

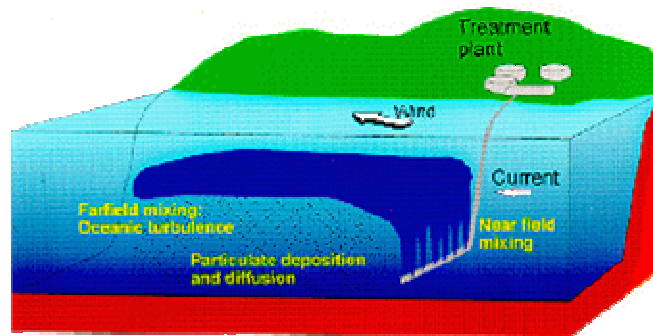


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ "ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ"

ΤΕΥΧΟΣ Α'

ΔΙΑΘΕΣΗ ΥΓΡΩΝ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ ΥΠΟΒΡΥΧΙΟΙ ΑΓΩΓΟΙ



Γιάννης Ν. Κρεστενίτης
Καθηγητής Α.Π.Θ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
Η ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ.....	2
ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΝΕΡΑ.....	4
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ.....	5
2. ΕΡΓΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ.....	7
3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΑΡΑΙΩΣΗΣ.....	12
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΗ ΔΕΣΜΗ (ΕΚΡΟΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΟΠΗ).....	12
Εκροή σε ομογενές και ακίνητο περιβάλλον.....	12
Εκροή σε στρωματομένο και ακίνητο περιβάλλον βαθιών νερών.....	15
Εκροή παρουσία θαλασσίου ρεύματος.....	15
ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΔΕΣΜΗ (ΕΚΡΟΗ ΑΠΟ ΔΙΑΧΥΤΗΡΑ).....	17
Εκροή σε ομογενές και ακίνητο περιβάλλον.....	18
Γραμμικά στρωματομένο περιβάλλον.....	19
Διάλυση στην περίπτωση ύπαρξης θαλασσίων ρευμάτων.....	19
4. ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΡΑΙΩΣΗ.....	22
5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	25
ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	25
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΓΩΓΟΥ, ΔΙΑΧΥΤΗΡΑ ΚΑΙ ΕΚΡΟΩΝ.....	27
ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΑΧΥΤΗΡΑ.....	28
ΦΡΕΑΤΙΟ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	31
6. ΑΓΩΓΟΙ ΑΠΟ HDPE.....	34
ΕΡΜΑΤΩΣΗ ΑΓΩΓΩΝ ΑΠΟ HDPE.....	34
ΚΑΘΕΛΚΥΣΗ ΚΑΙ ΠΟΝΤΙΣΗ ΑΓΩΓΩΝ ΑΠΟ HDPE.....	35
ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΓΩΓΩΝ ΑΠΟ HDPE ΣΤΟΝ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΥΘΜΕΝΑ..	36
ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΩΣΗ.....	36
ΔΙΑΧΥΤΗΡΑΣ.....	37

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	39
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	40
Α.1. ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ PLUMEHYD.EXE.....	41
Α.2. ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΥΤΗΡΑΣ.EXE.....	44

Ευχαριστίες

Η συμβολή των κ.κ. Χρήστου Μακρή και Γιάννη Ανδρουλιδάκη, Πολιτικών Μηχανικών και υποψηφίων διδασκτόρων στο Εργαστήριο Θαλάσσιας Τεχνικής και Θαλασσίων Έργων, υπήρξε ουσιαστική στη διαμόρφωση των σημειώσεων αυτών και τους ευχαριστώ θερμά.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα παράκτια νερά αποτελούν το συνεχές μέσο με το οποίο μεταφέρονται και αναμιγνύονται τα φερτά υλικά που καταλήγουν στον παράκτιο θαλάσσιο χώρο ως αποτέλεσμα διαφόρων φαινομένων και επιδράσεων. Επομένως και τα ανθρωπογενούς προέλευσης ρυπαντικά φορτία, οργανικά και ανόργανα, συντηρητικά ή όχι που αποχετεύονται στα παράκτια νερά αραιώνονται και διαλύονται κάτω από την επίδραση της μεταφοράς των θαλάσσιων μαζών που προξενούν τα ρεύματα και η τυρβώδης διασπορά. Τα πιθανά μέτωπα πυκνότητας και οι ζώνες θερμοβαθμίδων καθορίζουν αν η μεταφορά και η διάχυση των ρύπων γίνεται στα επιφανειακά ή στα βαθύτερα στρώματα, ανάλογα με τη συγκέντρωση των ουσιών και την πυκνότητά τους.

Είναι λοιπόν η μελέτη της υδροδυναμικής κυκλοφορίας των παράκτιων νερών, και της τυρβώδους διασποράς των ρυπαντικών φορτίων στο θαλάσσιο περιβάλλον, το αναγκαίο υπόβαθρο για την αναζήτηση απαντήσεων στα ερωτήματα:

- α) πόσο μακριά από την ακτή και σε ποιο βάθος πρέπει να γίνεται η αποχέτευση των υγρών αποβλήτων στη θάλασσα ώστε να πληρούνται οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί;
- β) ποιος είναι ο αναγκαίος βαθμός καθαρισμού των λυμάτων (αστικών και βιομηχανικών) πριν από την αποχέτευσή τους στο θαλάσσιο περιβάλλον;

Με τον όρο **υδροδυναμική κυκλοφορία** των παράκτιων νερών ή παράκτια κυκλοφορία, χαρακτηρίζεται η λόγω διαφόρων αιτίων κίνηση του νερού στον παράκτιο θαλάσσιο χώρο, με αποτέλεσμα τη δημιουργία διανυσματικού πεδίου ταχύτητας (μη μόνιμη γενικά κίνηση) και τη μεταβολή της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας του νερού.

Όσο αφορά στην τυρβώδη διασπορά των ρυπαντικών φορτίων, γίνεται η διάκριση του πεδίου ροής σε γειτονικό πεδίο (near field) και απομακρυσμένο πεδίο (far field). Το πρώτο αναφέρεται στην περιοχή κοντά στο σημείο εκροής ρυπαντικών φορτίων από την οπή του διαχυτήρα όπου υπερισχύουν οι ανωστικές δυνάμεις και η αρχική ορμή των λυμάτων. Ενώ στο απομακρυσμένο πεδίο υπερισχύουν οι οριζόντιες συνιστώσες της ταχύτητας των παράκτιων νερών, οι οποίες και καθορίζουν τη μεταφορά και ανάμιξη των λυμάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον.

1.1. Η ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ

Γενεσιουργά αίτια της παράκτιας υδροδυναμικής κυκλοφορίας είναι κυρίως ο άνεμος, οι αστρονομικές και μετεωρολογικές παλίρροιες, οι οριζόντιες και κατακόρυφες διαφορές πυκνότητας του θαλάσσιου νερού και οι μακροί κυματισμοί που δημιουργούνται στους γειτονικούς ωκεανούς. Η παράκτια κυκλοφορία περιορίζεται από τα όρια του παράκτιου χώρου (ακτές, πυθμένας) με αποτέλεσμα την εκτροπή του θαλάσσιου ρεύματος (που τείνει να γίνει παράλληλο προς την ακτή), την κλίση της ελεύθερης επιφάνειας του νερού και τη σημαντική επίδραση της τριβής του θαλάσσιου πυθμένα στην κατακόρυφη κατανομή της ταχύτητας του ρεύματος.

Η παράκτια υδροδυναμική κυκλοφορία περιλαμβάνει τα παλιρροιακά ρεύματα, τα ανεμογενή ρεύματα, τα κυματογενή ρεύματα, τα ρεύματα πυκνότητας και τις αναδύσεις θαλάσσιων μαζών (upwelling).

(i) **Τα παλιρροιακά ρεύματα (tidal currents)**: είναι οριζόντιες κινήσεις, αποτέλεσμα της διαφορικής επιτάχυνσης των σημείων της επιφάνειας της γης και σχετίζονται με τις σχετικές θέσεις της σελήνης και του ήλιου ως προς τη γη. Τα παλιρροιακά ρεύματα προκαλούν τις μεταβολές της στάθμης γνωστές ως αστρονομική παλίρροια. Ο επικρατέστερος τύπος αστρονομικής παλίρροιας είναι αυτός που εμφανίζει δύο υψηλές (πλήμμες) και δύο χαμηλές στάθμες (ρηχίες) στη διάρκεια του 24ωρου, ημιμερήσια παλίρροια, και αναφέρεται ως παλιρροιακή συνιστώσα M_2 , με περίοδο 12.42 ώρες.

(ii) **Τα ανεμογενή ρεύματα (wind-generated currents)**: είναι τα ρεύματα εκείνα που αναπτύσσονται στην υδάτινη μάζα λόγω της κίνησης του επιφανειακού στρώματος του νερού από την εξασκούμενη στην ελεύθερη επιφάνεια τάση από τον άνεμο. Η κίνηση αυτή μεταδίδεται στα βαθύτερα στρώματα του νερού λόγω των αναπτυσσόμενων εσωτερικών διατμητικών τάσεων. Στις παράκτιες περιοχές η ύπαρξη του ορίου των ακτών και του πυθμένα περιορίζει την κίνηση του επιφανειακού στρώματος με αποτέλεσμα τη συσσώρευση όγκων νερού προς τις ακτές και τη δημιουργία κλίσης στην ελεύθερη επιφάνεια. Η δημιουργία της κλίσης στην ελεύθερη επιφάνεια έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη στα βαθύτερα στρώματα μιας αντίθετης κυκλοφορίας.

Μια ειδική κατηγορία ανεμογενούς κυκλοφορίας, ιδιαίτερα σημαντική για τον παράκτιο χώρο είναι αυτή που συνδυάζεται με τις θυελλογενείς παλίρροιες ή κύματα καταιγίδων (storm surges), αποτέλεσμα έντονων μετεωρολογικών μεταβολών (σημαντικές οριζόντιες βαθμίδες της ατμοσφαιρικής πίεσης και θυελλώδεις άνεμοι).

(iii) **Τα κυματογενή ρεύματα (wave-induced currents)**: είναι οι κινήσεις που οφείλονται στους επιφανειακούς κυματισμούς δηλαδή στις μη μόνιμες ταλαντώσεις της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας του νερού. Οι επιφανειακοί κυματισμοί δημιουργούνται από τη μεταφορά ενέργειας από τον άνεμο στη μάζα του νερού.

Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας περιέχουν οι επιφανειακοί κυματισμοί που οφείλονται στις δημιουργούμενες από τον άνεμο διατμητικές και εγκάρσιες τάσεις στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού.

Στις ακτές προκαλείται υπερύψωση της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας του νερού που οφείλεται στη μεταφορά μάζας από τους επιφανειακούς μη γραμμικούς κυματισμούς. Η επιφάνεια του νερού αποκτά κλίση η αύξηση της οποίας προκαλεί θραύση των κυμάτων. Η διάδοση των κυματισμών και μετά τη ζώνη θραύσης προκαλεί την ανύψωση της στάθμης (wave set-up) που είναι διαφορετική κατά μήκος της ακτής, με επακόλουθο την ανάπτυξη ενός ρεύματος παράλληλου προς την ακτή (longshore current).

(iv) **Τα ρεύματα πυκνότητας (density currents)**: είναι εκείνες οι κινήσεις των παράκτιων νερών που οφείλονται στις οριζόντιες βαθμίδες πυκνότητας του νερού.

Στον παράκτιο χώρο λόγω των εκβολών ποταμών και του μικρού βάθους της περιοχής εμφανίζεται μια κίνηση του χαμηλής αλατότητας νερού από την ακτή προς θάλασσα η οποία περιορίζεται στα επιφανειακά στρώματα, ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσεται ένα αντίθετο ρεύμα με κατεύθυνση προς την ακτή στα βαθύτερα στρώματα της μεγαλύτερης αλατότητας. Η στρωματωμένη αυτή κυκλοφορία αποτελεί τον κυρίαρχο τύπο ροής που παρουσιάζεται στη φύση. Η ύπαρξη παλιρροιακών ρευμάτων και ανεμογενούς κυκλοφορίας προξενεί την ανάμιξη των δύο στρωμάτων και τη μείωση της διαφοράς της αλατότητας κατά βάθος.

(v) **Η ανάδυση (upwelling)**: θαλασσιών μαζών είναι όρος που χαρακτηρίζει όλη εκείνη τη διαδικασία που προξενεί τη προς τα άνω κίνηση του νερού από μεγάλα βάθη (της τάξεως των 100 μέχρι 300 m) προς την ελεύθερη επιφάνεια. Η εμφάνιση της ανάδυσης παρατηρείται σε παράκτιους χώρους σημαντικού συνήθως βάθους στις περιπτώσεις ύπαρξης κατάλληλων τοπικών ανέμων.

Αποτέλεσμα της κίνησης των υδάτινων μαζών από τα βαθύτερα στρώματα προς την επιφάνεια, είναι η ανύψωση των καμπύλων ίσης θερμοκρασίας (ισόθερμων) και ίσης πυκνότητας (ισόπυκνων), κατάσταση η οποία ονομάζεται ασταθής στρωμάτωση. Οι αναδύμενες μάζες φτάνοντας στην επιφάνεια ακολουθούν την κίνηση του επιφανειακού στρώματος, γρήγορα όμως εμφανίζουν την τάση να βυθιστούν και πάλι επειδή έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα (καταβύθιση θαλασσιών μαζών, κατακόρυφα ρεύματα αγωγής,

downwelling). Το αναπτυσσόμενο σύστημα κυκλοφορίας έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός μετώπου πυκνότητας (density front), όμοιου με αυτό που παρατηρείται στις εκβολές των ποταμών και το οποίο διαχωρίζει τα παράκτια νερά από τη γειτονική θάλασσα.

1.2. ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΝΕΡΑ

Η γνώση της υδροδυναμικής κυκλοφορίας των παράκτιων νερών και γενικότερα η γνώση της υδροδυναμικής συμπεριφοράς του οικοσυστήματος είναι πρακτικά αδύνατον να αποκτηθεί μόνον από τις επιτόπου μετρήσεις φυσικών παραμέτρων λόγω του τεράστιου όγκου μετρήσεων που θα χρειάζονταν. Μικρό πλήθος όμως μετρήσεων, κατάλληλα επιλεγμένων αναφορικά με τις μετρούμενες παραμέτρους, τις θέσεις και τα χρονικά διαστήματα που θα γίνονται οι μετρήσεις αυτές, είναι απαραίτητο για την επαλήθευση και ρύθμιση των μαθηματικών ομοιωμάτων που με κατάλληλες υποθέσεις και παραδοχές περιγράφουν ικανοποιητικά τις φυσικές διεργασίες στον παράκτιο χώρο. Είναι προφανές ότι τόσο οι επιτόπου μετρήσεις όσο και η επιλογή του μαθηματικού ομοιώματος είναι κάθε φορά συνδεδεμένα με τη διερεύνηση του μελετούμενου έργου της υποβρύχιας διάθεσης ρυπαντικών φορτίων έτσι ώστε να πληρούνται όλες οι προδιαγραφές αναφορικά με την σωστή λειτουργία του έργου και την προστασία του παράκτιου οικοσυστήματος.

Οι επιτόπου μετρήσεις στον παράκτιο χώρο είναι και επίπονες και πολυέξοδες. Προϋποθέτουν επομένως και τη διάθεση των αναγκαίων κεφαλαίων αλλά και την ενασχόληση για σημαντικό διάστημα. Αναφορικά με το δεύτερο, το χρονικό διάστημα εκτέλεσης των επιτόπου μετρήσεων, θα πρέπει να καλύπτονται όλες οι κρίσιμες περίοδοι ώστε να γίνονται παρατηρήσεις των επικρατούντων τυπικών καιρικών συνθηκών αλλά και των συνθηκών που δημιουργούν ή είναι πιθανόν να δημιουργήσουν ιδιαίτερα δυσμενείς συνθήκες για την επιβάρυνση του παράκτιου οικοσυστήματος. Πρέπει επομένως να υπάρχουν μετρήσεις για την καλοκαιρινή περίοδο, για τις περιόδους ύπαρξης θερμοκλινούς, για τα διαστήματα επικράτησης ρευμάτων δυσμενών για τη μεταφορά και διάχυση των ρυπαντικών φορτίων κλπ.

Αναφορικά με τις μετρούμενες παραμέτρους που θα συνεισφέρουν στη γνώση της υδροδυναμικής συμπεριφοράς του παράκτιου οικοσυστήματος, αυτές είναι οι μετρήσεις των ρευμάτων σε διάφορα βάθη, οι μετρήσεις της αλατότητας και θερμοκρασίας του νερού για τον υπολογισμό της πυκνότητας (σε διάφορα βάθη), μετρήσεις της μεταβολής της στάθμης

της ελεύθερης επιφάνειας του νερού καθώς και η συλλογή στοιχείων της τοπογραφίας-βαθυμετρίας και της κλιματολογίας της περιοχής (θερμοκρασίες, άνεμοι, μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης). Συνήθως οι προηγούμενες επιτόπου μετρήσεις συνδυάζονται με μετρήσεις για τον υπολογισμό των συντελεστών διασποράς καθώς και με μετρήσεις φυσικοχημικών, βιολογικών και μικροβιολογικών παραμέτρων.

Οι μετρήσεις ρευμάτων αφορούν κυρίως το επιφανειακό θαλάσσιο στρώμα και το βάθος εκείνο στο οποίο είναι πιθανόν να δημιουργηθεί βυθισμένο πλούμιο ρυπαντικού φορτίου. Οι μετρήσεις αυτές μπορεί να γίνουν (α) με τη χρήση ειδικών οργάνων (μηχανικοί ρευματογράφοι ή Doppler) μέτρησης της ταχύτητας και διεύθυνσης του ρεύματος, (β) με την παρακολούθηση της κίνησης βυθισμένων ή επιφανειακών πλωτήρων (γ) με την παρακολούθηση της κίνησης ειδικών διαλυμάτων (Rhodamine) (δ) με την χρήση Radar ή (ε) την ανάλυση δορυφορικών εικόνων.

1.3. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Η θαλάσσια υδροδυναμική κυκλοφορία είναι αποτέλεσμα της επίδρασης διαφόρων παραγόντων και διεργασιών όπως οι άνεμοι, η παλίρροια, η χρονική και χωρική μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης και οι βαθμίδες πυκνότητας της θάλασσας και έχει στην πραγματικότητα τυρβώδη τρισδιάστατη δομή. Η μαθηματική περιγραφή της υδροδυναμικής κυκλοφορίας είναι δυνατή χρησιμοποιώντας τον 2ο νόμο του Newton, που εκφράζει τη σχέση μεταξύ των δυνάμεων οι οποίες δρουν στο νερό. Το αποτέλεσμα είναι οι γνωστές εξισώσεις Navier-Stokes που συμπληρωμένες με τις κατάλληλες οριακές συνθήκες αποτελούν το μαθηματικό ομοίωμα της υδροδυναμικής κυκλοφορίας.

Για την περίπτωση του παράκτιου χώρου είναι δυνατή η απλούστευση του μαθηματικού ομοιώματος εφόσον γίνουν δεκτές απλοποιήσεις και παραδοχές που σχετίζονται με τη γεωμετρία του πεδίου (η τάξη μεγέθους των οριζόντιων διαστάσεων του παράκτιου χώρου είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τη τάξη της κατακόρυφης διάστασης, του βάθους).

