστοιχο μήκος του.

- Έτσι για τα δεδομένα της υπόψη Εγκατάστασης ( παροχές, βαθμός ρύπανσης κ.λ.π. ) και μετά από σχετικό υπολογισμό της απαιτούμενης αραιώσης αυτοκαθαρισμού ορίστηκε μετά από σειρά περιβαλλοντικών υπολογισμών το ελάχιστο αυτό βυθόμετρο στα 7.5 m με συνολικό μήκος αγωγού εκβολής 2.175 m. Βέβαια, εκβολή υποθαλάσσιου αγωγού σε μεγαλύτερο βαθύμετρο, θα αύξανε τον βαθμό αραιώσης και ασφαλείας του έργου, πλην όμως τούτο θα είχε σαν συνέπεια τη δυσανάλογη επιμήκυνση του υποθαλάσσιου αγωγού και τη δαπάνη του έργου. Σημειώνεται ότι το ελάχιστο βαθύμετρο – 7.5 m και το από αυτό συναρτούμενο μήκος του αγωγού  $L = 2.175$  m ( αφαιρείται το τμήμα από την εγκατάσταση μέχρι την ακτή ίσο με 675 m ), είναι κατά συγκυρία συμβιβαστό με την απαιτούμενη ελάχιστη απόσταση εκβολής σε αμμώδεις και τουριστικές παραλίες των 1.500 m και συνεπώς το προτεινόμενο ελάχιστο βυθόμετρο είναι και πάλι επιθυμητό.
- Το σχετικά μεγάλο μήκος του υποθαλάσσιου αγωγού προκύπτει αναγκαστικά από τη βυθομετρική διαμόρφωση του Αργολικού Κόλπου, που χαρακτηρίζεται με έντονες καταβυθίσεις στα δύο του άκρα – Ακρωτήρια Παναγιά κοντά στο Ναύπλιο και Κυβέρι κοντά στην ομώνυμη Πολίχνη.
- Κατά τη φάση της μελέτης εφαρμογής τα παραπάνω στοιχεία κρίνονται σαν απαραίτητα για το βέλτιστο σχεδιασμό του έργου μεταφοράς και διάχυσης. Παρά την ανεπάρκεια στοιχείων είναι δυνατόν να προταθεί η θέση

εκβολής των λυμάτων και το μήκος του υποθαλάσσιου αγωγού.

- Για την θέση εκβολής, η Νομαρχία με απόφαση της εγκρίνει τη διάχυση λυμάτων στο χώρο της λεκάνης του λιμανιού. Λαμβάνοντας υπόψη και την επιθυμία των άρχων της Τοπικής Αυτοδιοίκησης, που προτιμούν σαν θέση εκβολής την είσοδο του λιμανιού, προτείνεται η θέση του διαχυτήρα 1.500 m βορειοδυτικά της νήσου Μπούρτζι. Η επιλογή αυτή της θέσης ικανοποιεί το κριτήριο του βάθους εκβολής 7.5 m. Η ακριβέστερη τοποθέτηση της εκβολής μπορεί να γίνει με βάση μαθηματικό μοντέλο διάχυσης ρύπων.
- Τα επεξεργασμένα λύματα θα διοχετεύονται με υποθαλάσσιο αγωγό και διαχυτήρα στη θάλασσα. Τα λύματα προτείνεται να διοχετεύονται απ' ευθείας με τον υποθαλάσσιο αγωγό από το φρεάτιο μεταερισμού χωρίς την παρεμβολή ειδικού φρεατίου φόρτισης.
- Η τροφοδοσία του υποθαλάσσιου αγωγού και του διαχυτήρα, έγιναν αντικείμενο ιδιαίτερης διερεύνησης με οικονομικά, τεχνικά, λειτουργικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Η κατασκευή χωριστού φρεατίου φόρτισης στην ακτή κρίθηκε απαγορευτική από γενικές διατάξεις (αιγίαλος, κ.λ.π. ).
- Η υψομετρική διαμόρφωση της εγκατάστασης επιτρέπει την τροφοδοσία φρεατίου με βαρύτητα, ένα σημαντικό προσόν

του σχεδιασμού του συστήματος, αφού έτσι αποφεύγεται η εγκατάσταση αντλιοστασίου.

- Για τον πυθμένα γίνεται η παραδοχή ότι είναι χαλαρός και ιλυώδης. Η παραδοχή φαίνεται λογική σε σχέση με την κατάσταση του πυθμένα στα αβαθή σημεία του κόλπου, άλλα και τη γενικότερη εδαφολογική κατάσταση του Ναυπλίου κοντά στις ακτές.
- Τον υποθαλάσσιο αγωγό κοντά στην ακτή επηρεάζουν οι κυματισμοί και τα θαλάσσια ρεύματα. Γίνεται δεκτό ότι η επίδραση αυτή είναι αισθητή μέχρι βάθους 2.0 m.
- Σύμφωνα με τις πληροφορίες της Ωκεανογραφικής Υπηρεσίας Ναυτικού δεν υπάρχει διακύμανση της στάθμης της θάλασσας στον Αργολικό Κόλπο. Γίνεται η παραδοχή ότι η στάθμη διατηρείται σταθερή στα 0.00 παρά τις μικρές διακυμάνσεις που παρατηρήθηκαν στο λιμάνι του Ναυπλίου από μετρήσεις που έγιναν στο παρελθόν.

### 8.1.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΕΡΣΑΙΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΑΓΩΓΟΥ

Το τμήμα του αγωγού εκβολής που βρίσκεται στην ξηρά θα κατασκευασθεί από σωλήνες HDPE, διατομής τύπου A, εξωτερική διάμετρος σωλήνων 630 mm, πάχος τοιχώματος 35.7 mm και ονομαστική πίεση λειτουργίας 6 atm.

Το μήκος του τμήματος αυτού είναι 675 m από την εγκατάσταση μέχρι το αιγίαλο, όπου ο σωλήνας εγκιβωτίζεται και τοποθετείται σε όρυγμα, το οποίο προστατεύεται από τους κυματισμούς και τη διάβρωση, με ογκόλιθους.

Το όρυγμα είναι πλάτους 1.33 m. Το πάχος εγκιβωτισμού είναι 0.93 m. Το υπόλοιπο τμήμα του ορύγματος θα πληρωθεί με αμμοχάλικο.

Προβλέπεται αρχικά μια γενική εκσκαφή, ώστε να μειωθούν τα βάθη του ορύγματος.

#### 8.1.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΑΓΩΓΟΥ

Κατά μήκος του υποθαλάσσιου αγωγού από τον αιγίαλο μέχρι τον διαχυτήρα ακολουθούνται δύο ειδών διατομές :

- Διατομή τύπου Β σε μήκος 250 m μέχρι βάθους 3.00 m, όπου ο σωλήνας εδράζεται σε θαλάσσιο όρυγμα που έχει προέλθει από βυθοκορήσεις και περιβάλλεται από σακόλιθους, από τσιμεντόδεμα. Για την προστασία από τους κυματισμούς τοποθετούνται ογκόλιθοι κατάλληλου βάρους.
- Διατομή τύπου Γ σε μήκος 1.250 m μέχρι τον διαχυτήρα. Ο σωλήνας στηρίζεται σε σώματα αγκύρωσεως από σκυρόδεμα Β 225, προκατασκευασμένα σε κατάλληλες αποστάσεις μεταξύ τους. Μετά την πόντιση του σωλήνα με

τη βοήθεια σωμάτων αγκύρωσης γίνεται τοποθέτηση γύρω από τον σωλήνα σακολίθων και ογκολίθων, για την καλύτερη προστασία του αγωγού επειδή γενικά τοποθετείται σε μικρά βάθη.

Στο τέλος του υποθαλάσσιου αγωγού και σε τουλάχιστον δύο θέσεις ενδιάμεσα, θα τοποθετηθούν σημαντήρες για να προστατεύεται από προσεγγίσεις πλοίων, κ.λ.π. Στο ύψος του αιγιάλου και σε απόσταση 675 m, από την εγκατάσταση, θα τοποθετηθεί σώμα αγκυρώσεως διαστάσεων 2.0 x 2.0 x 1.0 από σκυρόδεμα, ώστε ο σωλήνας να πακτωθεί με ασφάλεια στην ξηρά.

#### 8.1.5 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΑΓΩΓΟΥ

Πριν από την πόντιση τοποθετούνται γύρω από τον αγωγό τα σώματα αγκυρώσεως που είναι προκατασκευασμένα σε δύο τμήματα και συσφίγγονται γύρω από τον αγωγό με κατάλληλα μπουλόνια.

Μεταξύ σωλήνα και σωμάτων θα παρεμβάλλεται υλικό μαλακό ( φύλο πολυαιθυλενίου ), πάχους 0.5 mm για την αποφυγή του τραυματισμού του σωλήνα.

Τα σώματα αγκυρώσεως πρέπει να συσφίγγονται σε τέτοιο βαθμό που σε περίπτωση που έλθει ο σωλήνας σε κατακόρυφη θέση αυτά να μην ολισθαίνουν.



Οι διαστάσεις των σωμάτων αγκυρώσεως, είναι τέτοιες ώστε το συνολικό βάρος με τον σωλήνα κενό να είναι μικρότερο από την άνωση και ο σωλήνας να επιπλέει, ενώ όταν γεμίσει νερό να βυθίζεται.

Στους υπολογισμούς προβλέφθηκε συντελεστής ασφαλείας περίπου 1.25 ώστε να καλύπτονται απρόβλεπτα φορτία. Αφού τοποθετηθεί τυφλό άκρο στο κατάντη πέρας του σωλήνα μεταφέρεται μαζί με τα σώματα αγκυρώσεως ενώ επιπλέει στη θέση πόντισης.

Αφαιρείται στη συνέχεια το τυφλό άκρο και ο σωλήνας βαθμιαία γεμίζει νερό υπερνικώντας την άνωση. Η σχηματική διαδικασία της πόντισης σε δύο φάσεις φαίνεται στο σχήμα.

Μετά την πόντιση ακολουθούν έλεγχοι λειτουργίας του σωλήνα ( σε υδραυλική πίεση, λειτουργικότητα των στομιών, κ.λ.π. ), σύμφωνα με τις προδιαγραφές και κατόπιν τοποθετούνται κατά σειρά σακόλιθοι από τσιμεντόδεμα και ογκόλιθοι για την καλύτερη προστασία του αγωγού.

#### 8.1.6 ΔΙΑΧΥΤΗΡΑΣ - ΥΛΙΚΟ ΔΙΑΧΥΤΗΡΑ

Ο διαχυτήρας προβλέπεται από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας και θα αποτελεί συνέχεια του υποθαλάσσιου αγωγού.

Όλα τα ειδικά τεμάχια θα είναι επίσης από το ίδιο υλικό.

### 8.1.7 ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΑΧΥΤΗΡΑ

Ο διαχυτήρας προβλέπεται να διαμορφωθεί από δύο σωλήνες διαμέτρων 630 και 400 mm σε σειρά.

Στο τέλος του διαχυτήρα θα τοποθετηθεί ειδικό αφαιρετό κάλυμμα για τον καθαρισμό του. Στο τέλος του διαχυτήρα θα προβλεφθούν σωλήνες μήκους 30 cm και διαμέτρου 125( εσωτ. 102.2 mm ) σε οριζόντια θέση απέναντι μεταξύ τους.

Στη συνέχεια θα τοποθετηθούν ανά τρία μέτρα σωλήνες μήκους 30 cm και διαμέτρου 110 mm ( εσωτ. 90 mm ) κατά μετατιθέμενη διάταξη και στις δύο πλευρές ώστε να αποφεύγεται η ανάπτυξη δυνάμεων και ροπών κατά την έξοδο του υγρού. Η ονομαστική πίεση αυτών των σωλήνων θα είναι 10 atm. Ο αριθμός των στομίων και η θέση της συστολής θα προκύψουν από τους υπολογισμούς.

Για τη δεύτερη φάση προβλέπεται πάλι διαχυτήρας διαμέτρου 400 mm ( εσωτ. 354.6 mm ) και θα τοποθετηθούν σε αυτό στόμια των 10 atm μήκους 30 cm και διαμέτρου 110 mm εκτός από τα τελευταία στόμια που θα είναι διαμέτρου 125 mm.