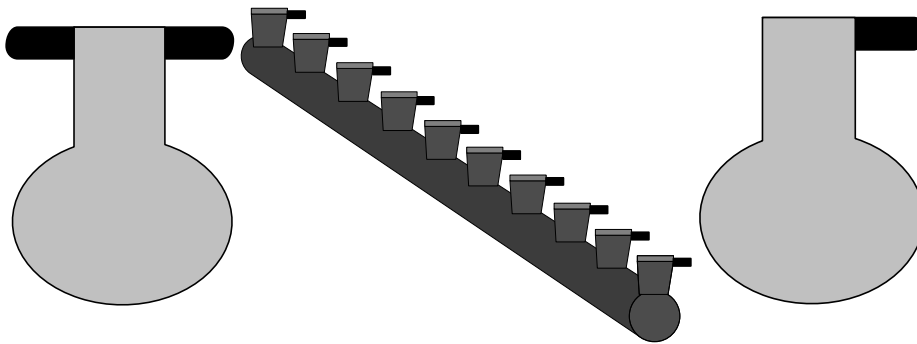
Το σύστημα των εξισώσεων που αποτελούν το μαθηματικό ομοίωμα της μη μόνιμης παράκτιας υδροδυναμικής κυκλοφορίας δεν είναι δυνατόν να επιλυθεί αναλυτικά παρά μόνον σε ειδικές περιπτώσεις και μετά την υιοθέτηση σημαντικών απλοποιήσεων ως προς τη ροή και τα φυσικά χαρακτηριστικά του φυσικού πεδίου. Για κάθε άλλη περίπτωση απαιτείται η

εφαρμογή μιας ή συνδυασμού περισσότερων από τις μεθόδους αριθμητικής ανάλυσης. Οι διαθέσιμες μέθοδοι είναι η μέθοδος των χαρακτηριστικών, η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών, η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων και η μέθοδος οριακών στοιχείων.

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη είναι η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών γιατί εμφανίζει σημαντική απλότητα στη δημιουργία του αριθμητικού σχήματος επίλυσης και παρέχει συνεχή εποπτεία του φυσικού προβλήματος. Η υιοθέτηση της μεθόδου αυτής συνεπάγεται και την κατασκευή ενός σταθερού κανάβου που καλύπτει όλο το υπολογιστικό πεδίο και στις κορυφές του (στους κόμβους του ή στα όρια των βρόχων/κελιών του) υπολογίζονται οι μεταβλητές του μαθηματικού ομοιώματος.

2. ΕΡΓΑ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ

Τα υγρά απόβλητα τα οποία προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες που γίνονται στις παράκτιες περιοχές δηλαδή τα αστικά λύματα, τα γεωργικά στραγγίσματα και τα βιομηχανικά απόβλητα, μεταφέρουν ένα μεγάλο φάσμα ρύπων. Είναι επομένως αναγκαίο μετά τη συλλογή τους από κατάλληλα αποχετευτικά δίκτυα να εκρέουν στο θαλάσσιο περιβάλλον με τέτοιο τρόπο ώστε να μη δημιουργούνται μη αναστρέψιμες οικολογικά συνθήκες στο παράκτιο οικοσύστημα. Η μέχρι σήμερα συνηθισμένη πρακτική για την αντιμετώπιση προβλημάτων προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος είναι είτε εκροή των υγρών αποβλήτων μέσω **υποβρύχιου αγωγού** σε μεγάλο βάθος αλλά χωρίς επεξεργασία είτε μέσω υποβρύχιου αγωγού σε μικρότερα βάθη και αφού γίνει κάποιας μορφής καθαρισμός. Και στις δύο πάντως περιπτώσεις έχει γίνει αποδεκτό ότι το θαλάσσιο περιβάλλον "απορροφά" ποσότητα της ρύπανσης, δηλαδή δεν έχει ξεπεραστεί η δυνατότητα αυτοκαθαρισμού του.

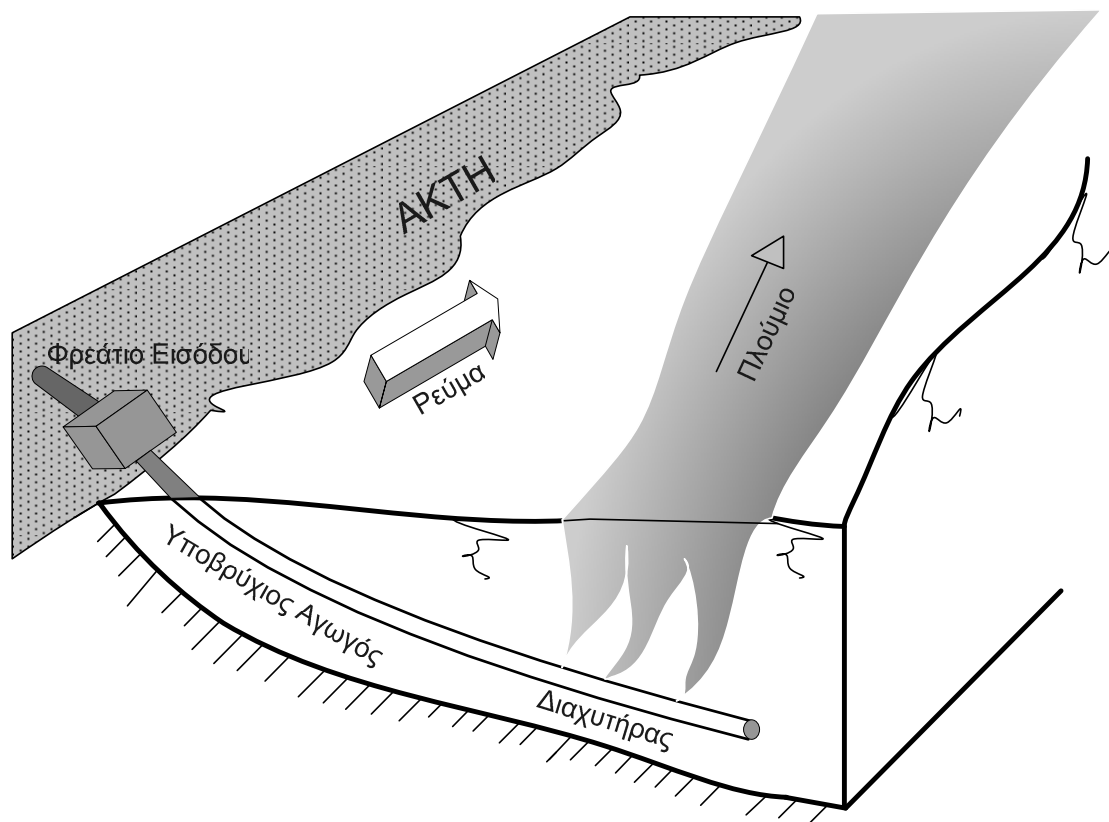


Σχ. 1 Τμήμα διαχυτήρα (στο μέσον) και λεπτομέρεια διαχυτήρα – ανυψωτήρα με στόμιο εκροής από τη μία πλευρά του ανυψωτήρα (δεξιά) ή με στόμια εκατέρωθεν του ανυψωτήρα (αριστερά)

Οι υποβρύχιοι αγωγοί που θα χρησιμοποιηθούν για τη διάθεση των υγρών αποβλήτων στη θάλασσα, ανεξάρτητα αν έχει προηγηθεί ή όχι καθαρισμός, θα πρέπει να εξασφαλίζουν χαμηλές τιμές της τελικής (απομένουσας) συγκέντρωσης των διαφόρων ρύπων μέσα στο θαλάσσιο περιβάλλον ώστε να εκπληρούνται οι ισχύουσες προδιαγραφές προστασίας του παράκτιου οικοσυστήματος. Επομένως είναι απαραίτητη η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ανάμιξη των υγρών αποβλήτων με το θαλάσσιο νερό. Η μεγαλύτερη αυτή ανάμιξη (αραίωση) των υγρών αποβλήτων που καταλήγουν στο θαλάσσιο περιβάλλον, επιτυγχάνεται με την εκροή από κατάλληλα διαμορφωμένο **διαχυτήρα** (diffuser), που κατασκευάζεται στο τέλος (κατάντη άκρο) του υποβρύχιου αγωγού μεταφοράς. Ο διαχυτήρας είναι τμήμα κλειστού

αγωγού (κυκλικής συνήθως διατομής) κατά μήκος του οποίου είναι προσαρμοσμένα (σε ίσες αποστάσεις) τα **στόμια ή θυρίδες εκροής** (Σχ. 1). Τα στόμια εκροής συνδέονται με το διαχυτήρα διαμέσου των **ανυψωτήρων** (κατακόρυφοι σωλήνες προσαρμοσμένοι στο διαχυτήρα), έτσι ώστε η εκροή των υγρών αποβλήτων να γίνεται σε κάποια απόσταση από το θαλάσσιο πυθμένα (~ 1.0 m).

Η συνολική διάταξη που περιλαμβάνει τον υποβρύχιο αγωγό (αγωγός μεταφοράς) και το διαχυτήρα και συμπληρώνεται με το φρεάτιο φόρτισης (στην κεφαλή – ανάντη άκρο του αγωγού μεταφοράς), αποτελεί το έργο υποβρύχιας διάθεσης των υγρών αποβλήτων στη θάλασσα (Σχ. 2).

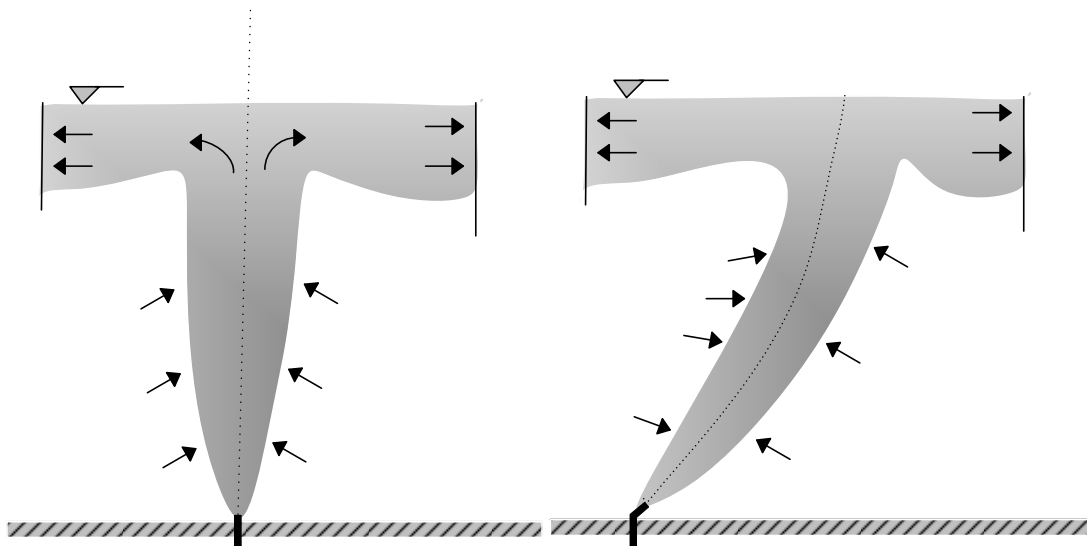


Σχ. 2 Διάταξη υποβρύχιας διάθεσης υγρών αποβλήτων στη θάλασσα

Το σύστημα διάθεσης θα πρέπει να επιτυγχάνει αρχική αραιώση S των λυμάτων τέτοια ώστε $S \geq \max(C_l/C_a)$, όπου C_l είναι η συγκέντρωση του ρυπαντή στα λύματα και C_a το επιτρεπόμενο όριο της συγκέντρωσης του συγκεκριμένου ρυπαντή στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η προηγούμενη σχέση πρέπει να ικανοποιηθεί για οποιονδήποτε ρυπαντή, λ , που εμπεριέχεται στα προς διάθεση λύματα και υπάρχει θεσμοθετημένο όριο, α . Στην πράξη αυτό σημαίνει εκτίμηση της συγκέντρωσης στα λύματα όλων των θεσμοθετημένων ρυπαντών ώστε

να προσδιορισθεί ο κρίσιμος ρυπαντής. Η απαίτηση της τήρησης του ορίου του κρίσιμου ρυπαντή είναι συνήθως απόλυτη, δηλαδή κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες το όριο πρέπει να τηρείται [3,6].

Τα υγρά απόβλητα (αστικά λύματα και βιομηχανικά απόβλητα) είναι συνήθως ελαφρότερα του θαλασσινού νερού και κατά συνέπεια υφίστανται άνωση λόγω της διαφοράς πυκνότητάς τους από το θαλάσσιο περιβάλλον τους και ανέρχονται προς την επιφάνεια της θάλασσας (Σχ. 3). Η διαφορά πυκνότητας μεταξύ αποβλήτων και θάλασσας και η μεταβολή της πυκνότητας της θάλασσας από τον πυθμένα μέχρι την επιφάνεια καθορίζει αν τα απόβλητα που εκρέουν από τον υποβρύχιο αγωγό θα φτάσουν μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας ή θα παραμένουν βυθισμένα μέσα στη θάλασσα μέχρι εκείνο το βάθος που μηδενίζεται η διαφορά πυκνότητας.



Σχ. 3 Εκροή υγρού πυκνότητας ρ_0 σε υγρό με πυκνότητα $\rho_a > \rho_0$, από κατακόρυφο στόμιο (αριστερά) ή στόμιο κεκλιμένο ως προς την ελεύθερη επιφάνεια (δεξιά)

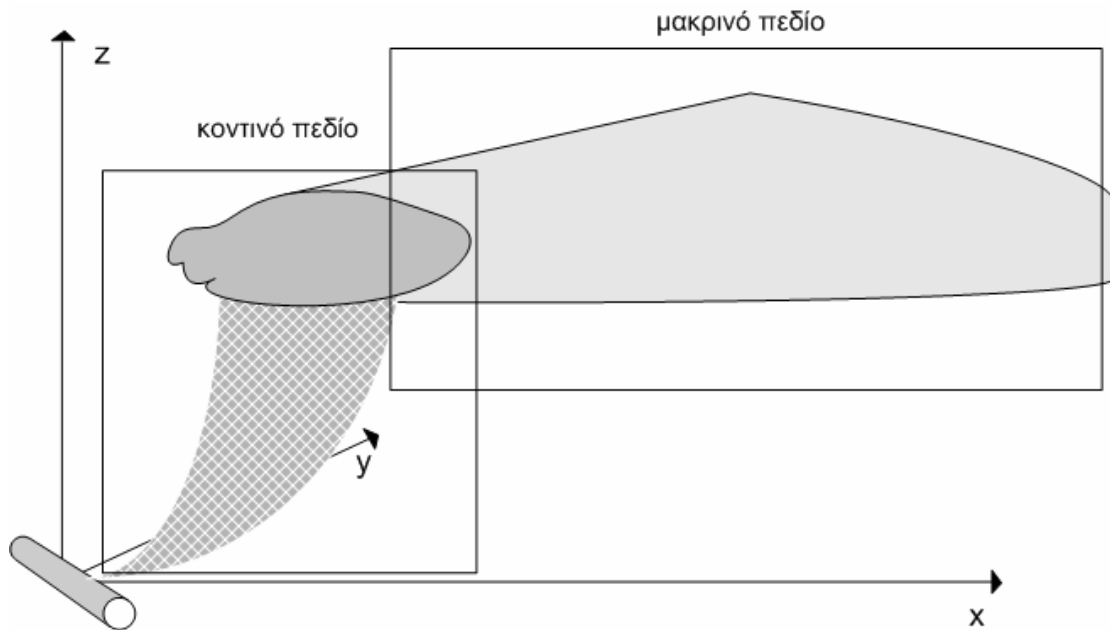
Η τελικά απομένουσα συγκέντρωση των διαφόρων ρύπων που μεταφέρουν τα υγρά απόβλητα μέσω του υποβρύχιου αγωγού στη θάλασσα, είναι αποτέλεσμα της επιμέρους διάλυσης (dilution) που γίνεται στις διάφορες φάσεις της μεταφοράς των λυμάτων μέσα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Οι φάσεις αυτές είναι:

(i) η φάση της ανόδου των λυμάτων από την έξοδο του υποβρύχιου αγωγού προς την ελεύθερη επιφάνεια, δηλ. διάλυση λόγω τυρβώδους διάχυσης .

(ii) η φάση της μεταφοράς (convection) και διασποράς (dispersion) των λυμάτων (στη στάθμη στην οποία έχουν φτάσει στη 1η φάση) λόγω της κίνησης των θαλάσσιων μαζών (ρεύματα), δηλ. διάλυση λόγω οριζόντιας και κατακόρυφης διασποράς.

(iii) η φάση της βιοαποδόμησης, δηλ. μείωση της συγκέντρωσης των μη συντηρητικών ρύπων λόγω βιο-χημικών αλληλεπιδράσεων.

Η πρώτη φάση αναφέρεται συνήθως ως **γειτονικό ή κοντινό πεδίο** (near field) και η 2η φάση ως **μακρινό ή επόμενο πεδίο** (far field), Σχ. 4. Η διάλυση που επιτυγχάνεται στην 1^η φάση, στο κοντινό πεδίο, αναφέρεται ως **αρχική αραίωση**, ενώ αυτή που επιτυγχάνεται στο μακρινό πεδίο ως **επόμενη (περαιτέρω) αραίωση**.



Σχ. 4 Κοντινό (μικρή περιοχή) και μακρινό πεδίο (μεγάλη περιοχή) διάλυσης των υγρών αποβλήτων

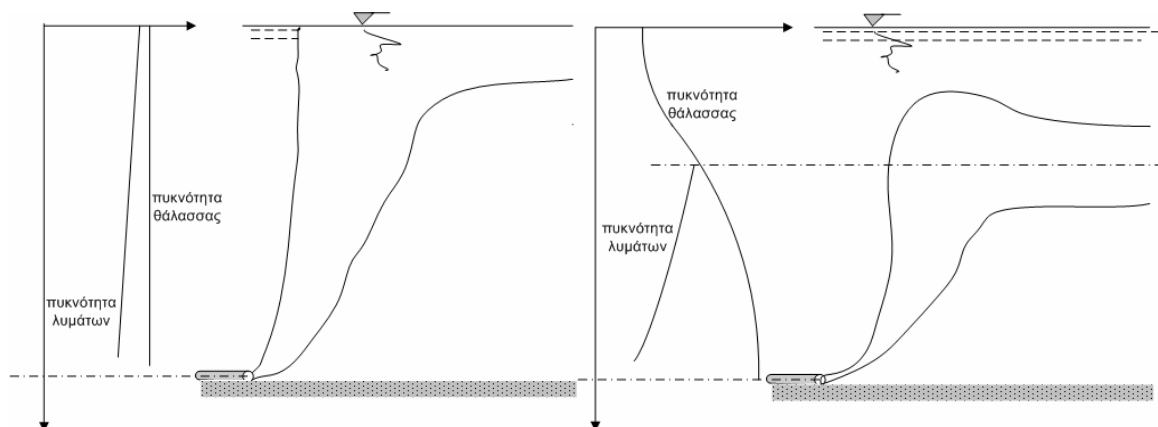
Εξετάζοντας τη φάση ανόδου των λυμάτων γίνεται η διάκριση τυρβώδους φλέβας (turbulent jet) και τυρβώδους πλουμίου (turbulent plume).

(i) **Τυρβώδης φλέβα:** Στην ανοδική αυτή κίνηση των λυμάτων με χαρακτηριστικό μέγεθος την ταχύτητα εκροής, και μήκος ανάπτυξης από μερικά μέτρα μέχρι μερικές δεκάδες μέτρων, η αρχική ορμή υπερσχύει της άνωσης που οφείλεται στη διαφορά πυκνότητας.

(ii) **Τυρβώδες Πλούμιο:** Η ανοδική κίνηση των λυμάτων στην οποία όμως οι δυνάμεις βαρύτητας, λόγω διαφοράς πυκνότητας μεταξύ υγρών αποβλήτων και θάλασσας, υπερσχύουν των δυνάμεων λόγω αρχικής ορμής. Το τυρβώδες πλούμιο εκτείνεται μέχρι το βάθος όπου αρχίζει η (συνήθως) οριζόντια μεταφορά των λυμάτων. Οριακή περίπτωση τυρβώδους πλουμίου είναι η περίπτωση πολύ μικρής αρχικής ταχύτητας και σημαντικής διαφοράς πυκνότητας.

Επειδή η εκροή των υγρών αποβλήτων στη θάλασσα γίνεται σχεδόν πάντοτε με αρχική ταχύτητα και υπάρχει διαφορά πυκνότητας μεταξύ λυμάτων και θάλασσας η εκροή αρχίζει ως τυρβώδης φλέβα και αναπτύσσεται σχετικά γρήγορα σε τυρβώδες πλούμιο. Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την ανάπτυξη του πλουμίου και η απόσταση της αρχής του από την οπή εκροής εξαρτάται από την αρχική ταχύτητα και τη διαφορά πυκνότητας.

Το τυρβώδες πλούμιο φθάνει πάντοτε στην ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας (**ελεύθερο πλούμιο**) εφόσον η πυκνότητα των λυμάτων (σε όλη τη διαδρομή από το βάθος εκροής μέχρι την επιφάνεια) είναι μικρότερη αυτής του θαλασσίου περιβάλλοντος. Είναι όμως δυνατόν να μην φτάσει μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας και να εμφανιστεί παγίδευση των υγρών αποβλήτων σε κάποιο βάθος κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια (**βυθισμένο πλούμιο**). Η εμφάνιση του **βυθισμένου ή παγιδευμένου πλουμίου** συναντάται στις περιόδους ύπαρξης στρωμάτωσης και ανάπτυξης πυκνοκλινούς στο θαλάσσιο περιβάλλον (Σχ. 5). Το πυκνοκλινές (που οφείλεται κυρίως στις έντονες κατακόρυφες βαθμίδες [gradients] της θερμοκρασίας, με εξαίρεση τις περιοχές εκβολών των ποταμών, όπου σημαντικές είναι και οι βαθμίδες αλατότητας), έχει συνήθως εποχιακό χαρακτήρα εμφάνισης και αναπτύσσεται σε βάθος 10 - 40 m (για τις Μεσογειακές παράκτιες περιοχές) κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας. Για να γίνει επομένως παγίδευση των λυμάτων από το πυκνοκλινές θα πρέπει να γίνεται εκροή των λυμάτων σε βάθη μεγαλύτερα από 20 m.



Σχ. 5 Ελεύθερο (αριστερά) και βυθισμένο πλούμιο (δεξιά)

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΑΡΑΙΩΣΗΣ

3.1. ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΗ ΔΕΣΜΗ (ΕΚΡΟΗ ΑΠΟ ΜΙΑ ΟΠΗ)

3.1.1. Εκροή σε ομογενές και ακίνητο περιβάλλον

Η περίπτωση εκροής των λυμάτων από έναν κυλινδρικό αγωγό που σχηματίζει γωνία θ_0 με το οριζόντιο επίπεδο, σε ομογενές περιβάλλον $\left(\frac{\partial \rho_\alpha}{\partial z} = 0\right)$, πυκνότητας ρ_α , είναι η πιο απλή περίπτωση διάθεσης των λυμάτων.

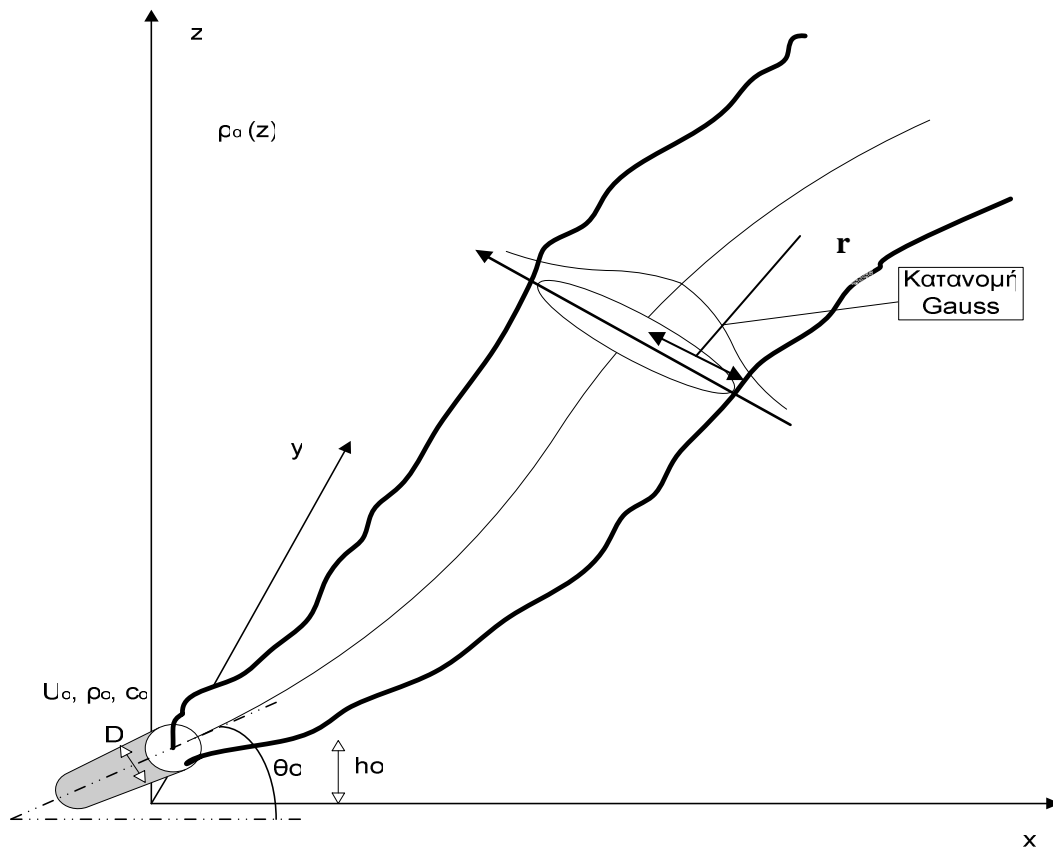
Η φλέβα ή το πλούμιο που εξέρχεται από την κυκλική οπή (Σχ. 6) έχει αξονοσυμμετρική κατανομή ταχύτητας και συγκέντρωσης κατά Gauss:

$$u(x,r) = u_c(x) e^{-a r/x} \quad \text{και} \quad C(x,r) = C_c(x) e^{-b r/x}$$

όπου οι εμπειρικοί συντελεστές a και b έχουν τις εξής τιμές κατά Fisher et. al [4]:

$a=87$ και $b=62$ για τη φλέβα και $a=100$, $b=69$ για το πλούμιο.

Ο δείκτης c συμβολίζει τις τιμές των μεγεθών στον άξονα του πλούμιου, ενώ η απόσταση x μετράται κατά μήκος του άξονα της φλέβας και η απόσταση r κάθετα προς τον άξονα.



Σχ. 6 Εκροή λυμάτων από αγωγό κυκλικής διατομής

Η ελάχιστη αρχική αραίωση σε απόσταση x από το σημείο διάθεσης, $S_c(x)$, είναι ίση με: $S_c(x) = C_0 / C_c(x)$, όπου C_0 είναι η συγκέντρωση του ρυπαντή στον αγωγό διάθεσης. Η μέση αραίωση σε μία διατομή προκύπτει από τη σχέση:

$$\frac{S_{\text{μεση}}}{S_c} = \frac{Q(x)}{Q_0} = 1.4 \quad , \text{ με } Q(x) \text{ και } Q_0 \text{ τις τιμές της «παροχής» της ροής του πλουμίου.}$$

Η μάζα των εξερχόμενων λυμάτων ανυψώνεται από το βάθος εκροής, H και φτάνει στην ελεύθερη επιφάνεια, λόγω της άνωσης που οφείλεται στη διαφορά πυκνότητας και χαρακτηρίζεται από το μέγεθος της ανηγμένης (μειωμένης) επιτάχυνσης της βαρύτητας $g' = g \frac{\Delta\rho}{\rho_a} = g \frac{\rho_a - \rho_o}{\rho_a}$, όπου ρ_o η πυκνότητα των λυμάτων, ρ_a η πυκνότητα του περιβάλλοντος και g η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Η συγκέντρωση που θα έχει η δέσμη των εκρεόντων λυμάτων σε (κατακόρυφη) απόσταση z από την εκροή, εξαρτάται από δύο κυρίως παραμέτρους:

- α) τον πυκνομετρικό αριθμό Froude: $F_o = U_o / \sqrt{g'D}$ και
- β) το λόγο z/D

όπου D η διάμετρος του στομίου εκροής και U_o η ταχύτητα με την οποία γίνεται η εκροή.

Για τις τιμές του $F_o \sim 1$, αναπτύσσονται συνθήκες τυρβώδους πλουμίου ενώ για μεγάλες τιμές του F_o αναπτύσσονται συνθήκες τυρβώδους φλέβας. Το φαινόμενο είναι τυρβώδες εφόσον για τον αριθμό Reynolds ισχύει ότι $Re = U_o D / \nu > 2000$, όπου ν είναι ο συντελεστής του κινηματικού ιξώδους του νερού.

Στην επιφάνεια η δέσμη των λυμάτων εξαπλώνεται (κυκλικά) γύρω από τη θέση της εκροής χωρίς να εμφανίζονται περιοχές επανακυκλοφορίας προς τον πυθμένα, εφόσον η εκροή γίνεται σε περιοχή σημαντικού βάθους. Για να υπάρχει ευστάθεια, δηλαδή να μην εμφανίζονται φαινόμενα επανακυκλοφορίας προς το βάθος, των λυμάτων που έχουν φτάσει στην επιφάνεια, θα πρέπει να ισχύει, Lee & Jirka (1981) [5]:

$$\frac{H}{D} > 0.22F_o \quad (1)$$

οπότε η διάθεση των λυμάτων χαρακτηρίζεται ως εκροή σε περιοχή βαθιών νερών.

i) Στην περίπτωση που η εκροή γίνεται σε βαθιά νερά, ισχύει δηλ. το κριτήριο (1) και γίνεται κατακόρυφα, $\theta_o = 90^\circ$, η διάλυση S_c στον άξονα συμμετρίας της ανερχόμενης δέσμης, σε (κατακόρυφη) απόσταση z από το στόμιο της εκροής υπολογίζεται από τη σχέση, Rouse et al. (1952) [5]:

$$S_c = 0.11(z/D)^{5/3} F_o^{-2/3} = 0.11J^{1/3} z^{5/3}/Q \quad (2)$$

όπου Q η παροχή εκροής, $J = g' \cdot Q = g' \cdot U_o \pi D^2/4$ η κινηματική ανωστική ροή και $S_c = C_o/C_c$. C_o είναι η αρχική συγκέντρωση της συντηρητικής ουσίας στη θέση εκροής (ίση προφανώς και με τη συγκέντρωση της ουσίας στην είσοδο του συστήματος υποβρύχιας διάθεσης) και C_c η συγκέντρωση της ουσίας στον άξονα της δέσμης σε απόσταση z από την εκροή).

ii) Αν η εκροή γίνεται επίσης σε βαθιά νερά και ο αγωγός εκροής είναι οριζόντιος, $\theta_o = 0^\circ$, η διάλυση υπολογίζεται από τις σχέσεις Cederwall (1968) [5]:

$$S_c = 0.54 F_o \left(0.38 \frac{z}{DF_o} + 0.66\right)^{5/3} \quad \text{για } z/D \geq 0.5 F_o \quad (3)$$

$$S_c = 0.54 F_o^{9/16} (z/D)^{7/16} \quad \text{για } z/D < 0.5 F_o$$

Οι παραπάνω σχέσεις (3), για την περίπτωση υπολογισμού της διάλυσης στην ελεύθερη επιφάνεια ($z = H$) αποδίδονται γραφικά από το γνωστό διάγραμμα του Abraham (1963) [1], $S_c = S_c(F_o, H/D)$.

Το πάχος του πλουμίου των λυμάτων στην ελεύθερη επιφάνεια υπολογίζεται ως 0.1 έως 0.15 του βάθους εκροής H ($d_{plume} = 0.1 \sim 0.15H$). Ενώ η διάλυση στην επιφάνεια υπολογίζεται από τις σχέσεις (3) για $z = 0.85 \sim 0.90H$.

iii) Στην περίπτωση που η εκροή γίνεται σε συνθήκες ρηχών νερών, δηλαδή δεν ισχύει το κριτήριο (1), η διάλυση που επιτυγχάνεται σε συνθήκες επανακυκλοφορίας, εφόσον ο αγωγός είναι κατακόρυφος είναι [5]:

$$S = 0.9 \left(\frac{H}{D}\right)^{5/3} F_o^{-2/3} \quad (4)$$

3.1.2. Εκροή σε στρωματομένο και ακίνητο περιβάλλον βαθιών νερών

Στις παράκτιες περιοχές τα θαλάσσια νερά είναι στρωματομένα, εμφανίζουν δηλαδή κατακόρυφες βαθμίδες πυκνότητας, που οφείλονται στην κατακόρυφη μεταβολή της θερμοκρασίας (εποχιακή θέρμανση των επιφανειακών νερών) ή/και στις μεταβολές της αλατότητας (κυρίως σε περιοχές εκβολών ποταμών). Σε αρκετές περιπτώσεις, όπου το πυκνοκλινές (δηλ. οι κατακόρυφες βαθμίδες της πυκνότητας του θαλασσινού νερού) είναι ασθενές, η κατανομή της πυκνότητας στο βάθος, $\rho_\alpha(z)$, μπορεί να θεωρηθεί γραμμική, δηλαδή να θεωρηθεί ότι $\frac{d\rho_\alpha}{dz} = \text{σταθερή}$.

Σε συνθήκες γραμμικής στρωμάτωσης, πολύ περισσότερο δε σε συνθήκες έντονης στρωμάτωσης, είναι πιθανή η δέσμευση του πλουμίου των λυμάτων σε κάποιο βάθος z_{\max} (βάθος παγίδευσης ή τερματικό ύψος παγίδευσης) κάτω από τη στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας, $z_{\max} < H$. Το βάθος παγίδευσης, μετρούμενο από τη στάθμη εκροής προς την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας, υπολογίζεται από τη σχέση, Morton et al. (1956), Hino (1964), Brooks (1972) [5]:

$$z_{\max} = 3.98J^{1/4} \left(-\frac{g}{\rho_1} \frac{d\rho_\alpha}{dz} \right)^{-3/8} \quad (5)$$

όπου ρ_1 η πυκνότητα περιβάλλοντος στη θέση εκροής, $\rho_1 = \rho_\alpha(z=0)$, ενώ η ελάχιστη διάλυση στο βάθος παγίδευσης ισούται με:

$$S_c = 0.071 \frac{J^{1/3} z_{\max}}{Q} \quad (6)$$

3.1.3. Εκροή παρουσία θαλασσίου ρεύματος

Η παρουσία ταχύτητας στο περιβάλλον εκροής (θαλάσσια ρεύματα) διαφοροποιεί το φαινόμενο, αφού η διάλυση δεν εξαρτάται μόνον από τα χαρακτηριστικά της εκροής και τη διαφορά πυκνότητας, αλλά και από την ένταση του θαλασσίου ρεύματος.

Για συνθήκες κατακόρυφης εκροής σε ομογενές περιβάλλον ισχύει, Wright (1977) [5]:

$$S_c = 0.27 \frac{J^{1/3} z^{5/3}}{Q} \quad \text{για} \quad \frac{zu_\alpha^3}{J} < 1 \quad (7)$$

και

$$S_c = 0.40 \frac{u_\alpha z^2}{Q} \quad \text{για} \quad \frac{zu_\alpha^3}{J} > 1 \quad (8)$$

όπου u_α η ταχύτητα του θαλασσίου ρεύματος που θεωρείται ότι παραμένει σταθερή στο βάθος (από την επιφάνεια μέχρι τη θέση εκροής) και z το ύψος στο οποίο φτάνει το πλούμιο.

Σε συνθήκες οριζόντιας εκροής (αγωγός εκροής παράλληλος προς τη θαλάσσια επιφάνεια) και σε ομογενές θαλάσσιο περιβάλλον ισχύει, Neville-Jones (1987) [5]:

$$S_m = 0.31 \frac{J^{1/3} H^{5/3}}{Q} \quad \text{για} \quad \frac{H u_\alpha^3}{J} < 5 \quad (9)$$

και

$$S_m = 0.32 \frac{u_\alpha H^2}{Q} \quad \text{για} \quad \frac{H u_\alpha^3}{J} > 5 \quad (10)$$

όπου S_m η ελάχιστη διάλυση στην ελεύθερη επιφάνεια (σε απόσταση H από την εκροή).

Για την περίπτωση της κατακόρυφης εκροής σε γραμμικά στρωματομένο περιβάλλον προτείνεται η σχέση, Wrigh (1977) [5]:

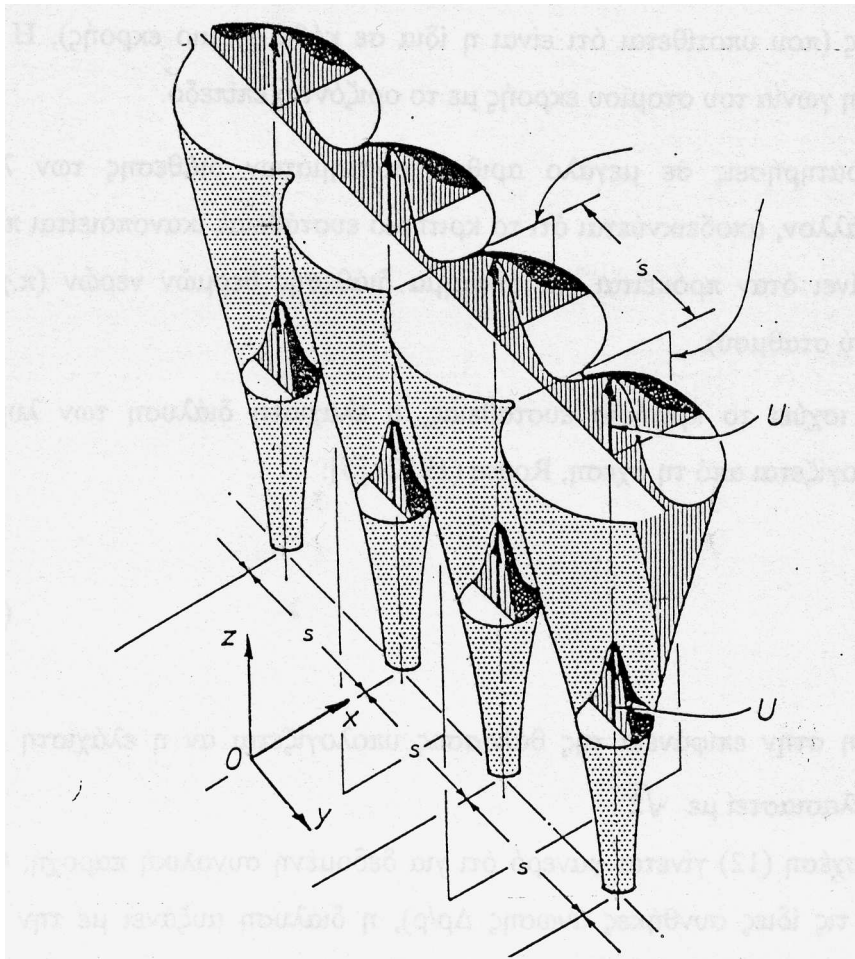
$$z_{\max} = 1.8 \left(\frac{u_\alpha}{\varepsilon^{1/2}} \right)^{2/3} \left(\frac{J}{u_\alpha^3} \right)^{1/3} \quad (11)$$

όπου $\varepsilon = \left(-\frac{g}{\rho_1} \frac{d\rho_\alpha}{dz} \right)$ παράμετρος που χαρακτηρίζει τη στρωμάτωση.