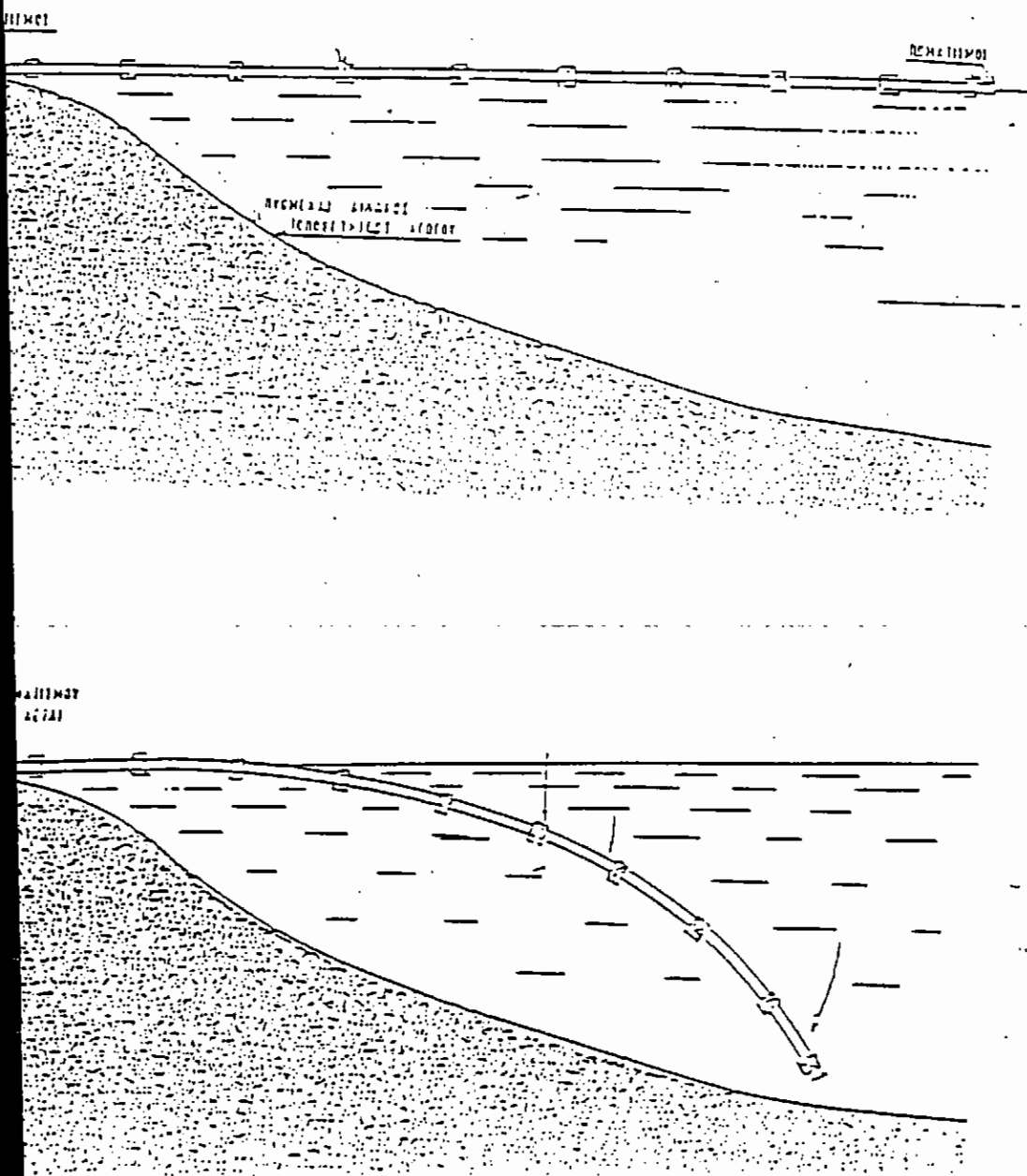
Σε οριζοντιογραφία οι δύο διαχυτήρες Α και Β φάσης θα σχηματίζουν γωνία 90 μοιρών, δηλαδή πριν από τον διαχυτήρα κάθε σωλήνας θα υπάρχει μια καμπύλη 45 μοιρών.

#### 8.1.8 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΔΙΑΧΥΤΗΡΩΝ ΣΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ

Για τους διαχυτήρες προβλέπονται τα ίδια σώματα αγκύρωσης που περιγράφηκαν σε άλλη παράγραφο για τον υποθαλάσσιο αγωγό. Η διαφορά είναι ότι αυτά θα τοποθετηθούν κάθε 3 m, αμέσως ανάντη κάθε στομίου.

Η πύκνωση των σωμάτων αγκύρωσης προτείνεται για την αντιμετώπιση πρόσθετων δυνάμεων που ασκούνται στον διαχυτήρα και για την καλύτερη προστασία του αγωγού αφού δεν θα εγκιβωτιστεί σε σακολίθους.

Στην κεφαλή του διαχυτήρα θα αγκυρωθεί σημαντήρας ώστε να είναι γνωστή η ακριβής θέση εκβολής.



ΣΧΗΜΑ 5.1

Διαδικασία Ποντίσης Υποθαλάσσιου Αγωγού  
(Φάσεις 1 & 2)

## 8.2 ΠΟΛΗ ΜΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟ ΚΑΙ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟ ΑΓΩΓΟ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ.

Η Καλαμάτα είναι μια από τις λίγες πόλεις της Ελλάδας στην οποία λειτουργεί βιολογικός καθαρισμός.

Τα λύματα μετά την επεξεργασία τους διατίθενται στη θάλασσα μέσω υποβρύχιου αγωγού.

Ο αγωγός αυτός είναι κατασκευασμένος από πολυαιθυλένιο με διάμετρο  $\Phi 710$ . Ξεκινά από την παραλία σε ένα βάθος  $+0.00$  μ. όπου ενώνεται με τους αμιοντοτσιμεντοσωλήνες των εγκαταστάσεων και εκτείνεται θαμμένος κάθετα στην ακτή σε σκάμμα βάθους  $- 3.50$  μ. περίπου.

Καταλήγει σε ένα διαχυτήρα μεταλλικό και ενσωματώνεται μέσα σε κυψελωτούς τεχνικούς ογκόλιθους οι οποίοι εδράζονται σε σκάμμα με λιθορρίπες.

Το τελικό σημείο εκροής του αγωγού βρίσκεται  $0.50$  μ. πάνω από τον φυσικό πυθμένα της θάλασσας.