Ενώ η διάλυση στο βάθος παγίδευσης μπορεί να υπολογιστεί από τις σχέσεις (7) ή (8), ανάλογα με την ένταση του θαλασσίου ρεύματος, θέτοντας $z = z_{\max}$.

3.2. ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΔΕΣΜΗ (ΕΚΡΟΗ ΑΠΟ ΔΙΑΧΥΤΗΡΑ)

Στις συνήθεις διατάξεις διάθεσης των λυμάτων στη θάλασσα η εκροή δεν γίνεται από μία οπή (στόμιο εξόδου), αλλά από ένα πλήθος οπών (θυρίδες εκροής) που βρίσκονται στο τέλος των αντίστοιχων ανυψωτήρων (risers) που είναι τοποθετημένοι σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις κατά μήκος του διαχυτήρα (diffuser). Οι ανυψωτήρες είναι απαραίτητοι για διαχυτήρες διαμέτρου μικρότερης του 1 m, ώστε να αποφεύγεται η είσοδος φερτών υλών στον αγωγό. Σε διαχυτήρες μεγαλύτερης διαμέτρου τα λύματα μπορεί να διατίθενται από οπές στο τοίχωμα του διαχυτήρα, εφόσον ο διαχυτήρας είναι τοποθετημένος πάνω στο θαλάσσιο πυθμένα. Τα στόμια εξόδου (nozzles) μπορούν να έχουν διάφορες κατευθύνσεις ως προς τον άξονα του διαχυτήρα και είναι ένα ή περισσότερα (συνήθως έως 2) σε κάθε ανυψωτήρα.



Σχ. 7 Εκροή λυμάτων από διαχυτήρα – επιμήκης αξονοσυμμετρική ροή

Τα λύματα που εξέρχονται από τα στόμια των ανυψωτήρων σχηματίζουν μία επιμήκη αξονοσυμμετρική ροή προς την επιφάνεια της θάλασσας (Σχ. 7), που προσομοιώνεται με την

εκροή από μία γραμμική πηγή, μήκους L_D (όπου L_D το μήκος του διαχυτήρα) και μέσης στο μήκος παροχής $q = Q/L_D$. Ως μήκος L_D , του διαχυτήρα λαμβάνεται το γινόμενο $L_D = N \cdot s$, όπου N είναι το πλήθος των ανυψωτήρων (ανεξάρτητα αν έχουν 1 ή 2 στόμια εκροής) και s είναι η μεταξύ τους απόσταση. Το s λαμβάνεται ίσο με το 1/4 του βάθους εκροής H ($s = \Delta l = H/4$), για την αποφυγή αλληλεμπλοκής των φλεβών των διαφόρων ανυψωτήρων.

3.2.1. Εκροή σε ομογενές και ακίνητο περιβάλλον

Η εκροή λυμάτων από διαχυτήρα σε ομογενές θαλάσσιο περιβάλλον όπου δεν υπάρχουν ρεύματα, αποτελεί την πλέον απλή περίπτωση όσον αφορά στον υπολογισμό της διάλυσης στην ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας. Στην εξεταζόμενη περίπτωση το κριτήριο αστάθειας, για την εμφάνιση επανακυκλοφορίας, οδηγεί στη σχέση [5]:

$$\frac{m}{j^{2/3}H} = \frac{0.54}{(1 + \cos^2\theta_0)}$$

όπου $m = ju_0$ και $j = g'q$ ($q = Q/L_D$, η ανά μέτρο μήκους παροχή του διαχυτήρα), $g' = g \cdot \Delta\rho / \rho_0$, $\Delta\rho = \rho_a - \rho_0$, ρ_0 και ρ_a η πυκνότητα των λυμάτων και του περιβάλλοντος αποδέκτη αντίστοιχα, $u_0 =$ η ταχύτητα εκροής (που υποτίθεται ότι είναι η ίδια σε κάθε στόμιο εκροής), $H =$ το βάθος εκροής και $\theta_0 =$ η γωνία του στομίου εκροής με το οριζόντιο επίπεδο.

Από παρατηρήσεις σε μεγάλο αριθμό συστημάτων διάθεσης των λυμάτων σε θαλάσσιο περιβάλλον, αποδεικνύεται ότι το κριτήριο ευσταθείας ικανοποιείται πάντοτε, εκτός αν πρόκειται για σύστημα διάθεσης θερμών νερών (π.χ. απόβλητα θερμοηλεκτρικού σταθμού, μονάδες ψύξης κτλ).

Εφόσον ισχύει το κριτήριο ευσταθείας, η ελάχιστη διάλυση των λυμάτων στην επιφάνεια, υπολογίζεται από τη σχέση, Rouse (1952) [5]:

$$S_c = 0.38 \frac{j^{1/3}H}{q} \quad (12)$$

Η μέση διάλυση στην επιφάνεια της θάλασσας υπολογίζεται αν η ελάχιστη επιφανειακή διάλυση πολλαπλασιαστεί με $\sqrt{2}$, $S_m = S_c \sqrt{2}$.

Από τη σχέση (12) γίνεται φανερό ότι για δεδομένη συνολική παροχή, Q και βάθος εκροής, H (για τις ίδιες συνθήκες άνωσης $\Delta\rho/\rho_0$), η διάλυση αυξάνει με την αύξηση του μήκους του διαχυτήρα.

3.2.2. Γραμμικά στρωματομένο περιβάλλον

Στην περίπτωση που στο θαλάσσιο περιβάλλον η πυκνότητα μεταβάλλεται με το βάθος, είναι δυνατόν να εμφανιστεί η περίπτωση του παγιδευμένου πλουμίου. Το βάθος παγίδευσης, μετρούμενο από τη στάθμη εκροής προς τη θαλάσσια επιφάνεια, υπολογίζεται από τη σχέση που ακολουθεί, με την παραδοχή της γραμμικής στρωμάτωσης:

$$z_{\max} = 2.84j^{1/3} \left(-\frac{g}{\rho_1} \cdot \frac{d\rho_a}{dz} \right)^{-1/2} \quad (13)$$

όπου ρ_1 η πυκνότητα του θαλασσίου περιβάλλοντος στο βάθος εκροής, δηλ. στο επίπεδο που βρίσκονται οι ανυψωτήρες, $\rho_1 = \rho_a(z=0)$.

Η ελάχιστη διάλυση στο ύψος που θα φτάσει η γραμμική δέσμη, υπολογίζεται από τη σχέση [5]:

$$S_c = 0.31 \frac{j^{1/3} z_{\max}}{q} \quad (14)$$

Το πάχος του στρώματος που καταλαμβάνουν τα διαλυμένα λύματα στην επιφάνεια ή στο βάθος παγίδευσης (αν λόγω της στρωμάτωσης, δεν είναι δυνατόν να φτάσουν στην επιφάνεια της θάλασσας), είναι περίπου το 40 – 50% του συνολικού βάθους (ή του βάθους παγίδευσης για την περίπτωση του παγιδευμένου πλουμίου), δηλ. $d_{\text{plume}} = 0.4 - 0.5 z_{\max}$.

Αντί των συντελεστών 2.84 και 0.31 των εξισώσεων (13) και (14) αντίστοιχα, άλλοι ερευνητές, βασισμένοι σε εργαστηριακές μετρήσεις, προτείνουν τις τιμές 3.6 και 0.24.

3.2.3. Διάλυση στην περίπτωση ύπαρξης θαλασσίων ρευμάτων

Αν στο θαλάσσιο περιβάλλον επικρατούν ρεύματα, σταθερής σε όλη τη θαλάσσια στήλη, ταχύτητας u_a , η διάλυση εξαρτάται και από την παράμετρο $\lambda = u_a^3/j$.

ι) Έτσι, στην περίπτωση ομογενούς θαλασσίου περιβάλλοντος αν ισχύει ότι $\lambda < 0.1$, η ελάχιστη επιφανειακή διάλυση δεν εξαρτάται από την ταχύτητα του ρεύματος και υπολογίζεται από τη σχέση, [2]:

$$S_m = 0.27 \frac{j^{1/3} H}{q} \quad (15)$$

Αντίθετα στην περίπτωση που $\lambda > 0.1$, η ελάχιστη διάλυση στην θαλάσσια επιφάνεια εξαρτάται αφενός από την ταχύτητα του ρεύματος u_a και αφετέρου από τη γωνία γ , που σχηματίζει η διεύθυνση του ρεύματος με τον άξονα του διαχυτήρα και μπορεί να υπολογιστεί μόνον από το διάγραμμα του Roberts (1979) $S_m = S_m(u_a, \lambda, \gamma)$ και $0 \leq \gamma \leq 90$ [2].

ii) Αν το κινούμενο θαλάσσιο περιβάλλον είναι και στρωματωμένο, είναι και πάλι δυνατόν η δέσμη των διαλυμένων λυμάτων να μη φτάσει στην θαλάσσια επιφάνεια.

Εφόσον το θαλάσσιο ρεύμα είναι ασθενές, ώστε να ισχύει ότι $\lambda < 0.1$, το βάθος παγίδευσης και η ελάχιστη διάλυση, δεν εξαρτώνται από την ένταση του ρεύματος και τη γωνία του διαχυτήρα ως προς το ρεύμα και υπολογίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις, [5]:

$$z_{\max} = 2.6j^{1/3} \left(\frac{-g}{\rho_1} \frac{d\rho_a}{dz} \right)^{-1/2} \quad \text{για το βάθος παγίδευσης πάνω από την εκροή} \quad (16)$$

όπου ρ_1 η πυκνότητα του θαλασσίου περιβάλλοντος στο βάθος που βρίσκονται οι ανυψωτήρες $\rho_1 = \rho_a(z=0)$.

$$S_m = 0.37 \frac{j^{1/3} z_{\max}}{q} \quad \text{για την ελάχιστη διάλυση στο βάθος παγίδευσης} \quad (17)$$

Οι σχέσεις (16) και (17) είναι όμοιες με τις σχέσεις (13) και (14) αντίστοιχα, άλλα με διαφορετικές τιμές των συντελεστών.

Αν η ένταση του θαλασσίου ρεύματος είναι σημαντική και ισχύει ότι $0.1 < \lambda < 100$, τότε το βάθος παγίδευσης και η ελάχιστη διάλυση στο ύψος αυτό, εξαρτώνται από την ένταση του ρεύματος και τη γωνία του άξονα του διαχυτήρα με το ρεύμα.

Εφόσον ο διαχυτήρας είναι τοποθετημένος κάθετα προς τη διεύθυνση του ρεύματος, δηλ. $\gamma = 90^\circ$, το βάθος παγίδευσης και η αντίστοιχη ελάχιστη διάλυση υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις, [5]:

$$z_{\max} = 2.5 \frac{j^{1/2}}{u_a^{1/2}} \left(\frac{-g}{\rho_1} \frac{d\rho_a}{dz} \right)^{-1/2} \quad (18)$$

όπου ρ_1 η πυκνότητα του θαλασσίου περιβάλλοντος στο βάθος που βρίσκονται οι ανυψωτήρες $\rho_1 = \rho_a(z=0)$.

$K\alpha$

$$S_m = \frac{0.4j^{1/3} z_{\max} \lambda^{1/6}}{q} (2.19\lambda^{1/6} - 0.52) \quad (19)$$

4. ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΑΡΑΙΩΣΗ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Στο πέρας της αρχικής αραιώσης τα λύματα δημιουργούν ένα πλούμιο πλάτους B και πάχους d . Εφόσον η διάθεση των λυμάτων γίνεται με τη χρήση διαχυτήρα, το πλάτος της δέσμης των αραιωμένων λυμάτων στην επιφάνεια ή στο βάθος παγίδευσης (αν δεν φτάνουν μέχρι την επιφάνεια), λαμβάνεται ίσο με το μήκος του διαχυτήρα προσαναυξημένο κατά το 30-40% του τερματικού ύψους ανόδου (βάθους παγίδευσης) του πλουμίου, δηλ. $B=L_D+0,3\sim 0,4z_{\max}$. Προφανώς για μικρό βάθος παγίδευσης, $z_{\max} \ll L_D$, ισχύει $B \approx L_D$.

Το πάχος της δέσμης στην περίπτωση που η διάθεση γίνεται σε στρωματωμένο περιβάλλον και υπάρχουν θαλάσσια ρεύματα, υπολογίζεται από τη σχέση, Brooks (1972) [2, 5]:

$$d = z_{\max} \left[\frac{(QS / u_a B z_{\max})}{(1 + QS / u_a B z_{\max})} \right] \quad (20)$$

όπου Q η συνολική παροχή των λυμάτων, u_a η ένταση του θαλασσίου ρεύματος, L_D το μήκος του διαχυτήρα, z_{\max} το βάθος παγίδευσης (ίσο με το συνολικό βάθος, H στην περίπτωση που η δέσμη φτάνει στην επιφάνεια, $S = S_m \sqrt{2}$ η μέση διάλυση στο βάθος παγίδευσης (ή στην επιφάνεια αντίστοιχα) και S_m η ελάχιστη διάλυση στο αντίστοιχο ύψος. Η σχέση (20) ισχύει εφόσον:

$$S Q / (u_a L_D z_{\max}) \leq 2$$

Μετά την αρχική αραιώση τα λύματα μεταφέρονται με τα θαλάσσια ρεύματα. Η χρονική και χωρική μεταβλητότητα των ρευμάτων προκαλούν διασπορά των λυμάτων που εκφράζεται με τους συντελεστές κατακόρυφης και οριζόντιας διάχυσης.

Η κατακόρυφη διάχυση είναι σημαντική μόνον όταν τα αραιωμένα λύματα φτάνουν στο επιφανειακό θαλάσσιο στρώμα και η θάλασσα δεν είναι στρωματωμένη (δεν εμφανίζεται έντονη μεταβολή της πυκνότητας με το βάθος), όπου ο άνεμος δημιουργεί έντονες κατακόρυφες μεταβολές στο πεδίο ταχυτήτων. Ο συντελεστής κατακόρυφης διάχυσης K_v υπολογίζεται προσεγγιστικά από:

$$K_v = 0,1 \cdot u^* \cdot H$$

όπου $u^* = (\tau/\rho)^{1/2}$ και $\tau/\rho = 10^{-6} \cdot W^2$ είναι η διατμητική τάση στη θαλάσσια επιφάνεια, που προκαλείται λόγω ανέμου ταχύτητας W . Η συνήθης προτεινόμενη τιμή για τον συντελεστή κατακόρυφης διάχυσης είναι $100 \text{ cm}^2/\text{sec}$.

Ο χρόνος που απαιτείται για την κατακόρυφη διάχυση των λυμάτων σε βάθος H είναι:

$$t_v = H^2 / (8K_v)$$

Ο υπολογισμός της κατακόρυφης διάχυσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη την ύπαρξη ορίων που είναι ο πυθμένας αλλά και το πυκνοκλινές, ώστε οι παραπάνω προσεγγιστικές σχέσεις να μην οδηγούν σε παράλογα αποτελέσματα. Στην περίπτωση έντονου πυκνοκλινούς η δέσμη των λυμάτων θα μεταφέρεται, λόγω της οριζόντιας συνιστώσας του θαλάσσιου ρεύματος χωρίς να μπορεί να διέλθει μέσα από τη ζώνη του πυκνοκλινούς.

Η διάλυση στο μακρινό πεδίο (ή επόμενη διάλυση αφού ακολουθεί αυτή της αρχικής αραίωσης), σε απόσταση x , από τη θέση εκροής, για την περίπτωση του στρωματωμένου θαλάσσιου πεδίου, οφείλεται στην οριζόντια μεταφορά και διασπορά που προκαλούν τα θαλάσσια ρεύματα και μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση του Brooks (1960) [2, 4, 5]:

$$\frac{C}{C_\varepsilon} = \left\{ \operatorname{erf} \left[\frac{3/2}{\left(1 + \frac{8K_h t}{B^2}\right)^3 - 1} \right] \right\}^{1/2} \cdot e^{-\lambda t} \quad (21)$$

όπου C_ε η συγκέντρωση στην επιφάνεια ή στο βάθος παγίδευσης λόγω της αρχικής αραίωσης, C η συγκέντρωση σε απόσταση x από την αρχική θέση εκροής (ως αρχική θέση θεωρείται η θέση του διαχυτήρα), K_h ο συντελεστής οριζόντιας διάχυσης, t ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει η δέσμη σε απόσταση x , $t = x/u_a$, u_a η ένταση του θαλασσιού ρεύματος, B το πλάτος του πλουμίου, λ ο συντελεστής βιολογικής αποδόμησης και $\operatorname{erf}\{ \}$ η συνάρτηση σφάλματος

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(x - \frac{x^3}{3.1!} + \frac{x^5}{5.2!} - \frac{x^7}{7.3!} + \dots \right) \quad \text{ή} \quad \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-w^2} dw$$

Ο συντελεστής οριζόντιας διάχυσης K_h μπορεί να προσεγγισθεί από τον εξής τύπο (εφόσον δεν υπάρχουν στοιχεία πεδίου):

$$K_h = 0.01 B^{4/3}$$

όπου B (σε cm) είναι το πλάτος του πλουμίου αμέσως μετά την αρχική αραίωση και θεωρείται ίσο με το μήκος του διαχυτήρα για μικρό z_{\max} . Η συνήθης προτεινόμενη τιμή για τον συντελεστή οριζόντιας διάχυσης είναι $300 \text{ cm}^2/\text{sec}$.

Το πλάτος L_x που θα έχει το πλούμιο σε απόσταση x από τη θέση της αρχικής εκροής μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$L_x/B = \left(1 + (2/3)\beta x/B\right)^{3/2}, \quad \text{όπου} \quad \beta = 12K_h / (u_a B).$$

Ο επιπλέον όρος απόσβεσης $e^{-\lambda t}$, στην εξίσωση (21), λαμβάνεται υπόψη στην περίπτωση που ο υπολογισμός αφορά στη συγκέντρωση μη συντηρητικού ρύπου, δηλαδή ρύπου που η

συγκέντρωσή του μεταβάλλεται με το χρόνο λόγω βιολογικών διεργασιών (π.χ. μικρόβια, βακτηρίδια κλπ). Στην περίπτωση του μη συντηρητικού ρύπου, ο συντελεστής λ , βιολογικής αποδόμησης, υπολογίζεται από τον χαρακτηριστικό χρόνο T_{90} , που εκφράζει το χρόνο που απαιτείται για την καταστροφή (θάνατο) του 90% του μη συντηρητικού ρύπου: $\lambda = \frac{\ln 10}{T_{90}}$

Ο χαρακτηριστικός χρόνος T_{90} εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος (είναι μικρότερος σε θερμές περιοχές από ότι στις ψυχρές) και την ηλιοφάνεια (μικρότερος την ημέρα από ότι τη νύχτα). Οι συνήθεις προτεινόμενες τιμές για τον χαρακτηριστικό χρόνο T_{90} είναι:

$T_{90}=1.5 - 2.5$ hrs για κολοβακτηρίδια, FC (Fecal Coliforms), και $T_{90}=2.5 - 3.5$ hrs για στρεπτόκοκκους (streptococci).

Ο υπολογισμός της αραίωσης λόγω μεταφερόμενης διασποράς είναι πολύ προσεγγιστικός διότι λαμβάνει μόνον έμμεσα και κατά γενικό τρόπο (με το συντελεστή οριζόντιας διάχυσης) υπόψη τη χρονική και χωρική μεταβλητότητα των θαλάσσιων ρευμάτων. Αλλά είναι και συντηρητικός διότι θεωρεί ότι το θαλάσσιο ρεύμα σταθερής ταχύτητας u διαρκεί τουλάχιστον όσο χρόνο απαιτείται για να μεταφερθούν τα λύματα από το σημείο διάθεσης στο ευαίσθητο σημείο του αποδέκτη. Στην πραγματικότητα, τα θαλάσσια ρεύματα μεταβάλλονται χρονικά και χωρικά με αποτέλεσμα ο αποδέκτης να είναι διάσπαρτος από "νέφη" λυμάτων διαφόρων συγκεντρώσεων, που όμως σπάνια υπερβαίνουν τη συγκέντρωση που αντιστοιχεί στην αραίωση που υπολογίζεται από τη σχέση (21). Ακριβέστερος υπολογισμός μπορεί να γίνει με μαθηματικά ομοιώματα παράκτιας κυκλοφορίας και μεταφοράς ρυπαντών.

Πρόσθετο πρόβλημα κατά τη συνεχή διάθεση λυμάτων είναι η αραίωση των λυμάτων με νερό που έχει ήδη ρυπανθεί από λύματα που διατέθηκαν σε προηγούμενη χρονική στιγμή και παραμένουν κοντά στο σημείο διάθεσης, ή έχουν απομακρυνθεί και επανήλθαν κοντά στο σημείο διάθεσης λόγω μεταβολής της κατεύθυνσης των ρευμάτων. Η μειωμένη αραίωση που προκύπτει είναι δυνατόν να υπολογισθεί με μαθηματικό μοντέλο, που συνδυάζει τη συμπεριφορά των λυμάτων στον κοντινό πεδίο (αρχική αραίωση) και στο απομακρυσμένο πεδίο.

5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

5.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η καλή υδραυλική λειτουργία του υποθαλάσσιου αγωγού είναι προϋπόθεση για την επαρκή διασπορά των λυμάτων στη θάλασσα αλλά και για τη μακροβιότητα του έργου. Σύμφωνα με την εμπειρία του συγγραφέα, αλλά και τη διεθνή βιβλιογραφία, οι ακόλουθες βασικές αρχές πρέπει να τηρούνται κατά το σχεδιασμό και λειτουργία ενός υποθαλάσσιου αγωγού:

1. **Απλότητα λειτουργίας.** Κατά το δυνατόν, πρέπει να αποκλείονται υδραυλικές συσκευές (π.χ. βαλβίδες εξαέρωσης, βαλβίδες διακοπής κλπ) κατά μήκος του αγωγού, και ιδιαίτερα μακριά από τα έργα κεφαλής και το φρεάτιο φόρτισης. Παρόμοιες συσκευές πέφτουν σύντομα σε αχρηστία λόγω δυσκολίας συνεχούς ελέγχου και των διαβρώσεων που προκαλεί το θαλάσσιο νερό.
2. **Συνεχής κλίση του αγωγού προς τη θάλασσα.** Αποφεύγονται έτσι τοπικά υψηλά και χαμηλά σημεία κατά μήκος του αγωγού όπου και υπάρχει κίνδυνος συσσώρευσης, αντίστοιχα, αέρα και φερτών υλών, με αποτέλεσμα τη μείωση της υδραυλικής ικανότητας του αγωγού.
3. **Αγωγός σε όλο το μήκος του κάτω από την ελάχιστη στάθμη της θάλασσας.** Έτσι μειώνεται σημαντικά ο κίνδυνος εισαγωγής αέρα και η μείωση της υδραυλικής του ικανότητας.
4. **Εξασφάλιση ελάχιστης ταχύτητας ροής στον αγωγό,** για την αποφυγή επικαθήσεων των φερτών υλικών που τυχόν μεταφέρονται με τα λύματα ($0.5 \sim 1 \leq U_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} \leq 2 \text{m/sec}$).
5. **Εξασφάλιση από την εισαγωγή θαλάσσιου νερού στον αγωγό.** Το θαλάσσιο νερό, ως βαρύτερο από τα λύματα, αν εισέλθει στον αγωγό δημιουργεί μία "γλώσσα" πρακτικά ακίνητη (στάσιμη αλμυρή σφήνα [saline wedge]), πάνω από την οποία κινούνται τα λύματα. Ως αποτέλεσμα μειώνεται η παροχτευτική ικανότητα του αγωγού αλλά και λαμβάνουν χώρα επικαθήσεις στερεών στην περιοχή του στάσιμου αλμυρού νερού.
6. **Συνεχής λειτουργία του αγωγού.** Αποτελεί προϋπόθεση για την αποφυγή εισόδου θαλάσσιου νερού στον αγωγό. Η αρχή αυτή είναι δύσκολο να ικανοποιηθεί, ιδιαίτερα σε συστήματα διάθεσης που εξυπηρετούν μικρά αποχετευτικά συστήματα (μικρές αστικές περιοχές ή μικρές βιομηχανικές ή τουριστικές εγκαταστάσεις), λόγω της μεγάλης διακύμανσης της ημερήσιας παροχής των ακαθάρτων νερών.

7. **Η διάμετρος των ανυψωτήρων να είναι τουλάχιστον 100 mm ($d \geq 0.1m$),** ώστε να αποφεύγονται οι εμφράξεις από φυτικούς και ζωικούς θαλάσσιους οργανισμούς και να επιτρέπεται ο καθαρισμός τους. Επίσης προτείνεται $d \leq 0.2m$, ώστε να αποφεύγεται η εισχώρηση αδρομερούς υλικού στον διαχυτήρα, και η τυχαία συνακόλουθη απόφραξη των ανυψωτήρων. Η συνολική διατομή των ανυψωτήρων κατάντη τυχαίας διατομής του διαχυτήρα πρέπει να είναι μεταξύ 0.5 - 0.7 της διατομής αυτής. Οι παροχές εκροής από τα στόμια των ανυψωτήρων να είναι κατά το δυνατόν ομοιόμορφες.

$$0.5 \leq \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{D_n^2} \leq 0.7 \quad (22)$$

όπου d η διάμετρος του ανυψωτήρα (ίδια για όλους τους ανυψωτήρες), και D_n η διάμετρος του διαχυτήρα αμέσως ανάντη από τον n ανυψωτήρα (οι ανυψωτήρες αριθμούνται από το κατάντη άκρο του διαχυτήρα).

8. **Προσεκτικός σχεδιασμός του φρεατίου φόρτισης στην κεφαλή του αγωγού.** Το φρεάτιο φόρτισης πρέπει να εξασφαλίζει:

- (α) την καταστροφή της ενέργειας του αγωγού προσαγωγής και την ομαλή καθοδήγηση της ροής προς τον υποθαλάσσιο αγωγό,
- (β) την αποτροπή εισαγωγής αέρα στον αγωγό κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες, και
- (γ) ικανό φορτίο αυτοκαθαρισμού.

Για την καταστροφή της ενέργειας των λυμάτων στον αγωγό προσαγωγής χρησιμοποιείται θάλαμος στροβιλισμού (vortex drop) που καταλήγει σε χαλύβδινο σωλήνα επενδεδυμένο με εποξειδωτικό υλικό εσωτερικά και εξωτερικά. Στον πυθμένα του φρεατίου όπου προσκρούει η εισροή τοποθετείται μαντεμένα πλάκα πάχους τουλάχιστον 3 cm για την προστασία του σκυροδέματος. Στη σύνδεση του φρεατίου με τον υποθαλάσσιο αγωγό παρεμβάλλεται τεμάχιο μήκους τουλάχιστον 1.5 m από χάλυβα για καλύτερη πρόσφυση στο σκυρόδεμα του φρεατίου.

Όταν δεν υπάρχει δυνατότητα συνεχούς λειτουργίας του αγωγού, λόγω των μεγάλων διακυμάνσεων του φορτίου των λυμάτων, η είσοδος θαλάσσιου νερού στον αγωγό είναι αναπόφευκτη. Μείωση της ποσότητας του θαλάσσιου νερού που θα εισέλθει στον αγωγό μετά από διακοπή της παροχής μπορεί να γίνει με τη χρήση ηλεκτροκίνητου περιστρεφόμενου θυροφράγματος στην κεφαλή του αγωγού στο φρεάτιο φόρτισης. Όταν η στάθμη του φρεατίου κατέβει χαμηλότερα από ένα προκαθορισμένο σημείο (που βρίσκεται αρκετά πάνω από την

άντυγα του αγωγού), το θυρόφραγμα κλείνει αεροστεγώς. Το θυρόφραγμα ανοίγει πάλι όταν η στάθμη στο φρεάτιο ανέβει στο μέγιστο σημείο, οπότε το αυξημένο υδραυλικό φορτίο δίνει τη δυνατότητα αυτοκαθαρισμού του αγωγού και της εξαγωγής του θαλάσσιου νερού.

5.2. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΓΩΓΟΥ, ΔΙΑΧΥΤΗΡΑ ΚΑΙ ΕΚΡΟΩΝ

Παρουσιάζοντας τον τρόπο υπολογισμού της διάλυσης που επιτυγχάνεται από ένα πλούμιο έγινε φανερό ότι η ύπαρξη στο διαχυτήρα πολλών οπών (στομιών) εκροής μικρής σχετικά διαμέτρου, αυξάνει την αραίωση. Οι εκροές αυτές κατασκευάζονται στο τελευταίο τμήμα του αγωγού (που καλείται διαχυτήρας) και έχουν όλες την αυτή διάμετρο. Η απόσταση μεταξύ των ανυψωτήρων επηρεάζει τη μορφή της δέσμης των λυμάτων που εκρέουν από το διαχυτήρα και λαμβάνεται ίση με $H/4$, όπου H το μέσο βάθος στη θέση του διαχυτήρα. Η απόσταση αυτή ανάμεσα στους ανυψωτήρες εξασφαλίζει την απαραίτητη επικάλυψη μεταξύ των γειτονικών δεσμών που εκρέουν από τα στόμια του διαχυτήρα ώστε η συνολική εκροή να έχει τη μορφή της επιμήκουσ αξονοσυμμετρικής ροής, για την οποία υπολογίστηκε στα προηγούμενα η αρχική και η επόμενη αραίωση.

Η εκλογή από υδραυλική άποψη, του υποβρύχιου αγωγού, του διαχυτήρα και των ανυψωτήρων πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα εξής:

α) η ταχύτητα στον αγωγό και το διαχυτήρα να είναι κυμαίνεται από 0.75 έως 1.0 m/s (με ελάχιστη την $u_{\min}=0.5\text{m/s}$) με αρκετή συχνότητα για να εμποδίζεται η εναπόθεση των αιωρουμένων φερτών που περιέχουν τα υγρά απόβλητα. Η μέγιστη ταχύτητα στον αγωγό και τον διαχυτήρα να είναι μικρότερη από 2.0 m/s ώστε οι απώλειες φορτίου να μην γίνονται απαγορευτικές για την προτεινόμενη λύση. Η ταχύτητα στον αγωγό και το διαχυτήρα δεν είναι σταθερή σε όλο το χρόνο λειτουργίας του συστήματος διάθεσης αφού η παροχή των ακαθάρτων συνήθως αυξομειώνεται στη διάρκεια του 24ώρου και κατά τις διάφορες εποχές του έτους. Αποτέλεσμα αυτών των μεταβολών είναι και η διακεκομμένη λειτουργία του φρεατίου φόρτισης.

β) η εκροή από τις οπές (θυρίδες) να είναι ομοιόμορφη, που εξασφαλίζεται με την ίση απόσταση μεταξύ των ανυψωτήρων και την ενιαία κλίση του διαχυτήρα. Η διάμετρος της θυρίδας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0.10 m (συνήθως εκλέγονται αγωγοί με διαμέτρους $0.15 \div 0.20$ m), ενώ η συνολική επιφάνεια των θυρίδων πρέπει να είναι μικρότερη από την επιφάνεια της διατομής του διαχυτήρα. Χρησιμοποιείται η σχέση (22) για τον υπολογισμό

των διατομών του διαχυτήρα ανάμεσα στους διαδοχικούς ανυψωτήρες, αποφεύγοντας εφόσον είναι δυνατόν τις πολλές αλλαγές διατομής.

γ) η θάλασσα δεν πρέπει να εισέρχεται μέσα στον διαχυτήρα, ώστε να μην δημιουργείται μέσα στο διαχυτήρα ακίνητη στρώση θαλάσσιου νερού. Για την εκπλήρωση του κριτηρίου αυτού υπολογίστηκε ότι ο πυκνομετρικός αριθμός Froude πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 0.59. Συνήθως ως ελάχιστη τιμή λαμβάνεται $F = 1$.

δ) οι θυρίδες εκροής σχεδιάζονται ώστε να εξασφαλίζουν τη συνεχή εκροή των λυμάτων στη θάλασσα. Έτσι ανάλογα του πως έχει ο διαχυτήρας τοποθετηθεί (πάνω στο θαλάσσιο πυθμένα ή σε εκσκαφή) οι θυρίδες βρίσκονται σε σωλήνες που ξεκινούν από τον διαχυτήρα και έχουν ελάχιστο ύψος περίπου 1 m (ανυψωτήρες).

5.3. ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΑΧΥΤΗΡΑ

Ο υδραυλικός υπολογισμός του υποβρυχίου αγωγού, του διαχυτήρα και των θυρίδων εκροής ξεκινά από την πιο απομακρυσμένη θυρίδα (στο κατάντη άκρο του διαχυτήρα) και προχωρά προς τα ανάντη (στη συνέχεια γίνεται η παραδοχή ότι από κάθε ανυψωτήρα εκρέει μια δέσμη λυμάτων, δηλ. υπάρχει μια θυρίδα εκροής που έχει την ίδια διάμετρο με τον ανυψωτήρα). Η παροχή από κάθε θυρίδα υπολογίζεται ξεχωριστά κάνοντας την υπόθεση ότι η ροή μιας θυρίδας δεν επηρεάζει τη ροή στις γειτονικές θυρίδες και αντίστροφα. Η ικανοποίηση της προηγούμενης παραδοχής γίνεται εφόσον η απόσταση μεταξύ των θυρίδων είναι μεγαλύτερη από $10 \cdot D$, όπου D η διάμετρος της θυρίδας. Η συνήθης πρακτική (βλ. προηγούμενα) είναι η απόσταση μεταξύ των ανυψωτήρων να λαμβάνεται περίπου ίση με το $\frac{1}{4}$ του βάθους στη θέση του διαχυτήρα (ανάλογα και με τα τεμάχια του σωλήνα που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του διαχυτήρα).

Η εξίσωση διατήρησης της ενέργειας (Bernoulli) μεταξύ δύο διαδοχικών ανυψωτήρων n και $n+1$ του διαχυτήρα (μετρώντας από το κατάντη άκρο του διαχυτήρα), γράφεται ως εξής:

$$E_{n+1} = E_n + \Delta H_{fn} + \Delta p / \rho_o \Delta z_n \quad \text{και} \quad \Delta H_{fn} = f s V_n^2 / (2gD_n) \quad (23)$$

όπου, E_n είναι το ολικό ύψος ενέργειας στη θέση n του διαχυτήρα, ΔH_{fn} είναι οι γραμμικές απώλειες ενέργειας στο διαχυτήρα μεταξύ των σημείων n και $n+1$ (υπολογίζονται κατά Prandtl-Colebrook), Δp είναι η διαφορά πυκνότητας θαλάσσιου νερού και λυμάτων, ρ_o είναι η πυκνότητα των λυμάτων, Δz η υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο διαδοχικών σημείων του

διαχυτήρα, $s = H/4$ η μεταξύ τους απόσταση, f ο συντελεστής τριβών Darcy, D_n η διάμετρος του διαχυτήρα αμέσως ανάντη από τον n ανυψωτήρα (δηλ. στο τμήμα μεταξύ των διαδοχικών ανυψωτήρων n και $n+1$) και V_n η ταχύτητα ροής στο τμήμα αυτό του διαχυτήρα. Ο συντελεστής τριβών Darcy, για πλήρως ανεπτυγμένη τυρβώδη ροή παραλείπεται ο όρος που εμπεριέχει τον αριθμό Reynolds Re και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{k_s}{3.7065d} \right],$$

όπου k_s η απόλυτη τραχύτητα του διαχυτήρα εξαρτώμενη κυρίως από το υλικό του αγωγού.

Επίσης συνδέεται με τον συντελεστή Manning, n , με τη σχέση:

$$f = n^2 8g / R^{1/3} = 124.58 \cdot n^2 / D^{1/3},$$

όπου R η υδραυλική ακτίνα του αγωγού με τιμή $R=D/4$.

Η παροχή q_n εκροής από τον ανυψωτήρα στη θέση n υπολογίζεται από τη σχέση [11]:

$$q_n = C_D (\pi D^2/4) [2gE_n]^{1/2}$$

όπου ο συντελεστής παροχής, C_D υπολογίζεται για την περίπτωση ομαλά προσαρμοσμένου ανυψωτήρα (bell-mouthed port) από τη σχέση του McNown (1954) [11]:

$$C_D = 0.975(1 - V_n^2/2gE_n)^{3/8}$$

ενώ για την περίπτωση του απότομα προσαρμοσμένου ανυψωτήρα (sharp edged port) από τη σχέση των Fischer et al. (1979) [11]:

$$C_D = 0.63 - 0.58(V_n^2/2gE_n)$$

Επιδίωξη της διαστασιολόγησης είναι το απαιτούμενο πιεζομετρικό ύψος στο φρεάτιο φόρτισης για την παροχή σχεδιασμού, με μέση στάθμη θάλασσας, να μην υπερβαίνει το υψόμετρο του εδάφους πριν την ακτή (για την αποφυγή αντλιοστασίου). Ταυτόχρονα πρέπει:

(α) Ο πυκνομετρικός αριθμός Froude, $F_o = U_o / (g'd)$, κάθε στομίου ανυψωτήρα να είναι μεγαλύτερος του 1. Στην περίπτωση που, για τους λόγους που εξηγήθηκαν προηγουμένα, προβλέπεται διακεκομμένη λειτουργία του φρεατίου φόρτισης, η ανάγκη για απομάκρυνση του θαλάσσιου νερού που θα έχει εισέλθει στο διαχυτήρα, όταν σταμάτησε η

λειτουργία του φρεατίου, θα πρέπει να εξασφαλίζεται το απαραίτητο φορτίο ώστε ο πυκνομετρικός αριθμός Froude στον πλέον απομακρυσμένο ανυψωτήρα να είναι μεγαλύτερος από την τιμή, [10]:

$$F_o^2 = \frac{2h}{d} \left[1 + \frac{fh}{d} + \left(\frac{d}{D} \right)^4 (2\alpha_m + k - 1) \right]^{-1} \quad (24)$$

όπου d η διάμετρος του ανυψωτήρα, η D διάμετρος του διαχυτήρα αμέσως ανάντη του υπό εξέταση ανυψωτήρα, h το ύψος του ανυψωτήρα πάνω από το διαχυτήρα, f ο συντελεστής τριβών Darcy για τη ροή στον ανυψωτήρα, α_m ο συντελεστής ορμής και k ο συντελεστής τοπικών απωλειών. Για το συντελεστή ορμής προτείνεται [10] η τιμή $\alpha_m = 1.18 \pm 0.06$ και για το συντελεστή τοπικών απωλειών $k = 2.69 \pm 0.16$. Ενώ για το συντελεστή γραμμικών απωλειών f , προτείνονται δύο όρια τιμών εξαρτώμενα από το λόγο του ύψους του ανυψωτήρα προς τη διάμετρό του [10], για $h/d = 0.64$ είναι $f = 0.051 \pm 0.005$ και για $h/d = 27.7$ είναι $f = 0.037 \pm 0.005$.