### 8.2.1 Τρόπος Κατασκευής Αγωγού

Η προμήθεια του συγκεκριμένου αγωγού Φ710 πολυαιθυλενίου έγινε από τη Δυτική Γερμανία η οποία κατασκευάζει αγωγούς πολυαιθυλενίου σε μεγάλες διαμέτρους.

Οι αγωγοί αυτοί είναι δεκάμετροι και έχουν βάρος 47.9 kg / m περίπου.

Επειδή το ειδικό βάρος του υλικού αυτού είναι μικρότερο από το ειδικό βάρος του θαλασσινού νερού ( $\gamma_w = 1.025 \text{ t / m}^3$ ) χρειάστηκε ειδική μελέτη για τον τρόπο βύθισης των αγωγών αυτών, η οποία απαίτησε τοποθέτηση πρόσθετων βαρών.

Τα απαιτούμενα βάρη για την βύθιση είναι δακτύλιοι από οπλισμένο σκυρόδεμα βάρους 120kg ο καθένας και τοποθετήθηκαν κατά μήκος της παραλίας σε απόσταση 3.40 m μεταξύ τους.

Κατόπιν τοποθετήθηκαν οι σωλήνες πολυαιθυλενίου και συγκολλήθηκαν αυτογενώς με ειδικό μηχάνημα.

Μετά τη συγκόλληση ενός τμήματος και αφού τοποθετήθηκαν και σφίκτηκαν οι δακτύλιοι στις αποστάσεις που υπολογίστηκαν ο αγωγός κλείστηκε από τα δύο άκρα για να είναι στεγανός και συνδέθηκε με δύο αγωγούς παροχής

νερού και αγωγό αέρα έτσι ώστε ρυθμίστηκε η πλευστότητά του.

Έπειτα με ιμάντες και βαρούλκα, από πλωτά μέσα που είχαν αγκιστρωθεί στους γάντζους των ειδικών τεχνικών ογκόλιθων έφεραν τον αγωγό στη σωστή θέση στο βυθό.

Αμέσως ανοίχτηκαν οι κρουνοί για να γεμίσει ο αγωγός με νερό και να αποκτήσει το βάρος των 14t που είχε υπολογισθεί.

Μετά την τοποθέτηση του αγωγού στην σωστή θέση, τοποθετήθηκαν πάνω από τους ειδικούς τεχνικούς ογκόλιθους, πλάκες από σκυρόδεμα 2.50 x 4.00 x 0.5 και στη συνέχεια από οπή συμπληρώθηκε το κενό από χυτό σκυρόδεμα.

Ο αγωγός καταλήγει σε μια κυκλική φλάντζα, με ανάλογες οπές, στην οποία βιδώθηκε ο διαχυτήρας.

## 9. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟ

Η Κορώνη είναι περιοχή που βρίσκεται στο Νοτιοδυτικό άκρο της Πελοποννήσου, βρέχεται από το Μεσσηνιακό Κόλπο και παρουσιάζει εξαιτίας των φυσικών χαρακτηρισμάτων της και της γεωγραφικής της περιοχής, αξιόλογη τουριστική κίνηση κατά τους θερινούς μήνες.

Αυτό φαίνεται αν αναφέρουμε ότι ο μόνιμος πληθυσμός των 1.810 κατοίκων την χειμερινή περίοδο φτάνει τους 12.000 κατοίκους το καλοκαίρι.

Από τις πληροφορίες που συγκεντρώσαμε από τη Δ.Ε.Υ.Α. Μεσσηνίας προέκυψε η εξής υπάρχουσα κατάσταση:

Υπάρχει εσωτερικό δίκτυο συλλογής των ακάθαρτων λυμάτων και των βρόχινων υδάτων, το οποίο καταλήγει και χύνεται, χωρίς καμιά επεξεργασία στο λιμάνι της κωμόπολης.

Λόγω της παλιάς κατασκευής του δικτύου δεν υπάρχει αγωγός διάθεσης των αποβλήτων αυτών, που να οδηγεί τουλάχιστον σε κάποια απόσταση και κάποιο βάθος μέσα στη θάλασσα.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η αραίωση που γίνεται ( όχι και ικανοποιητική ) να γίνεται μέσα στο λιμάνι, με συνέπεια τους καλοκαιρινούς μήνες να υπάρχει πρόβλημα δυσοσμίας το οποίο γίνεται εντονότερο και ορατό κάθε φορά που οι καιρικές συνθήκες το ευνοούν.

Λαμβάνοντας δε υπόψη μας ότι στο χώρο μπροστά στο λιμάνι παρατηρείται και η μεγαλύτερη κίνηση ( τουριστική, εμπορική, κ.α.) είναι φανερό ότι αποτελεί πρόβλημα που απαιτεί άμεση λύση.

Μια προσωρινή και αναγκαία λύση αποτέλεσε μια τρύπα που ανοίχτηκε στον λιμενοβραχίονα με σκοπό να υπάρχει ανάμιξη καθαρών και ακάθαρτων υδάτων ώστε να επιτυγχάνετε μεγαλύτερη αραίωση, των λυμάτων.



Για την ουσιαστική επίλυση του προβλήματος έχει προταθεί η δημιουργία βιολογικού καθαρισμού με αγωγό διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων του οποίου έχει γίνει προμελέτη από τον μελετητή Ζαχάρωφ.

## 9.1 ΕΚΒΟΛΗ ΣΤΟΝ ΤΕΛΙΚΟ ΑΠΟΔΕΚΤΗ

Τα ακάθαρτα της κοινότητας Κορώνης ύστερα από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας θα διατεθούν τελικά στη θάλασσα με τον υποβρύχιο αγωγό και τους διαχυτήρες.

Ανεξάρτητα από τη λύση που θα επιλεγεί για τη θέση της τελικής διαθέσεως, η εκβολή των ακαθάρτων θα γίνεται σε ένα βάθος 20 μέτρων και έχει εκτιμηθεί ότι με τον τρόπο αυτό θα επέρχεται απόλυτα ικανοποιητική αραιώση των λυμάτων.

Θεωρείται σκόπιμο η κατασκευή του υποβρύχιου αγωγού να προηγηθεί των εγκαταστάσεων επεξεργασίας. Στις τρωτές φάσεις αναπτύξεως των δικτύων οι παροχές ακαθάρτων θα είναι αρκετά μικρές και θα αρκεί η λειτουργία των εγκαταστάσεων προεπεξεργασίας και ο αγωγός παράκαμψης των εγκαταστάσεων.