(β) Η ταχύτητα στο διαχυτήρα να είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη ταχύτητα V_L , ώστε να μην παρατηρείται απόθεση του αιωρούμενου υλικού που μεταφέρεται με τα λύματα. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς του Ackers [11], η ελάχιστη αυτή ταχύτητα υπολογίζεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\begin{aligned} V_L &= 0.465 D^{0.078} + 193 D^{0.593} C_V^{0.515} && \text{για } d_{50} = 1.0 \text{ mm} \\ V_L &= 0.381 D^{0.061} + 68.9 D^{0.511} C_V^{0.450} && \text{για } d_{50} = 0.5 \text{ mm} \\ V_L &= 0.327 D^{0.050} + 29.1 D^{0.442} C_V^{0.390} && \text{για } d_{50} = 0.3 \text{ mm} \\ V_L &= 0.293 D^{0.039} + 13.9 D^{0.368} C_V^{0.329} && \text{για } d_{50} = 0.2 \text{ mm} \\ V_L &= 0.240 D^{0.022} + 4.00 D^{0.249} C_V^{0.227} && \text{για } d_{50} = 0.1 \text{ mm} \end{aligned}$$

όπου C_V η συγκέντρωση των στερεών (όγκος στερεών προς όγκο υγρού), d_{50} η διάμετρος των φερτών και D η διάμετρος του αγωγού.

(γ) Ο λόγος της συνολικής διατομής των στομιών των ανυψωτήρων κατάντη μίας διατομής αγωγού προς τη διατομή του αγωγού να είναι μεταξύ 0.5 και 0.7 (Σχέση 22), σύμφωνα με τη διερεύνηση του Grace (1978) [11], ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη ροή από τους ανυψωτήρες.

5.4. ΦΡΕΑΤΙΟ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Σύμφωνα με τους προηγούμενους υδραυλικούς υπολογισμούς, το αναγκαίο φορτίο για τη λειτουργία του διαχυτήρα για την παροχή σχεδιασμού είναι:

$$H_{\Phi} = E_T + \Delta\rho/\rho_w z_T + \Delta H$$

όπου E_T η ενέργεια στη θέση του τελευταίου (ανάντη) ανυψωτήρα, z_T το βάθος στην έξοδο του τελευταίου ανυψωτήρα (από τη στάθμη της μέγιστης πλήμμης) και ΔH οι απώλειες στον αγωγό από τον τελευταίο ανυψωτήρα μέχρι το φρεάτιο φόρτισης, οι οποίες δίνονται από:

$$\Delta H = 1.1 \cdot (f \cdot L/D \cdot V^2/2g) = 1.1 \cdot (n^2 \cdot V^2 \cdot L/R^{4/3})$$

όπου $f = n^2 8g/R^{1/3}$. Ο συντελεστής 1.1 αντιστοιχεί σε προσαύξηση 10% των γραμμικών απωλειών για κάλυψη και των τοπικών απωλειών.

Η είσοδος αέρα στον αγωγό αποκλείεται με τον καθορισμό ελάχιστης στάθμης λειτουργίας του φρεατίου φόρτισης, που βρίσκεται αρκετά πάνω από την άντυγα του αγωγού. Η άντυγα του αγωγού στο φρεάτιο φόρτισης πρέπει να είναι τοποθετημένη κάτω από τη στάθμη της κατωτάτης ρηχίας.

Οι μεγάλες διακυμάνσεις του φορτίου επιβάλλουν τη διακοπτόμενη λειτουργία του αγωγού που συνεπάγεται την είσοδο θαλάσσιου νερού στον αγωγό. Μείωση της ποσότητας του θαλάσσιου νερού που θα εισέλθει στον αγωγό μετά από διακοπή της παροχής μπορεί να γίνει με τη χρήση ηλεκτροκίνητου περιστρεφόμενου θυροφράγματος (butterfly) στην κεφαλή του αγωγού στο φρεάτιο φόρτισης, που η λειτουργία του είναι επίσης διακοπτόμενη.

Όταν η στάθμη του φρεατίου κατέβει χαμηλότερα από ένα προκαθορισμένο σημείο (που βρίσκεται αρκετά πάνω από την άντυγα του αγωγού), το θυρόφραγμα θα κλείνει αεροστεγώς. Το θυρόφραγμα θα ανοίγει πάλι όταν η στάθμη στο φρεάτιο ανέβει στο μέγιστο σημείο, οπότε το αυξημένο υδραυλικό φορτίο θα δίνει τη δυνατότητα αυτοκαθαρισμού του αγωγού και εξαγωγής του θαλάσσιου νερού (saline intrusion removal).

Για να λειτουργήσει ο προτεινόμενος μηχανισμός ορθά απαιτούνται:

(1) Ικανή χωρητικότητα του φρεατίου φόρτισης ώστε η ηλεκτροκίνητη βάννα να έχει τη δυνατότητα να κλείνει αεροστεγώς σε χρόνο 45-60 sec (ή και μεγαλύτερο για σημαντικά

μεγάλους αγωγούς). Αυτό απαιτείται για την αποφυγή υδραυλικού πλήγματος, που μπορεί να καταστρέψει τον αγωγό.

Για στιγμιαίο κλείσιμο της βάννας, η πρόσθετη πίεση είναι $\Delta H = c\Delta V/g$, όπου ΔV είναι η μεταβολή της ταχύτητας του νερού στη βάννα την στιγμή του κλεισίματος. Ο χρόνος που απαιτείται ώστε μία διαταραχή (δηλ. μεταβολή πίεσης ή αλλαγή παροχής) που δημιουργείται στην κεφαλή του αγωγού να φθάσει στο τέλος του και να επιστρέψει στο σημείο εκκίνησης, είναι $T = 2L/c$. Όπου L είναι το συνολικό μήκος του αγωγού και διαχυτήρα, c η ταχύτητα διάδοσης των πιεστικών κυμάτων στον αγωγό, που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$c = [\rho (1/k + D/E_s)]^{-1/2}$$

όπου $E = 9000 \text{ kp/cm}^2$, $k = 2 \cdot 10^8 \text{ kp/cm}^2$, D η εσωτερική διάμετρος αγωγού, και s (mm) το πάχος του τοιχώματος του αγωγού.

(2) Ικανή χωρητικότητα του φρεατίου φόρτισης ώστε να μειώνεται στο ελάχιστο η λειτουργία της βάννας. Έτσι αποφεύγεται η γρήγορη φθορά της βάννας αλλά και μειώνονται οι πιθανότητες μη αεροστεγούς κλεισίματος λόγω εγκλωβισμού στερεών, κλπ. Η χωρητικότητα του φρεατίου δεν πρέπει όμως να είναι υπέρμετρη ώστε τα λύματα να παραμένουν σ' αυτό παραπάνω από 10 min, οπότε και υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας δυσάρεστων οσμών.

Ο υπολογισμός του χρόνου που απαιτείται για να κατέλθει η στάθμη από το h_{\max} στο h_{\min} σε φρεάτιο διατομής A γίνεται από τη σχέση:

$$t = - \int_{h_{\max}}^{h_{\min}} Adh/Q(h) = \int_{h_{\min}}^{h_{\max}} \frac{A}{\frac{\pi D_{\text{pipe}}^2}{4} \sqrt{2g}} \cdot \frac{1}{\sqrt{h}} dh = \frac{4A}{\pi D_{\text{pipe}}^2 \sqrt{2g}} \int_{h_{\min}}^{h_{\max}} \frac{1}{\sqrt{h}} dh = \frac{4A}{\pi D_{\text{pipe}}^2 \sqrt{2g}} \cdot \left[2(\sqrt{h_{\max}} - \sqrt{h_{\min}}) \right]$$

Μετά από ένα διάστημα αιχμής, μπορεί να θεωρηθεί ότι η παροχή προς το φρεάτιο από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας μηδενίζεται, οπότε η παροχή $Q(h)$ στην παραπάνω σχέση είναι η παροχή προς τον αγωγό, και είναι συνάρτηση της στάθμης h των λυμάτων στο φρεάτιο. Συνήθως $Q(h) = A_{\text{αγωγ}} \cdot u(h) = \frac{\pi D_{\text{αγωγ}}^2}{4} \cdot \sqrt{2gh}$.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η διακοπόμενη λειτουργία του αγωγού καθιστά αναπόφευκτη την είσοδο θαλάσσιου νερού στο διαχυτήρα. Θαλάσσιο νερό θα εισέλθει στον αγωγό αμέσως μετά τη διακοπή της παροχής μετά το κλείσιμο του θυροφράγματος.

Για να αποφεύγεται η είσοδος θαλάσσιου νερού στο διαχυτήρα, στο διάστημα που το θυρόφραγμα είναι ανοικτό θα πρέπει ο ελάχιστος πυκνομετρικός αριθμός Froude είναι μεγαλύτερος του 1. Με κριτήριο αυτό, υπολογίζεται η ελάχιστη στάθμη λειτουργίας του φρεατίου που αντιστοιχεί στην ελάχιστη παροχή λειτουργίας.

Το θυρόφραγμα θα ανοίξει αφού το φρεάτιο φόρτισης ανέλθει στη μέγιστη στάθμη λειτουργίας ώστε να υποβοηθηθεί ο αυτοκαθαρισμός του αγωγού από τυχόν επικαθήσεις και η εξαγωγή του στάσιμου θαλάσσιου νερού, που είχε εισέλθει όταν σταμάτησε η λειτουργία του φρεατίου φόρτισης (ικανοποίηση της εξίσωσης (24)).

6. ΑΓΩΓΟΙ ΑΠΟ HDPE

Η επιλογή υλικού HDPE (υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο) για τον αγωγό που εφαρμόζεται σχεδόν αποκλειστικά για αγωγούς διάθεσης λυμάτων στην Ελλάδα έχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων υλικών:

(α) Παρουσιάζει καλή αντιδιαβρωτική προστασία εσωτερικά και εξωτερικά.

(β) Έχει πολύ λείο τοίχωμα που συνεπάγεται μικρές υδραυλικές απώλειες αλλά και μικρότερη πιθανότητα προσκόλλησης βιολογικών οργανισμών.

(γ) Έχει μεγάλη ευκαμψία, που σημαίνει ότι μπορεί να υποστεί σημαντική κάμψη κατά την τοποθέτηση χωρίς ιδιαίτερη καταπόνηση. Η ευκαμψία προσδίδει και το πρόσθετο πλεονέκτημα της παραλαβής χωρίς ζημιά απροσδόκητων φορτίων που δεν έχουν προβλεφθεί.

(δ) Η συγκόλληση των τεμαχίων του αγωγού γίνεται στην ξηρά (θερμοσυγκόλληση), που σημαίνει μεγαλύτερη εξασφάλιση από αστοχία.

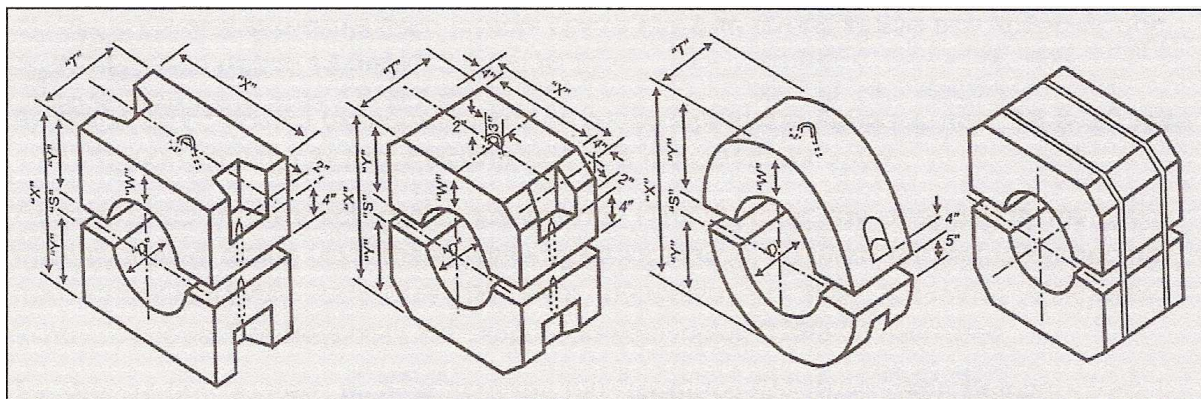
(ε) Είναι ελαφρύς (ελαφρύτερος από το θαλάσσιο νερό), που σημαίνει ότι επιτυγχάνεται ευκολότερα η ακριβής τοποθέτησή του κατά τις προδιαγραφές της μελέτης στο δύσκολο περιβάλλον της θάλασσας.

(στ) Πρόσθετο πλεονέκτημα του ελαφρού υλικού είναι ότι σε περίπτωση μελλοντικής ζημιάς είναι δυνατόν ο αγωγός, γεμίζοντας με αέρα, να μεταφερθεί εύκολα στην επιφάνεια για επιδιορθώσεις.

Η διεθνής εμπειρία για αγωγούς από HDPE δείχνει ότι έχουν πολύ καλή συμπεριφορά στο χρόνο. Οι ζημιές που έχουν παρουσιασθεί σποραδικά οφείλονται αποκλειστικά στην κακή μεταχείριση του αγωγού κατά την τοποθέτηση, όπως χτυπήματα από αιχμηρά αντικείμενα και λίθους πλήρωσης.

6.1. ΕΡΜΑΤΩΣΗ ΑΓΩΓΩΝ ΑΠΟ HDPE

Ο αγωγός από HDPE απαιτεί ερμάτωση ώστε, πλήρης με αέρα, να γίνει βαρύτερος από το θαλάσσιο νερό. Ιστορικά χρησιμοποιήθηκαν μεμονωμένα τετραγωνικά ή κυλινδρικά έρματα από οπλισμένο σκυρόδεμα (Σχ.8). Η λύση αυτή είναι η προφανής και λιγότερο δαπανηρή αλλά στην πράξη έχει παρουσιάσει προβλήματα όπως θραύση του αγωγού λόγω ανομοιόμορφου φορτίου, μετακίνηση των μεμονωμένων ερμάτων κατά μήκος του αγωγού λόγω απώλειας συνοχής με τον αγωγό, κλπ. Έτσι διεθνώς χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο η λύση της συνεχούς ερμάτωσης του αγωγού με δομικό πλέγμα και έγχυση σκυροδέματος.



Σχ. 8 Τυπικές Διατομές Ερμάτων σε υποβρύχιους αγωγούς διάθεσης λυμάτων

Η συνεχής ερμάτωση παρουσιάζει τα εξής σημαντικά πλεονεκτήματα:

(α) Ομοιόμορφη κατανομή φορτίου έρματος στον αγωγό. Αποφεύγεται έτσι η καταπόνηση του αγωγού με πρόσθετο σημειακό φορτίο (κάμψης) λόγω έρματος.

(β) Προστασία ολόκληρου του αγωγού από κρούσεις αιχμηρών αντικειμένων κατά την τοποθέτηση (εργαλεία, λιθορριπή προστασίας) αλλά και κατά τη λειτουργία (άγκυρες πλοίων) σε περίπτωση που απωλεσθεί η επίχωση για οποιοδήποτε λόγο κατά τη διάρκεια ζωής του έργου.

Η ερμάτωση αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα (περιτύλιξη αγωγού με συρματόπλεγμα ηλεκτροσυγκολλητό με τετράγωνους βρόγχους και έγχυση σκυροδέματος B300) ικανού πάχους ώστε να προσδίδει στον αγωγό ολικό βάρος στη θάλασσα περίπου 20 kp/m. Με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται η καθέλκυση και πόντιση του αγωγού χωρίς να επιπονηθεί με σημαντικές καταπονήσεις.

6.2. ΚΑΘΕΛΚΥΣΗ ΚΑΙ ΠΟΝΤΙΣΗ ΑΓΩΓΩΝ ΑΠΟ HDPE

Η διαδικασία καθέλκυσης και πόντισης του αγωγού έχει κύριο χαρακτηριστικό την "απαλή" μεταχείριση του αγωγού ώστε να ελαχιστοποιηθεί η καταπόνησή του κατά την τοποθέτηση. Η καθέλκυση του αγωγού γίνεται μετά τη θερμοσυγκόλληση 12-μετρων εργοστασιακών τεμαχίων σε μέγιστο μήκος που εξαρτάται και από το διαθέσιμο εργοταξιακό χώρο. Τα διαδοχικά τεμάχια συνήθως συνδέονται με φλάντζες από πλαστικοποιημένα χάλυβα και γίνεται έλεγχος πίεσης πριν από την καθέλκυση. Η καθέλκυση γίνεται από ειδικά κατασκευασμένη ράμπα από βαγόνια σε σιδηροτροχιές έτσι ώστε να αποφευχθούν περιττές επιπονήσεις στον αγωγό και το έρμα. Πριν από την καθέλκυση τοποθετούνται στον αγωγό πλωτήρες (από διογκωμένη πολυστερίνη) και αερόσακοι με ικανή ανωστική δύναμη ώστε ο

κενός αγωγός να επιπλέει και ταυτόχρονα να μη δημιουργούνται σημαντικές καμπτικές καταπονήσεις λόγω ιδίου βάρους.

Μετά τη μεταφορά και τοποθέτηση του τεμαχίου κατά μήκος της χάραξης, ο αγωγός ποντίζεται με προοδευτική εξαέρωση των αερόσακων και απομάκρυνση των πλωτήρων. Ο αγωγός βυθίζεται κενός μέχρι του βάθους που επιτρέπει η αντοχή του σωλήνα σε ρήξη υπό την επίδραση εξωτερικής πίεσης (buckling strength). Σε μεγαλύτερα βάθη το καθελκόμενο τεμάχιο αποσφραγίζεται στα άκρα του ώστε να γεμίσει με νερό πριν από την πόντιση.

Στο τέλος του Κεφαλαίου 6 προτείνονται σε πίνακα διάφορες μέθοδοι καθέλκυσης και πόντισης αγωγών ανάλογα με τις εκάστοτε επικρατούσες συνθήκες.

6.3. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΓΩΓΩΝ ΑΠΟ HDPE ΣΤΟΝ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΥΘΜΕΝΑ

Στις ελληνικές θάλασσες είναι απαραίτητο ο αγωγός να τίθεται σε όρυγμα με επαρκή επίχωση για την αποφυγή καταστροφής του λόγω σύρσης αγκυρών και ελκόμενων "πορτών" από τράτες, ακόμα και εκτός της ζώνης θραύσης των κυματισμών. Για την ίδιο λόγο είναι απαραίτητη και η πρόσθετη προστασία αγωγού από HDPE με σπλισμένο σκυρόδεμα αφού η απλή επίχωση δεν προσδίδει επαρκή προστασία. Στη ζώνη θραύσης των κυματισμών απαιτείται θωράκιση του ορύγματος του αγωγού ικανή να παραλάβει χωρίς καταστροφή δυνάμεις του μέγιστου κυματισμού με περίοδο επαναφοράς 50 χρόνια.

Σε περίπτωση χαλαρού πυθμένα η κατάλληλη θωράκιση απαιτείται να είναι "εύκαμπτη" ώστε να μπορεί να παρακολουθεί τις εποχιακές παραμορφώσεις του πυθμένα χωρίς κίνδυνο αστοχίας. Προτιμάται ο συνδυασμός κυβόλιθων σκυροδέματος συνδεδεμένων με γεώπλεγμα από υλικό HDPE που τοποθετούνται πάνω σε φίλτρο γεωφάσματος που χρησιμεύει για την αποφυγή έκπλυσης του υποκείμενου υλικού.

Σε βραχώδη εδάφη προτιμώνται φυσικοί ογκόλιθοι μεγάλων διαστάσεων που τοποθετούνται πάνω από το υλικό πλήρωσης του ορύγματος του αγωγού. Οι φυσικοί ογκόλιθοι συχνά είναι άμεσα διαθέσιμοι από τα υλικά εκβραχύνσεων για την κατασκευή του ορύγματος, όπως και το υλικό πλήρωσης του ορύγματος.