## 9.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΚΟΡΩΝΗΣ.

Τα βασικά κριτήρια για το σχεδιασμό και τη χάραξη του υποθαλάσσιου αγωγού τελικής διαθέσεως των ακαθάρτων είναι τα εξής:

α) Εκμετάλλευση των βυθομετρικών χαρακτηριστικών καθώς και των γενικών φυσικών συνθηκών του πυθμένα της θάλασσας.

β) Εκμετάλλευση κατά το δυνατόν των επικρατούντων ανέμων και των ρευμάτων της θάλασσας, ώστε τα διαστήματα ακινησίας του θαλασσινού νερού να είναι τα ελάχιστα δυνατά για να επέρχεται ικανοποιητική αραιώση των λυμάτων.

γ) Εκλογή της κατάλληλης θέσης για την τοποθέτηση των διαχυτήρων.

Στη θαλάσσια περιοχή της Κορώνης δεν έχει γίνει συστηματική υδρογραφική εργασία από κανένα φορέα.

Σύμφωνα με διάφορα στοιχεία που υπάρχουν για τη θαλάσσια περιοχή του Μεσσηνιακού Κόλπου η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας κυμαίνεται από τις ελάχιστες τιμές 14.5 και 14.4 C τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριου και λαμβάνει τις μέγιστες τιμές στους 25 C τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.

Η θερμοκρασία της θάλασσας αρχίζει να μειώνεται αισθητά σε βάθη άνω των 30 μέτρων, καθώς επίσης και η αλμυρότητα αλλά σε μικρότερο βαθμό, ενώ το διαλελυμένο οξυγόνο αυξάνει.

Οι παλίρροιες στον Μεσσηνιακό δεν παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις με μέσο εύρος 0.11 μ και μέγιστο εύρος 0.58 μ.

Κύματα ύψους 3 έως 4 μέτρων παρουσιάζονται με την επίδραση νοτιοδυτικών ανέμων με εντάσεις 6 έως 7 μωφόρ.

Ο πυθμένας της θάλασσας στην περιοχή του ακρωτηρίου Λιβανιές είναι βραχώδεις, ενώ στην περιοχή του ρέματος Ασίνης μπορεί να χαρακτηριστεί βραχώδεις έως κροκαλοαμμώδης και δεν αναμένεται να συναντηθεί ιδιαίτερα σκληρό πέτρωμα για το σχηματισμό της κλίσης εδράσεως του Υποβρυχίου αγωγού.

### 9.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ ΑΓΩΓΟΥ.

Ο υποβρύχιος αγωγός θα λειτουργεί υπό πίεση και με την μέγιστη θερινή παροχή της 40ετίας των 27.61 λ/δλ.

Εκλέγεται και για τις δύο λύσεις σωλήνας με διατομή  $\Phi$  200 με  $u = 0.88\mu/\mu$  και απώλειες 0.36%.

Το απαιτούμενο υδραυλικό φορτίο για τη λειτουργία του υποβρυχίου αγωγού είναι:

#### ΛΥΣΗ Ι – ΑΚΡΩΤΗΡΙΟ ΛΙΒΑΔΙΕΣ

1. Γραμμικές απώλειες  $415 \times 0.036 = 1.49$  μέτρα
  2. Απώλειες διαχυτήρων  $= 0.30$  μέτρα
  3. Διαφορά πυκνότητας θαλασσινού νερού – λυμάτων  
 $20.00 \times 0.027 = 0.54$  μέτρα
  4. Μέγιστο εύρος παλίρροιας  $= 0.50$  μέτρα
- ΑΘΡΟΙΣΜΑ:  $= 2.38$  μέτρα

#### ΛΥΣΗ ΙΙ – ΡΕΜΑ ΑΣΙΝΗΣ

1. Γραμμικές απώλειες  $1180 \times 0.036 = 4.25$  μέτρα
  2. Απώλειες διαχυτήρων  $= 0.30$  μέτρα
  3. Διαφορά πυκνότητας θαλασσινού νερού – λυμάτων  
 $20.00 \times 0.027 = 0.54$  μέτρα
  4. Μέγιστο εύρος παλίρροιας  $= 0.50$  μέτρα
- ΑΘΡΟΙΣΜΑ:  $= 5.59$  μέτρα

Το φρεάτιο φορτίσεως του υποβρύχιου αγωγού κατασκευάζεται στη στάθμη + 7.00 μ και στις δύο λύσεις στις θέσεις που φαίνονται στα σχέδια.

## 9.4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΥ ΑΓΩΓΟΥ.

Για την κατασκευή του υποβρυχίου αγωγού μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα έξης είδη σωλήνων :

- Σωλήνες από ανοξείδωτο χάλυβα.
- Χυτοσιδηροί σωλήνες.
- Πλαστικοί σωλήνες πολυαιθυλενίου ή πολυεστερικοί.

Στη φάση αυτή της μελέτης προτείνεται κατ'αρχήν η χρησιμοποίηση πλαστικών σωλήνων από πολυαιθυλένιο, οι οποίοι παράγονται από τις ελληνικές βιομηχανίες, είναι εύκολοι στη μεταφορά και στη συγκόλληση και επιπλέον λόγω της ευκαμψίας τους μπορούν να παρακολουθήσουν τις ανωμαλίες του βυθού και να σχηματίσουν καμπύλες χωρίς τη χρήση ειδικών εξαρτημάτων.

Ανεξάρτητα από το είδος των σωλήνων, για την κατασκευή του υποβρυχίου αγωγού πρέπει να εκτελεστούν οι έξης εργασίες:

1. Διάνοιξη σκάμματος στο βυθό μέχρι βάθους 7,00 μέτρων και μόρφωση του πυθμένα για την έδραση του αγωγού.
2. Σύνδεση, πόντιση και τοποθέτηση των σωλήνων μέσα στο σκάμμα.
3. Αγκύρωση του υποβρυχίου αγωγού με κατάλληλα σώματα αγκυρώσεως.
4. Στεραίωση υποβρυχίου αγωγού μέχρι την περιοχή κατασκευής των διαχυτήρων.
5. Κατασκευή ειδικού τεχνικού έργου προστασίας του υποβρυχίου αγωγού στην περιοχή θραύσεως του κύματος και μέχρι βάθους 7,00 μέτρων με σακολιθούς και χυτοσκυρόδεμα.

6. Προμήθεια, σύνδεση, πόντιση, κατασκευή και τοποθέτηση της διακλαδώσεως των διαχυτήρων με τον υποβρύχιο αγωγό.
7. Επισήμανση του υποβρύχιου αγωγού.

Στις περισσότερες περιπτώσεις κατασκευής υποβρυχίων αγωγών αποχετεύσεως ενδείκνυται η συγκόλληση των σωλήνων στην ξηρά και κατόπιν η βύθιση με πλωτήρες και έρματα ολόκληρου του υποβρυχίου αγωγού στη θάλασσα, εφόσον υπάρχει ο απαιτούμενος εργοταξιακός χώρος για την εργασία αυτή.

Τα υπόψη έργα κατανέμονται κατά κατηγορία ως εξής και για τις δύο λύσεις:

Πολ. Μηχ/κου	Λύση I	Λύση II
Εσωτερικό δίκτυο ακαθάρτων	291.000.000	291.000.000
Εξωτερικός αποχ/κός αγωγός	17.000.000	13.000.000
Εγκαταστάσεις επεξεργασίας	51.000.000	51.000.000
Υποβρύχιος Αγωγός	18.000.000	50.000.000
Αθροισμά	377.000.000	405.000.000

H/M (και για τις 2 λύσεις )	
Αντλιοστάσια	4.000.000
Εγκαταστάσεις επεξεργασίας	33.000.000
Αθροισμά	37.000.000

Παρακάτω εξετάζεται η λύση II που είναι και η δυσμενέστερη τόσο από άποψη κόστους κατασκευής όσο και από άποψη συντηρήσεως των έργων.

## 9.5 ΔΑΠΑΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΈΡΓΩΝ

### α) Μισθοδοσία προσωπικού

Γίνεται δεκτό ότι η παρακολούθηση και συντήρηση των δικτύων, αντλιοστασίων και εγκαταστάσεων επεξεργασίας θα πραγματοποιούνται από μόνιμο συνεργείο της κοινότητας Κορώνης, με την εποπτεία του τεχνικού και διοικητικού προσωπικού της Νομαρχίας Μεσσηνίας.

Το συνεργείο μόνιμης και αποκλειστικής απασχολήσεως θα αποτελείται από ειδικευμένο προσωπικό, δηλαδή ένα ηλεκτρολόγο, έναν ειδικευμένο εργάτη και δύο τεχνίτες.

Οι δαπάνες του παραπάνω προσωπικού, περιλαμβανομένων και των γενικών εξόδων, εκτιμούνται ως εξής:

$$\begin{array}{r}
 1 \times 14 \times 110.000 = 1.540.000 \text{ δρχ.} \\
 1 \times 14 \times 90.000 = 1.260.000 \text{ δρχ.} \\
 \underline{1 \times 14 \times 80.000 = 2.240.000 \text{ δρχ.}} \\
 \text{Άθροισμα} = 5.040.000 \text{ δρχ.}
 \end{array}$$

### β) Κόστος συντηρήσεως και ανανεώσεως του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού.

Ετήσιες δαπάνες συντήρησης και περιοδικής ανανεώσεως ηλεκτρομηχανολογικού υλικού λαμβάνεται ποσοστό 4% επί του ολικού κεφαλαίου, σύμφωνα με το συνοπτικό προϋπολογισμό:

$$37.000.000 \times 4 \% = 1.480.000 \text{ δρχ.}$$

γ) Κόστος συντηρήσεως έργων πολιτικού μηχανικού

Ετήσια δαπάνη συντηρήσεως των έργων πολιτικού μηχανικού ποσοστό 1% του αρχικού κεφαλαίου:

$$405.000.000 \times 1\% = 4.050.000 \text{ δρχ.}$$

δ) Κόστος καταναλώσεως ηλεκτρικής ενέργειας

Η κατανάλωση ενέργειας στα αντλιοστάσια εκτιμάται σε 80.000 KWh και στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας σε 120.000 KWh ετησίως.

Τιμή ηλεκτρικής ενέργειας	12 δρχ / KWh
Κόστος αντλήσεως ακαθάρτων	$80.000 \times 12 = 960.000 \text{ δρχ.}$
Κόστος επεξεργασίας ακαθάρτων	$120.000 \times 12 = 1.400.000 \text{ δρχ.}$
<hr/>	
	ΆΘΡΟΙΣΜΑ : 2.400.000 δρχ.

Με τα προηγούμενα η ολική ετήσια δαπάνη λειτουργίας, και ανανεώσεως των έργων θα είναι:

Μισθοδοσίας προσωπικού	5.040.000 δρχ
Συντήρηση Η /Μ :	1.480.000 δρχ
Συντήρηση έργων πολ. μηχ/κού:	4.050.000 δρχ
Ηλεκτρική ενέργεια :	2.400.000 δρχ
Δαπάνη χλωρίωσης, κ.λ.π. γενικά έξοδα:	1.530.000 δρχ
<hr/>	
	ΆΘΡΟΙΣΜΑ : 14.500.000 δρχ.

Με βάση τις προηγούμενες παραδοχές η μέση ετήσια δαπάνη ανά μόνιμο κάτοικο για τη λειτουργία και συντήρηση των έργων θα είναι :

$$14.500.000 / 2.000 = 7.250 \text{ δρχ το χρόνο.}$$

## ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Λύση I: (εγκαταστάσεις επεξεργασίας στο ακρωτήριο Λιβαδιές)

Έργα	Δάπανη	ΓΕ+ΟΕ.18 %	Άθροισμα	Απρόβλεπτα	Σύνολο
Εσωτερικό δίκτυο καθαμάτων	239.953.385	43.191.609	283.144.994	11.855.006	295.000.000
Εξωτερικός Αποχετευτικός αγωγός	13.510.515	2.431.8930	15.942.408	1.057.592	17.000.000
Εγκαταστάσεις επεξεργασίας	67.130.000	12.083.400	79.213.400	4.786.600	84.000.000
Υποβρύχιος αγωγός	11.814.500	2.666.610	17.481.110	518.890	18.000.000
Γενικό Σύνολο	335.408.400	60.373.512	395.781.912	18.218.088	414.000.000

Λύση II: (Εγκαταστάσεις επεξεργασίας στην εκβολή του ρέματος Ασίνης).