6.4. ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΩΣΗ

Σε χαλαρά εδάφη αποφεύγεται η εκσκαφή του ορύγματος με συμβατικά μέσα λόγω της ταχύτερης επανεπίχωσης του ορύγματος που συχνά συμβαίνει πριν την πόντιση και τοποθέτηση

του αγωγού. Προτιμάται η μέθοδος εκσκαφής μετά την πόντιση (post trenching) κατά την οποία πρώτα ποντίζεται ο αγωγός κατά μήκος της χάραξης και κατόπιν ειδικό εκσκαπτικό μηχάνημα προχωρεί κατά μήκος του αγωγού και με υδροβολή και επανεπίχωση επιτυγχάνει την ταφή.

Σε βραχώδη εδάφη επιδιώκεται η κατασκευή ορύγματος με όσο το δυνατόν περισσότερο κατακόρυφες παρειές. Η εκσκαφή του βραχώδους πυθμένα γίνεται με χρήση εκρηκτικών που τοποθετούνται ανά 5 m περίπου στον πυθμένα στο προδιαγεγραμμένο μήκος του αγωγού. Η ενεργοποίηση των εκρηκτικών γίνεται διαδοχικά από την ακτή προς τη θάλασσα με ελάχιστο χρόνο μεταξύ των διαδοχικών πυροδοτήσεων. Όρυγμα βάθους 2 m περίπου είναι συνήθως επαρκές. Η τελική διαμόρφωση του ορύγματος στις επιθυμητές διαστάσεις γίνεται από δύτες με χρήση κρουστικού πιστολιού.

Ο πυθμένας του ορύγματος διαμορφώνεται με στρώμα άμμου πάχους 15-20 cm πάνω στο οποίο εδράζεται ο αγωγός. Η επίχωση του ορύγματος με διαβαθμισμένο υλικό γίνεται με δύτες ώστε να αποφευχθεί η διασπορά και ανάμιξη των διαφόρων στρώσεων. Ιδιαίτερα οι μεγάλοι βάρους φυσικοί ογκόλιθοι θωράκισης συνιστάται να σύρονται προς στο όρυγμα με σκάφος ώστε να αποφευχθεί η βύθισή τους στο υλικό υποδομής.

Κατά την κατασκευή η αντιστοιχία βάθους θάλασσας-βάρους ογκολίθων ή κυβόλιθων σκυροδέματος γίνεται με μέτρηση της στάθμης της στέψης της θωράκισης.

6.5. ΔΙΑΧΥΤΗΡΑΣ

Ο διαχυτήρας πρέπει να είναι επίσης επιχωμένος και να έχει συνεχές έρμα (με ικανές διακοπές για τους ανυψωτήρες). Οι ανυψωτήρες είναι προτιμότερο να έχουν μορφή «Γ». Η διεύθυνση του οριζόντιου στελέχους του «Γ» (στόμιο) εναλλάσσεται αλλά είναι πάντοτε εγκάρσια στο διαχυτήρα. Το κατακόρυφο στέλεχος του «Γ» πρέπει να εξέχει τουλάχιστον 0.80 cm από τον πυθμένα για την αποφυγή εμφράξεων λόγω μεταφοράς φερτών υλών. Η σύνδεση του στομίου με το κατακόρυφο στέλεχος του «Γ» γίνεται με ανοξείδωτη φλάντζα και πλαστικά μπουλόνια που σε περίπτωση ζημιάς (π.χ. εμπλοκή δίχτων) θραύονται ώστε να περιορίζεται η ζημιά στο συγκεκριμένο ανυψωτήρα. Ο διαχυτήρας πρέπει να καταλήγει σε φλάντζα με στόμιο ώστε να παρέχεται η δυνατότητα έκπλυσης του αγωγού όποτε υπάρχει ανάγκη. Το άκρο του διαχυτήρα με τη φλάντζα βρίσκεται πάντοτε έξω από το όρυγμα.

Για πρόσθετη προστασία του διαχυτήρα από δίχτυα, άγκυρες, "πόρτες" κλπ., πρέπει να τοποθετείται διάταξη σιδηροδοκών IPB 100 αγκυρωμένων σε τεχνητούς ογκόλιθους βάρους W=3tons. Στη επιφάνεια της θάλασσας τοποθετείται σημαντήρας στο άκρο του διαχυτήρα.

ΠΟΝΤΙΣΗ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

ΜΕΘΟΔΟΣ	ΚΑΤΑΛΛΗΛΟ ΥΛΙΚΟ ΑΓΩΓΟΥ	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ / ΜΗΚΟΥΣ	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ (H _s = ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΚΥΜΑΤΟΣ)	ΠΑΡΑΡΤΗΡΙΑ	ΜΕΙΩΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
ΤΡΑΒΗΓΜΑ ΣΤΟΝ ΒΥΘΟ (BOTTOM PULL)	Χαλαβδόσωληνες PE / GRP είναι δυνατά	Χάλαβδος: 3m διάμ. (συνήθως 1.5m) μήκη έως 5kp Πλαστικοί: ως 1m διάμ. μήκος 100-250m	Κατάλληλη για συνθήκες ανοικτής θάλασσας, περιοριζόμενη από την ευστάθεια του αγωγού H _s έως 3m για χάλυβα H _s έως 1m για πλαστικό	Πολύ αποτελεσματική και εύκολη με χαμηλά ποσοστά οφθαλμότητας. Κατασκευή και έλεγχοι του αγωγού στην ξηρά. Τοποθέτηση ταχεία και δυνατάτητα τραβήγματος μεγάλων μήκων	Απαιτεί εργοταξιακό χώρο και «διόδρομο καθέλευσης» δίπλα στη χάρυξη του αγωγού εκβολής
ΞΕΤΥΛΙΜΑ ΑΠΟ ΦΟΡΤΗΓΙΑ (REEL BARGE)	GRP σε προστατευμένες περιοχές	Διάμετρος 0.3m (δυνατότητα πόντισης πολλαπλών σωλήνων). Κανείς περιορισμός στο μήκος	Απαιτούνται σχετικά καλές συνθήκες H _s από 0.5-1.5m		
ΣΥΝΔΕΣΗ ΠΟΝΤΙΣΗ ΑΠΟ ΦΟΡΤΗΓΙΑ (LAY BARGE)	Χαλαβδόσωληνες PE σε προστατευμένες περιοχές GRP	Κανένα όριο σε μήκη ή διάμετρο	Μέθοδος γενικά περιοριζόμενη από το μέγεθος της φορτηγίδας και του εξοπλισμού της. Για PE η ευστάθεια του αγωγού είναι κρίσιμος παράγον και απαιτεί ηρεμία θάλασσας H _s από 0.5-1.5m	Απαιτείται μικρός εργοταξιακός χώρος. Μπορούν να ποντισθούν μεγάλα μήκη σωλήνων.	Διαπληρής θαλάσσιος εξοπλισμός. Πιθανότητα ζημιών στον αγωγό κατά την πόντιση. Δυσκολία στην κατασκευή συνεχούς εσωτερικής επένδυσης (αντιδιαβρωτικής προστασίας).
ΠΛΕΥΣΗ & ΒΥΘΙΣΗ (FLOAT & LOWER)	PE / GRP για προστατευμένες περιοχές, Χάλυβας για εκτεθειμένες	Κανένας ειδικός περιορισμός. Διάμετροι έως 3m	Η θάλασσα γενικά πρέπει να είναι ήρεμη χωρίς παλληρροακά ρεύματα κατά την διάρκεια της βύθισης H _s έως 0.5m	Εργοταξιακός χώρος όχι απαραίτητα κοντά στη θέση του αγωγού εκβολής. Γρήγορη διαδικασία βύθισης.	Πολλοί κίνδυνοι κατά τη διάρκεια της ριμοβολής και της βύθισης. Δύσκολο ο έλεγχος μεγάλων μήκων. Εφαρμογή κυρίως σε μικρά βάθη.
ΒΥΘΙΣΜΕΝΗ ΣΦΡΑΓΙΤΑ (IMMERSED TUBE)	Προεντεταμένοι αγωγοί σπλισμένο σκυρόδεμα	Συνήθως αγωγοί μεγάλης διαμέτρου. Ελάχιστη διάμ. 1m. Μήκη προεντεταμένων τμημάτων μέχρι και 100m. Κανείς περιορισμός στο ολικό μήκος του αγωγού	Απαιτούνται συνεχώς συνθήκες ηρεμίας αν και με μεγάλα πλάτη και ειδικό εξοπλισμό μπορούν να αντιμετωπισθούν μέσες συνθήκες ανοικτής θάλασσας. H _s έως 0.5m	Επιτρέπει την εγκατάσταση αγωγών πολύ μεγάλης διαμέτρου. Το μέγιστο μήκος των κομματιών περιορίζει τον χρόνο τοποθέτησης, ενώ το εργοτάξιο μπορεί να είναι μακριά από τη θέση του αγωγού εκβολής.	Απαιτεί πολύ εξειδικευμένο θαλάσσιο εξοπλισμό. Εφαρμόζεται μόνο σε προστατευμένες θαλάσσιες περιοχές. Απαιτεί μεγάλο εργοταξιακό χώρο.
ΣΩΛΗΝΑ - ΣΩΛΗΝΑ (PIPE BY PIPE)	Όλα τα υλικά. Σκυρόδεμα, GRP, PE και χάλυβας	Όλα τα μεγέθη και μήκη μπορούν να χειρισθούν. Τυπικά μεγέθη είναι 3m διάμ. με 8m μήκος	Συνεχώς συνθήκες ηρεμίας αν και με χρήση μεγάλων πλοίων και ειδικού εξοπλισμού μπορούν να αντιμετωπισθούν μέσες ανοικτής θάλασσας. H _s έως 0.5m	Ευέλικτη μέθοδος για σωλήνες μικρού μήκους και μεγάλης διαμέτρου. Δεν απαιτεί εργοταξιακό χώρο δίπλα στη θέση του αγωγού εκβολής.	Αργή και επίπονη θαλάσσια επιχείρηση, εξαρτώμενη απόλυτα από τον καιρό. Απαιτείται ειδικός εξοπλισμός και μεγάλα πλοία. Εργοτάξιο για κατασκευή μεγάλων σωλήνων.

Πηγή : TEE

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abraham, G., 1963. "Jet diffusion in stagnant ambient fluid", Delft Hydraulics Laboratory, Publ. 29.
2. Baumgartner D.J., Frick W.E. & Roberts P.J.W., 1994. "Dilution models for Effluent discharges", EPA/600/R-94/086.
3. California Ocean Plan, Water Control Plan, Ocean Waters of California, State of California Water Resources Control Board, March 22, 1990, pp. 23.
4. Fisher, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y, Imberger, J., Brooks, N., 1979. "Mixing in Inland and Coastal Waters", Academic Press, New York.
5. Jirka G. H. & Lee J. H.-W., 1994. "Waste disposal in the ocean", in Water quality and its control, Mikio Hino (Ed.), IAHR, 5, A.A. Balkema.
6. King, I.P., 1988, Program Documentation, RMA2 - "A Two-Dimensional Finite Element Model for Flow in Estuaries and Streams", Version 4.2, RMA, Lafayette, California.
7. Κοινή Υπουργική Απόφαση 46399/1352)89, Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Αρ. 438, 3 Ιουλίου 1986, σελ. 4316-4331.
8. Kotsovinos, N., 1989. "Διάθεση υγρών αποβλήτων στην θάλασσα", Πρόγραμμα COMETT, Εργ. Υδραυλικής Α.Π.Θ.
9. U.S. Environmental Protection Agency (EPA) Report PB86-137478, U.S. EPA, Newport, Oregon, 1985.
10. Wilkinson D.L., 1984. "Purging of saline wedges from ocean outfalls", J. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110, No. 12, pp 1815-1828.
11. Wood I.R., Bell R.G and Wilkinson D.L., 1993. "Ocean disposal of wastewaters", World Scientific.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Τα προγράμματα:

PLUMEHYD.EXE

DIAXITIRAS.EXE

Το πρόγραμμα και τα συνοδευτικά αρχεία είναι διαθέσιμα από την ιστοσελίδα του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.: www.civil.auth.gr, στην περιοχή των e-μαθημάτων.

A.1. Το πρόγραμμα Το πρόγραμμα DIAKITIRAS.EXE

Το πρόγραμμα PLUMEHYD.EXE υπολογίζει τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του διαχυτήρα και των ανυψωτήρων, όταν είναι γνωστά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αγωγών, η βυθομετρία της θέσης που θα τοποθετηθεί ο διαχυτήρας και η παροχή σχεδιασμού.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του διαχυτήρα και τα άλλα δεδομένα εισάγονται στο αρχείο HYD.IN, που έχει την παρακάτω μορφή:

1^η γραμμή: το όνομα της δοκιμής
Project

2^η γραμμή: πλήθος ανυψωτήρων, τμήματα διαχυτήρα, $\Delta\rho/\rho$
14 5 0.0307
(δηλ. 14 ανυψωτήρες, 5 τμήματα διαχυτήρα, $\Delta\rho/\rho = 0.0307$)

3^η γραμμή: τύπος συναρμογής διαχυτήρα - ανυψωτήρα
sharp
(δηλ. απότομη προσαρμογή)

ακολουθούν τόσες γραμμές όσα και τα τμήματα του διαχυτήρα σε κάθε γραμμή υπάρχουν τα εξής στοιχεία: ο αριθμός του ανυψωτήρα στο κατάντη άκρο του τμήματος του διαχυτήρα που εξετάζεται, ο αριθμός στο ανάντη άκρο του διαχυτήρα, η διάμετρος του παρόντος του διαχυτήρα, η απόσταση μεταξύ των ανυψωτήρων, η υψομετρική διαφορά μεταξύ ανυψωτήρων και η διάμετρος του ανυψωτήρα

1 2 0.2906 8.0 0.2 0.1144
(δηλ. το πρώτο από τα κατάντη τμήμα του διαχυτήρα ξεκινά από τον ανυψωτήρα 1 και τελειώνει στον ανυψωτήρα 2, έχει διάμετρο 0.2906 m, η απόσταση μεταξύ των ανυψωτήρων είναι 8.0 m, η υψομετρική διαφορά μεταξύ των ανυψωτήρων είναι 0.2 m και οι ανυψωτήρες έχουν διάμετρο 0.1144 m)

3 5 0.3276 8.0 0.2 0.1144
(το δεύτερο τμήμα ξεκινά από τον τρίτο ανυψωτήρα και τελειώνει στον πέμπτο, έχει διάμετρο 0.3276 και τα ίδια λοιπά στοιχεία με το προηγούμενο τμήμα)

6 8 0.4152 8.0 0.2 0.1144

9 11 0.4614 8.0 0.2 0.1144

12 14 0.5814 8.0 0.2 0.1144

τελευταία γραμμή: αριθμός Manning και παροχή
0.01 0.3528

Τα αποτελέσματα της επίλυσης του προγράμματος γράφονται στο αρχείο HYD.EX και έχουν ως εξής:

Γενικά στοιχεία

Project		όνομα δοκιμής
Number of ports	= 14	αριθμός ανυψωτήρων
drho/rho	= 0.0307	$\Delta\rho/\rho$
Number of sections	= 5	τμήματα διαχυτήρα
Sharp		τύπος προσαρμογής
Mannings N	= 0.0100	αριθμός Manning
Desired Q	= 0.3528	παροχή σχεδιασμού
Calculated Q	= 0.3528	παροχή υπολογισμού

1^ο ΤΜΗΜΑ

Friction factor F	= 0.0188	συντελεστής τριβών
Pipe diameter	= 0.2906	διάμετρος διαχυτήρα
Length between ports	= 8.0000	απόσταση μεταξύ ανυψωτήρων
dz between ports	= 0.2000	υψομετρική διαφορά μεταξύ ανυψωτήρων
Port diameter	= 0.1144	διάμετρος ανυψωτήρα

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΧΥΤΗΡΑ

Αριθμός ανυψωτήρα, ενέργεια, συντελεστής παροχής, ταχύτητα στο διαχυτήρα, ταχύτητα στον ανυψωτήρα, παροχή ανυψωτήρα, αριθμός Froude στον ανυψωτήρα

Port number	Specific energy (m)	Coeff cd	Pipe velocity (m/sec)	Port velocity (m/sec)	Port discharge (m ³ /sec)	Port Froude #
1	0.7133	0.6246	0.3620	2.3361	0.0240	12.5877
2	0.7229	0.6089	0.7174	2.2930	0.0236	12.3552

2^ο ΤΜΗΜΑ ΔΙΑΧΥΤΗΡΑ

Friction factor F	= 0.0181	Pipe diameter	= 0.3276
Length between ports	= 8.0000	dz between ports	= 0.2000
Port diameter	= 0.1144		

Port number	Specific energy (m)	Coeff cd	Pipe velocity (m/sec)	Port velocity (m/sec)	Port discharge (m ³ /sec)	Port Froude #
3	0.7435	0.6016	0.8447	2.2974	0.0236	12.3790
4	0.7656	0.5816	1.1195	2.2538	0.0232	12.1442
5	0.8000	0.5586	1.3893	2.2129	0.0227	11.9238

3° TMHMA ΔΙΛΑΧΥΤΗΡΑ

Friction factor F = 0.0167 Pipe diameter = 0.4152
Length between ports = 8.0000 dz between ports = 0.2000
Port diameter = 0.1144

Port number	Specific energy (m)	Coeff cd	Pipe velocity (m/sec)	Port velocity (m/sec)	Port discharge (m ³ /sec)	Port Froude #
6	0.8594	0.5921	1.0495	2.4309	0.0250	13.0984
7	0.8836	0.5792	1.2325	2.4110	0.0248	12.9914
8	0.9146	0.5653	1.4143	2.3945	0.0246	12.9021

4° TMHMA ΔΙΛΑΧΥΤΗΡΑ

Friction factor F = 0.0161 Pipe diameter = 0.4614
Length between ports = 8.0000 dz between ports = 0.2000
Port diameter = 0.1144

Port number	Specific energy (m)	Coeff cd	Pipe velocity (m/sec)	Port velocity (m/sec)	Port discharge (m ³ /sec)	Port Froude #
9	0.9562	0.5778	1.2991	2.5023	0.0257	13.4830
10	0.9864	0.5668	1.4523	2.4929	0.0256	13.4325
11	1.0226	0.5555	1.6053	2.4877	0.0256	13.4045

5° TMHMA ΔΙΛΑΧΥΤΗΡΑ

Friction factor F = 0.0149 Pipe diameter = 0.5814
Length between ports = 8.0000 dz between ports = 0.2000
Port diameter = 0.1144

Port number	Specific energy (m)	Coeff cd	Pipe velocity (m/sec)	Port velocity (m/sec)	Port discharge (m ³ /sec)	Port Froude #
12	1.0780	0.5958	1.1171	2.7396	0.0282	14.7615
13	1.0972	0.5897	1.2230	2.7356	0.0281	14.7404
14	1.1190	0.5833	1.3288	2.7329	0.0281	14.7258

A.2. Το πρόγραμμα DIAXITIRAS.EXE

Το πρόγραμμα DIAXITIRAS.EXE, αποτελεί μια βελτιωμένη έκδοση του προγράμματος PLUMEHYD.EXE, αλλά σε περιβάλλον WINDOWS. Η τροποποίηση του προγράμματος και το γραφικό του περιβάλλον έγινε από τον φοιτητή του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.θ. κ. Διαμαντή Καρακατσάνη (2006).