Έργα	Δάπανη	ΓΕ+ΟΕ.18 %	Άθροισμα	Απρόβλεπτα	Σύνολο
Εσωτερικό δίκτυο καθαμάτων	239.953.385	43.191.609	283.144.994	11.855.006	295.000.000
Εξωτερικός Αποχετευτικός αγωγός	10.428.835	1.877.190	12.306.025	693.975	13.000.000
Εγκαταστάσεις επεξεργασίας	67.130.000	12.083.400	79.213.400	4.786.600	84.000.000
Υποβρύχιος αγωγός	41.054.000	7.389.720	48.443.720	1.556.280	50.000.000
Γενικό Σύνολο	358.566.220	64.541.919	423.108.139	18.891.861	442.000.000



## 9.6 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΑΡΑΛΙΑΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ.

### ΑΡΕΟΠΟΛΗ

Η Αρεόπολη είναι χωριό του νομού Λακωνίας με μόνιμο πληθυσμό 1.000 περίπου κατοίκους ενώ κατά την καλοκαιρινή περίοδο φτάνει τους 4.000 κατοίκους.

Δεν έχει κατασκευαστεί ούτε υπάρχει κάποια μελέτη μονάδας επεξεργασίας των λυμάτων.

Η εξυπηρέτηση του πληθυσμού γίνεται με βόθρους. Οι περισσότεροι από αυτούς είναι απορροφητικοί ενώ τους στεγανούς τους αδειάζουν με βυτία από τη Σπάρτη.

Για τα όμβρια ύδατα υπάρχει αγωγός που τα αποβάλλει στα χωράφια.

### ΓΥΘΕΙΟ

Το Γύθειο είναι κωμόπολη του νομού Λακωνίας στο Λακωνικό Κόλπο με μόνιμο πληθυσμό 4.000 κατοίκους που σε περίοδο αιχμής φτάνει τους 15.000 κατοίκους.

Μονάδα επεξεργασίας των λυμάτων δεν υπάρχει, έχει γίνει μόνο μια προμελέτη για βιολογικό καθαρισμό, το έργο όμως δεν έχει δημοπρατηθεί.

Το 80 % των λυμάτων χύνονται με αγωγό στη θάλασσα, ενώ τα υπόλοιπα σε βόθρους. Αποτέλεσμα της διάθεσης κον'τα στην ακτή είναι να δημιουργείται στην περίοδο αιχμής, περισσότερο, πρόβλημα δυσοσμίας κοντά στο λιμάνι το οποίο ακόμα δεν είναι πολύ έντονο.

### ΜΟΝΕΜΒΑΣΙΑ

Η Μονεμβασιά είναι χωριό του νομού Λακωνίας με σημαντική τουριστική κίνηση.

Αυτό φαίνεται από τη διακύμανση του πληθυσμού, ο οποίος από 850 κατοίκους μόνιμους φτάνει τους 5.000 κατοίκους κατά την τουριστική περίοδο.

## ΠΑΤΡΑ

Η Πάτρα είναι η Πρωτεύουσα του νομού Αχαΐας και η πόλη στην οποία ζούμε.

Δυστυχώς ακόμη και σήμερα έχει έντονο πρόβλημα διάθεσης των λυμάτων εξαιτίας της μη υπάρξεως μονάδας επεξεργασίας τους, αν και τώρα τελευταία γίνονται φιλότιμες προσπάθειες από τις αρμόδιες υπηρεσίες για την επιλύσή του.

Όμβρια και λύματα διοχετεύονται με υπονόμους και χύνονται στη θάλασσα. Αυτοί είναι είτε θολωτά χτιστοί ορθογωνικής διατομής ( παλαιοί ) είτε κατασκευασμένοι από τσιμεντοσωλήνες και η λειτουργία τους βασίζεται σε κεντροβαρικό σύστημα με συνέπεια να μη εξυπηρετούνται οι βοριοανατολικές περιοχές.

Υπάρχουν μεγάλα προβλήματα με τις πλημμύρες αφού πλημμυρίζουν οι αγωγοί και κλείνουν. Το καλοκαίρι, οι πλίνθινοι από αυτούς γκρεμίζονται ενώ στην νοτιοδυτική πόλη υπάρχει πρόβλημα οσμών, εξαιτίας των οποίων ο Πατραϊκός Κόλπος τοποθετείται στις πιο ευαίσθητες περιοχές.

## ΑΙΓΙΟ

Το Αίγιο είναι πόλη του νομού Αχαΐας στον Κορινθιακό Κόλπο με μόνιμο πληθυσμό 20.000 κατοίκους ο οποίος το καλοκαίρι παρουσιάζει μια αύξηση του 30 % και φτάνει τους 26.000 κατοίκους. Για την επεξεργασία των λυμάτων δεν έχει κατασκευαστεί κάποια μονάδα. Για την διάθεση όμως αυτών έχει γίνει πλαστικός αγωγός αναρρόφησης ο οποίος εκτείνεται σε μήκος 117 μέτρα μέσα στη θάλασσα και σε βάθος 20 μέτρα.

Άμεσα από αυτόν εξυπηρετούνται τα 2 / 3 της πόλης ενώ για το υπόλοιπο 1 / 3 υπάρχουν βόθροι οι οποίοι αδειάζονται και αυτοί με βυτία στην είσοδο του αγωγού μπροστά στο λιμάνι.

## ΣΕΛΙΑΝΙΤΙΚΑ

Τα Σελιανίτικα είναι χωριό του νομού Αχαΐας στον Κορινθιακό Κόλπο. Μόνιμος πληθυσμός είναι 1.000 κάτοικοι που τους καλοκαιρινούς μήνες φτάνουν εξαιτίας της τουριστικής κίνησης τους 8.000 – 10.000 κατοίκους.

Όσον αφορά τα λύματα, από τους βόθρους του χωριού μεταφέρονται με βυτία και χύνονται στην Πάτρα.

#### ΚΟΡΙΝΘΟΣ – ΛΟΥΤΡΑΚΙ

Η Κόρινθος είναι πόλη του νομού Κορινθίας με πληθυσμό 40.000 κατοίκους και 10.000 κατοίκους έχει το Λουτράκι.