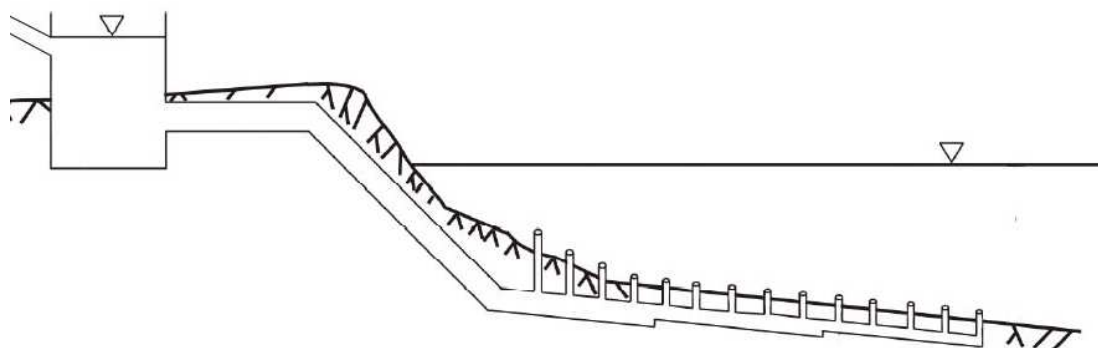
Στο πρόγραμμα περιλαμβάνονται και οι οδηγίες για την εισαγωγή των δεδομένων, την εφαρμογή του και την ανάγνωση των αποτελεσμάτων του. Τα αρχεία των οδηγιών αυτών παρουσιάζονται στη συνέχεια.

ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΟΒΡΥΧΙΑΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΥΓΡΩΝ

Η πλέον συνηθισμένη μέθοδος διάθεσης υγρών λυμάτων (αστικά, βιομηχανικά κ.α) είναι η παροχέτευση τους στο παράκτιο περιβάλλον (κυρίως στη θάλασσα αλλά και ποτάμιους). Οι ρυπαντικές ουσίες (συντηρητικές ή μη) μετά την έξοδο τους από το σύστημα διάθεσης, υπόκεινται σε μια σειρά από φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες, που οδηγούν τελικά στην μείωση της συγκέντρωσής τους.

Στόχος ενός συστήματος υποβρύχιας διάθεσης των υγρών λυμάτων είναι η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αραίωση και επομένως η μείωση των αρχικών συγκεντρώσεων των ρύπων, που συνεπάγεται και μικρότερη επιβάρυνση για το θαλάσσιο περιβάλλον.

Μια τυπική διάταξη ενός συστήματος υποβρύχιας διάθεσης υγρών λυμάτων απεικονίζεται παρακάτω.



Η τυπική διάταξη αποτελείται από ένα φρεάτιο, που από τη μία συνδέεται με την έξοδο των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων και από την άλλη με τον υποβρύχιο αγωγό μεταφοράς στο κατάντη άκρο του οποίου βρίσκεται ο διαχυτήρας, (υποβρύχιος αγωγό μεταβλητής διατομής) στον οποίο είναι προσαρμοσμένα τα στόμια εκροής μέσω των ανυψωτήρων. Ο διαχυτήρας αποτελείται από επιμέρους τμήματα, δηλαδή κομμάτια, που το καθένα έχει σταθερή διάμετρο και περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους ανυψωτήρες.

Το πρόγραμμα Diachitas.exe δέχεται τα γεωμετρικά μεγέθη του διαχυτήρα, την παροχή του φρεατίου (ολική παροχή ή παροχή σχεδιασμού), τον συντελεστή τριβών Manning και την παράμετρο $\Delta r/\rho$ (που χαρακτηρίζει την ανωστική δύναμη που ασκείται στη μάζα των υγρών λυμάτων) και υπολογίζει τα υδραυλικά στοιχεία του διαχυτήρα και το αναγκαίο φορτίο λειτουργίας του συστήματος.

Ο διαχυτήρας αποτελείται από επιμέρους τμήματα δηλαδή κομμάτια που έχουν ίδια διάμετρο και καθένα από αυτά περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους ανυψωτήρες.

ΓΕΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ

1) Το πρόγραμμα Diachitiras.exe είναι προσαρμοσμένο στο διεθνές σύστημα μονάδων(S.I). Για τον διαχωρισμό των δεκαδικών **ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ** το σύμβολο (,) **κόμμα και όχι η τελεία (.)**

ΑΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΕ ΕΛΛΗΝΙΚΑ WINDOWS Ή ΑΓΓΛΙΚΑ ΑΛΛΑ ΕΧΕΤΕ ΣΤΟ REGION OPTIONS (CONTROL PANEL) ΣΤΙΣ ΤΟΠΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΩΣ ΧΩΡΑ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

Προσοχή λοιπόν όταν εισάγεται αριθμούς με δεκαδικά ψηφία πρέπει να χωρίζεται το ακέραιο μέρος από το δεκαδικό με κόμμα και όχι με τελεία. Αν κατά λάθος βάλετε τελεία το πρόγραμμα θα θεωρήσει ότι πρόκειται για χιλιάδες, εκατομμύρια κτλ. και τα νούμερα στα αποτελέσματα θα είναι εμφανώς λάθος (πολύ μεγάλα)

ΣΕ ΑΝΤΙΘΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

ΙΣΧΥΟΥΝ ΤΑ ΑΚΡΙΒΩΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΑ

Καλύτερα στην πρώτη επαφή με το πρόγραμμα τσεκάρετε την επιλογή “Παράδειγμα σημειώσεων” και δείτε με τι σύμβολο χωρίζει τα δεκαδικά ο υπολογιστής σας. Χρησιμοποιείστε το ίδιο.

2) Προσέξτε να μην εισάγεται κάποιο λογικό σφάλμα. Όπως δηλαδή ο αριθμός των ανυψωτήρων να είναι δεκαδικός κτλ.

3) Μην τρέχετε το πρόγραμμα αν πρώτα δεν έχετε συμπληρώσει όλα τα απαραίτητα στοιχεία. Σε αυτή την περίπτωση το πρόγραμμα θα κλείσει ή θα υπολογίσει λανθασμένα.

4) Φροντίστε τα δεδομένα που εισάγετε να μην είναι εκτός της τάξης μεγέθους του αντίστοιχου φυσικού μεγέθους πχ Manning =15 ή Παροχή Ολική =30m³/s κτλ.

ΤΡΟΠΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

1) Πριν τη χρήση που προγράμματος

Πριν την αναφορά στους τρόπους υπολογισμού μια σύντομη αναφορά στα εισαγόμενα στο πρόγραμμα μεγέθη.

α) Ο αριθμός των τμημάτων του διαχυτήρα (επιμέρους τμήματα με κοινή διάμετρο) και ο αριθμός των ανυψωτήρων καθορίζονται κατά βούληση υπό την προϋπόθεση ότι αρκούν για να ικανοποιήσουν τους αντικειμενικούς στόχους του έργου. Αυτοί μπορεί να είναι περιβαλλοντολογικά κριτήρια (ελάχιστη αραιώση στην επιφάνεια), λόγοι που έχουν να κάνουν με το μέγεθος της παροχής προς αποχέτευση, κα.

β) Οι διαμέτροι των τμημάτων και των ανυψωτήρων καθορίζονται με το σκεπτικό ότι πρέπει να υπάρχει ομοιομορφία στις παροχές που εκρέουν από κάθε ανυψωτήρα (αν κοιτάξετε τις παροχές του παραδείγματος των σημειώσεων διαφέρουν μόνο στο τρίτο δεκαδικό). Ένας τρόπος για να εξασφαλιστεί η παραπάνω ομοιομορφία είναι η ακόλουθη σχέση μεταξύ της διαμέτρου του διαχυτήρα D_i και της διαμέτρου των ανυψωτήρων d :

$$0,5 \leq \frac{\sum_{i=1}^n d^2}{D_i^2} \leq 0,7$$

Όπου D_i η διάμετρος του διαχυτήρα αμέσως ανάντη από τον i ανυψωτήρα

2) Υδραυλικοί υπολογισμοί

Μετά λοιπόν την διαστασιολόγηση ακολουθεί ο υδραυλικός υπολογισμός ο οποίος αξιολογεί και την επάρκεια της. Ξεκινάμε από τον πιο απομακρυσμένο, από το φρεάτιο φόρτιση, ανυψωτήρα (No 1). Γίνεται μια σύμβαση ότι η παροχή του πρώτου είναι ίση με:

$$q_1 = 0.95 \cdot Q_{\text{total}} / (\text{πλήθος ανυψωτήρων})$$

Στην συνέχεια υπολογίζονται τα μεγέθη Cd(συντελεστής παροχής) και E(ενέργεια) λύνοντας αριθμητικά το σύστημα (shooting method).

$$q = Cd(\pi D_{\text{pipe}}^2/4)(2qE)^{0.5}$$

$$Cd = 0.63 - 0.58(V^2/2gE) \quad \text{για απότομα προσαρμοσμένο ανυψωτήρα}$$

$$Cd = 0.975(1 - V^2/2gE)^{3/8} \quad \text{για ομαλά προσαρμοσμένο ανυψωτήρα}$$

$$\text{όπου } V = 4q/\pi D_{\text{port}}$$

Υπολογίζουμε έτσι το Cd_1 και E_1

Χρησιμοποιώντας την αρχή διατήρησης της ενέργειας υπολογίζουμε την E_2 από τον τύπο:

$$E_{n+1} = E_n + fsV^2/2gD_{\text{pipe}} + \Delta z \Delta \rho / \rho$$

όπου ο f (συντελεστής τριβών του Darcy) δίνεται από τον τύπο:

$$f = 124.58 \text{manning}^2 / D_{\text{pipe}}^{0.33333}$$

Επιλύεται ξανά το προηγούμενο σύστημα αλλά με αγνώστους το q_2 και Cd_2 .

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τους υπόλοιπους ανυψωτήρες.

Ο πυκνομετρικός αριθμός Froude υπολογίζεται από τον τύπο:

$$F_o = V/(gD_{\text{port}}\Delta\rho/\rho)^{0.5}$$

Το πρόγραμμα ελέγχει αν ο Froude είναι μεγαλύτερος από 10(για την αποφυγή τυρβώδους φλέβας κατά την αραίωση) και επιστρέφει σχετική ειδοποίηση στο τέλος του αρχείου αποτελεσμάτων.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τσεκάροντας την επιλογή “παράδειγμα σημειώσεων” μπορείτε να δείτε ένα παράδειγμα λειτουργίας του προγράμματος.

1) Στα πέντε αριστερά πάνω κουτάκια συμπληρώστε διαδοχικά (από πάνω προς τα κάτω)

α) Πλήθος ανυψωτήρων → Τον συνολικό αριθμό των ανυψωτήρων (ακέραιος αριθμός)

β) Τμήματα Διαχυτήρα → Πόσα τμήματα έχει ο διαχυτήρας δηλ. τα επιμέρους κομμάτια του διαχυτήρα με την ίδια διάμετρο, πχ 5. Προφανώς ο αριθμός αυτός πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος από τον προηγούμενο (δηλ. το πλήθος των ανυψωτήρων), αφού κάθε τμήμα περιέχει τουλάχιστον έναν ανυψωτήρα.

γ) $\Delta\rho/\rho$ → Δώστε την παράμετρο $\Delta\rho/\rho$ που είναι : $\frac{\rho_{\theta\alpha\lambda\alpha\sigma\sigma\alpha\varsigma} - \rho_{\lambda\upsilon\mu\alpha\tau\omega\nu}}{\rho_{\lambda\upsilon\mu\alpha\tau\omega\nu}}$, (ρ η πυκνότητα).

δ) Ολική παροχή → Την ολική παροχή (m^3/s) που εκρέει από το φρεάτιο φόρτησης.

ε) Αριθμός Manning → τον αριθμό Manning

Οι παράμετροι (γ) και (ε) έχουν συγκεκριμένες τάξεις μεγέθους αντίστοιχα. Συνήθως δεύτερου ή τρίτου δεκαδικού. Προσοχή λοιπόν να μην εισάγετε τιμές εκτός των ορίων των μεγεθών

2) Στην καρτέλα “ Τύπος Συναρμογής “ επιλέγεται ο τρόπος που προσαρμόζεται ο ανυψωτήρας με τον διαχυτήρα. Έχουμε δύο επιλογές:

α) Sharp → Όταν προσαρμόζεται απότομα

β) Bell → Όταν προσαρμόζεται ομαλά

Το πρόγραμμα θεωρεί εξ αρχής την επιλογή Sharp

3) Δεξιά τώρα παρατηρούμε μια στήλη με αύξουσα αρίθμηση (από 1 έως και 30) και έξι κενές στήλες με κουτάκια.

Η στήλη με την αύξουσα αρίθμηση αντιστοιχεί στο τμήμα του διαχυτήρα. Δηλαδή το 1 αντιστοιχεί στο πρώτο τμήμα του διαχυτήρα το 2 στο δεύτερο κτλ. Επειδή φτάνει μόνο μέχρι το 30 δεν μπορούμε να έχουμε πάνω από 30 τμήματα (αριθμός που θεωρείται υπερβολικός αφού σε ένα τμήμα αντιστοιχεί το λιγότερο ένας, αλλά συνήθως πολλοί περισσότεροι ανυψωτήρες).

ΠΡΟΣΟΧΗ: Η αρίθμηση των τμημάτων του διαχυτήρα ξεκινά από το πλέον κατάντη τμήμα του (το πιο απομακρυσμένο από το φρεάτιο φόρτησης).

Στις στήλες με τα κενά κουτάκια (από αριστερά προς τα δεξιά):

α) Στην πρώτη δίνουμε τον αριθμό του πρώτου ανυψωτήρα του τμήματος, δηλαδή έστω ότι το τμήμα 5 περιλαμβάνει τους ανυψωτήρες από τον 11ο έως και τον 17ο τότε στο αντίστοιχο κουτάκι (στη στήλη 5) θα γράψουμε 11.

β) Στην δεύτερη δίνουμε τον αριθμό του τελευταίου ανυψωτήρα του τμήματος, δηλαδή για το τμήμα 5 που περιλαμβάνει τους ανυψωτήρες από τον 11ο έως και τον 17ο τότε στο κουτάκι (στο νούμερο 5) θα γράψουμε 17.

γ) Στην τρίτη δίνουμε την εσωτερική (βρεχόμενη) διάμετρο (D) του τμήματος, σε μέτρα.

δ) Στην τέταρτη την απόσταση (Δl) μεταξύ των ανυψωτήρων του τμήματος, σε μέτρα.

ε) Στην πέμπτη την υψομετρική διαφορά (Δz) των άκρων του τμήματος του διαχυτήρα ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς ανυψωτήρες του τμήματος, σε μέτρα.

στ) Στην έκτη την εσωτερική διάμετρο (d) των ανυψωτήρων του τμήματος σε μέτρα.

Για ευκολία επειδή συνήθως τα μεγέθη (δ), (ε) και (στ) είναι συνήθως κοινά για κάθε τμήμα, **ΑΦΟΥ** γράψουμε τις τιμές τους για το τμήμα Νο1, τσεκάρουμε το κουτάκι της σχετικής επιλογής (κάτω αριστερά) και η πρώτη τιμή συμπληρώνεται για όλα τα τμήματα. Εννοείται πως θα πρέπει πρώτα να έχουμε δώσει τον αριθμό των τμημάτων.

Στην περίπτωση που ένα τμήμα του διαχυτήρα περιλαμβάνει έναν και μόνον ανυψωτήρα τότε στην πρώτη και δεύτερη στήλη εισάγουμε το **ΙΔΙΟ** νούμερο. Επί παραδείγματι ,έστω ότι το τμήμα Νο5 έχει μόνον έναν ανυψωτήρα τον 17ο τότε στη γραμμή 5 στην πρώτη και δεύτερη στήλη θα γράψουμε 17 και 17 αντίστοιχα.

Προσοχή να μην εισαχθεί κάποιο λογικό σφάλμα στην αλληλουχία των ανυψωτήρων όπως για παράδειγμα:

τμήμα Νο1 ανυψωτήρες 1 ως και 2

τμήμα Νο 2 ανυψωτήρες 2 ως και 3

ΟΔΗΓΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Στο menu «Παροχή υπολογισμού» υπάρχουν τρεις επιλογές που αντιστοιχούν σε τρεις μεθόδους:

1) Υπολογισμός με $q_c=0.95Q_{total}$

Πρόκειται για την περίπτωση όπου θεωρούμε πώς από τον πρώτο ανυψωτήρα (δηλ. τον πιο απομακρυσμένο από το φρεάτιο φόρτισης ανυψωτήρα), από τον οποίο ξεκινά ο υδραυλικός υπολογισμός, (ο Νο1) εκρέει παροχή ίση με:

$$q_1=0.95*Q_{total}/ \text{Πλήθος ανυψωτήρων}$$

2) Υπολογισμός με βελτιστοποίηση της παροχής

Στην περίπτωση αυτή ο υπολογισμός ξεκινάει με την ίδια τιμή της περίπτωσης 1, αλλά επαναλαμβάνεται συνεχώς έως να επιτευχθεί σύγκλιση μεταξύ της συνολικά υπολογιζόμενης παροχής και της πραγματικής παροχής.

Είναι προφανώς καλύτερη μέθοδος από την προηγούμενη αλλά πιθανόν λόγω του πλήθους των υπολογισμών να αργήσει περισσότερο ή εε υπολογιστές με μικρή μνήμη να μην μπορεί να πραγματοποιηθεί αυτός ο υπολογισμός.

3) Υπολογισμός με καθορισμένη από τον χρήστη σχέση q_1 με Q_{total}

Είναι μία εντελώς ειδική περίπτωση ίδια με την 1 αλλά στη θέση του 0.95 ο χρήστης μπορεί να βάλει άλλη τιμή. Είναι μια μέθοδος που μπορεί να φανεί χρήσιμη μόνο σε έναν εξειδικευμένο υπολογισμό, που ο χρήστης, επιθυμεί, για κάποιον ιδιαίτερο λόγο να βάλει άλλη τιμή στον τύπο της περίπτωσης 1.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Για τις περιπτώσεις (1) και (3), θα πρέπει να ελεγχθεί αν η τελικά υπολογιζόμενη παροχή είναι ίση με την παροχή σχεδιασμού.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΑΡΧΕΙΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Αφού έχετε συμπληρώσει όλα τα απαραίτητα πεδία για τον υπολογισμό πατήστε στο κουμπί πάνω δεξιά “Αναλυτική Λύση”. Εμφανίζεται μια καρτέλα που σας ζητάει να δώσετε το όνομα του αρχείου στο οποίο θα αποθηκευτούν τα αποτελέσματα της επίλυσης, ως προεπιλογή υπάρχει το όνομα «Δοκιμή1.txt». Μπορείτε να δώσετε ότι όνομα και κατάληξη θέλετε. Αν χρησιμοποιείτε λειτουργικό στα αγγλικά προτιμήστε ένα όνομα στα αγγλικά.

Το όνομα «Δοκιμή1.txt» επιλέχτηκε διότι ενδέχεται να ‘τρέξετε’ πολλές φορές το πρόγραμμα αλλάζοντας διάφορες παραμέτρους. Σε αυτή τη περίπτωση αλλάζετε μόνο τα δεδομένα που θέλετε και ξαναπατάτε “Αναλυτική Λύση”. Αν όμως δεν αλλάξετε τον τίτλο του παραγόμενου αρχείου πχ σε “Δοκιμή2.txt“ το πρόγραμμα θα **αντικαταστήσει** το προηγούμενο.

Το αρχείο που παράγεται περιέχει τους υπολογισμούς για κάθε τμήμα και ανυψωτήρα ξεχωριστά.

Το αρχείο εμφανίζεται στο φάκελο (του σκληρού δίσκου) που έχετε το πρόγραμμα.

Τσεκάροντας την επιλογή “παράδειγμα σημειώσεων“ μπορείτε να δείτε ένα παράδειγμα λειτουργίας του προγράμματος