Υπάρχει βιολογικός καθαρισμός μόνο βοθρολυμάτων ενώ έχουν εκπονηθεί μελέτες για κοινή μονάδα βιολογικού καθαρισμού όλων των λυμάτων που βρίσκονται στο στάδιο της δημοπράτησης.

Μέχρι τώρα οι περιοχές εξυπηρετούνται από βόθρους ενώ υπάρχει δίκτυο για τα όμβρια στο οποίο όμως προέκυψε πρόβλημα γιατί διοχέτευαν σε αυτό απόβλητα, μια έκταση γύρω στα δύο οικοδομικά τετράγωνα.

#### ΕΥΛΟΚΑΣΤΡΟ – ΚΑΜΑΡΙ – ΛΟΥΤΡΟ

Οι παραπάνω είναι περιοχές του νομού Κορινθίας με πληθυσμούς 9.000 κατοίκους, 2.000 κατοίκους και 1.000 κατοίκους αντίστοιχα.

Για τη συλλογή των λυμάτων υπάρχουν βόθροι που αδειάζονται με βυτία στην Κόρινθο.

Έχει προταθεί ένα σύστημα επεξεργασίας το οποίο βασίζεται στη μέθοδο της ενέργειας Ιλύος, δηλαδή στη μέθοδο του παρατεταμένου αερισμού και αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή για τις δεδομένες συνθήκες όπως διαπίστωσαν οι ειδικοί.

#### ΖΑΧΑΡΩ

Η Ζάχαρω είναι Κωμόπολη του νομού Ηλείας με πληθυσμό 5.000 κατοίκους κατά τη χειμερινή περίοδο και 10.000 κατοίκους το καλοκαίρι.

Για την εξυπηρέτηση του πληθυσμού όσον αφορά τα λύματα, έχει κατασκευασθεί από το 1980 ένας μικρός βιολογικός καθαρισμός και τα λύματα μετά την επεξεργασία χύνονται μαζί με τα όμβρια νερά σε μια τάφρο.

Η μονάδα αυτή εξυπηρετεί άμεσα 1.500 άτομα γιατί για την υπόλοιπη πόλη δεν υπάρχει φυσική ροή. Αυτοί που δεν εξυπηρετούνται βγάζουν τα απόβλητα με αντλίες και τα

μετεφέρουν στον καθαρισμό. Πρόσθετα προβλήματα μέχρι στιγμής δεν εμφανίστηκαν.

Η μελέτη και η κατασκευή της μονάδας αυτής στοίχισε 8.500.000 δρχ και έχει δυνατότητα να εξυπηρετήσει 15.000 άτομα.

## ΚΑΤΑΚΟΛΟ

Το Κατάκολο είναι χωριό του νομού Ηλείας με πληθυσμό 700 – 800 κατοίκους μόνιμους που το καλοκαίρι φτάνουν τους 1.200 – 1.300 κατοίκους.

Για την επεξεργασία των λυμάτων δεν υπάρχει καμία μονάδα, αλλά τώρα εκπονείται μελέτη για βιολογικό καθαρισμό.

Τα λύματα όλου του Κόλπου πηγαίνουν στη θάλασσα σε περιοχή πολύ βαθιά και με πολλά ρεύματα.

## ΜΕΘΩΝΗ

Η Μεθώνη είναι Κωμόπολη του νομού Μεσσηνίας με πληθυσμού 1.250 κατοίκους μόνιμους που κατά την περίοδο τουριστικής αιχμής ανέρχεται στους 5.000 κατοίκους.

Η συλλογή των λυμάτων γίνεται σε στεγανούς βόθρους κοντά στη θάλασσα. Η διάθεση αυτών γίνεται σε δασική σε δασική έκταση, πράγμα το οποίο αρχίζει να δημιουργεί προβλήματα μόλυνσης της περιοχής ή μεταφέρονται με βυτία στην Καλαμάτα.

Μια λύση στο πρόβλημα της διάθεσης των λυμάτων αποτελεί η ανοιχτή και με ρεύματα θάλασσα στην επάνω μέρια της Μεθώνης.

## 10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από γενικές πληροφορίες που συλλέξαμε από την Δ.Ε.Υ.Α. Πατρών, όσον αφορά το πρόβλημα της διάθεσης λυμάτων, στην πόλη της Πάτρας όσο και σε άλλες περιοχές της Πελοποννήσου άλλα και στο μεγαλύτερο μέρος του Ελλαδικού χώρου, είναι μεγάλο, πάρα τις προσπάθειες που γίνονται για την επίλυση του. Αυτό οφείλεται τόσο στην αύξηση του πληθυσμού στις μεγάλες πόλεις, όσο και στην έλλειψη έργων βιολογικού καθαρισμού και αποχέτευσης.

Γι' αυτό θα πρέπει να ληφθεί καλύτερη μέριμνα από όλους τους αρμόδιους πριν η μόλυνση της θάλασσας καθώς και των υπόγειων υδάτων φθάσει σε τέτοιο σημείο ώστε οι συνέπειες της να επηρεάσουν αισθητά θαλάσσιους και μη οργανισμούς.

Με την κατασκευή κατάλληλων μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και την τοποθέτηση κατάλληλων αγωγών μεταφοράς αυτών, όχι μόνο θα λυθεί το πρόβλημα της μόλυνσης του περιβάλλοντος άλλα και σε πολλές περιοχές της Ελλάδας θα αποφευχθούν οι πλημμύρες που γίνονται κάθε χρόνο, οι οποίες στοιχίζουν ακόμη και ανθρώπινες ζωές.

## **Βιβλιογραφία**

1. Beckanm H. and Thibodeaux M.  
"Wave force coefficients for offshore pipelines"
2. Small S.  
"The submarine pipeline as a structure"
3. Wilson J. and Caldwell H.  
"Force and stability measurements on models on submerged pipeline"
4. Herbich J. and Shank G.  
"Forces due to waves on submerged structures theory and experiment"

## **Πληροφορίες**

( από τους υπευθύνους των πιο κάτω Υπηρεσιών ) :

1. Δ.Ε.Υ.Α. Πάτρας
2. Δ.Ε.Υ.Α. Μεσσηνίας
3. Δ.Ε.Υ.Α. Ναυπλίου
4. Τεχνικό Επιμελητήριο Πάτρας

## **Ευχαριστίες**

Ευχαριστούμε όλους όσους βοήθησαν για την πραγματοποίηση της πιο πάνω πτυχιακής εργασίας.

