

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Διπλωματική Εργασία

**«Προκαταρκτική αξιολόγηση της απόδοσης αγωγών
υποθαλάσσιας διάθεσης λυμάτων από έξι πόλεις της Κρήτης»**

Καναβάκης Αντώνιος
A.M.:2001.05.0046

Εξεταστική επιτροπή:
Οικονομόπουλος Αλέξανδρος(επιβλέπων)
Γκέκας Βασίλειος
Τσούτσος Θεοχάρης

Χανιά, 2007

Ευχαριστίες

Αρχικά, θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κύριο Οικονομόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια και αρωγή του στην εκπλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω όλους εκείνους που μου παραχώρησαν πολύτιμα για την πραγματοποίηση της εργασίας στοιχεία, τους υπεύθυνους στις αντίστοιχες Δημόσιες Επιχειρήσεις Ύδρευσης και Άρδευσης και όσους με βοήθησαν από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας και Έρευνας Ηρακλείου.

Τέλος, ευχαριστώ τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής για την παρουσία και την ενασχόλησή τους με το κείμενο της διπλωματικής εργασίας.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1.Εισαγωγή.....	6
1.2.Εισαγωγή στη θεωρία των υποθαλάσσιων αγωγών και στη διάθεση αστικών λυμάτων...	7
1.3.Νομοθεσία και ανώτατα όρια για τους αποδέκτες.....	15
1.3.1.Απαιτήσεις σε μονάδες επεξεργασίας.....	16
1.3.2.Όρια συγκεντρώσεων στα λύματα για τον θαλάσσιο αποδέκτη.....	18
1.3.3. Δειγματοληψία σε παράκτια ύδατα.....	20
1.3.4. Χαρακτήρας των ορίων και η στατιστική τους φύση.....	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1.Μηχανισμοί Διάχυσης.....	22
2.2.Σχεδιασμός και Διαστασιολόγηση Αγωγών Διάθεσης.....	30
2.3.Περιγραφή του Γραφικού Μοντέλου.....	34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1.Χανιά.....	45
3.1.1.Στοιχεία από το πεδίο.....	45
3.1.2.Υπολογισμός συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων στον αποδέκτη με χρήση του υφιστάμενου αγωγού.....	48
3.1.3.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέση ημερήσια παροχή.....	50
3.1.4.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ημερήσια παροχή.....	53
3.1.5.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ωριαία παροχή.....	54
3.1.6.Σχολιασμός αποτελεσμάτων	55
3.2.Ρέθυμνο.....	56
3.2.1.Στοιχεία από το πεδίο.....	56
3.2.2.Υπολογισμός συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων στον αποδέκτη με χρήση του υφιστάμενου αγωγού.....	58
3.2.3.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέση ημερήσια παροχή.....	60
3.2.4.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ημερήσια παροχή.....	62
3.2.5.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ωριαία παροχή.....	63
3.2.6.Σχολιασμός αποτελεσμάτων	64

3.3.Ηράκλειο.....	65
3.3.1.Στοιχεία από το πεδίο.....	65
3.3.2.Υπολογισμός συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων στον αποδέκτη με χρήση του υφιστάμενου αγωγού.....	67
3.3.3.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέση ημερήσια παροχή.....	69
3.3.4.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ημερήσια παροχή.....	71
3.3.5.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ωριαία παροχή.....	72
3.3.6.Σχολιασμός αποτελεσμάτων	73
3.4.Άγιος Νικόλαος.....	74
3.4.1.Στοιχεία από το πεδίο.....	74
3.4.2.Υπολογισμός συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων στον αποδέκτη με χρήση του υφιστάμενου αγωγού.....	75
3.4.3.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέση ημερήσια παροχή.....	78
3.4.4.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ημερήσια παροχή.....	80
3.4.5.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ωριαία παροχή.....	81
3.4.6.Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	82
3.5.Σητεία.....	83
3.5.1.Στοιχεία από το πεδίο.....	83
3.5.2.Υπολογισμός συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων στον αποδέκτη με χρήση του υφιστάμενου αγωγού.....	84
3.5.3.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέση ημερήσια παροχή.....	86
3.5.4.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ημερήσια παροχή.....	88
3.5.5.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ωριαία παροχή.....	89
3.5.6.Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	90
3.6.Ιεράπετρα.....	91
3.6.1.Στοιχεία από το πεδίο.....	91
3.6.2.Υπολογισμός συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων στον αποδέκτη με χρήση του υφιστάμενου αγωγού.....	93
3.6.3.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέση ημερήσια παροχή.....	95
3.6.4.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ημερήσια παροχή.....	97
3.6.5.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ωριαία παροχή.....	98
3.6.6.Σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1. Σύγκριση αποτελεσμάτων.....100

Βιβλιογραφία.....103

Παραρτήματα, Χάρτες.....

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

1.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από την εποχή της Βιομηχανικής Επανάστασης και ύστερα παρατηρείται μια σειρά φαινομένων, όπως είναι η συνεχώς εντεινόμενη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων, η έντονη αστικοποίηση, και η παραγωγή όλο και περισσότερων υλικών αγαθών. Τα παραπάνω έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση των στερεών, υγρών και αέριων αποβλήτων. Για κάθε ένα από τα παραπάνω γίνεται προσπάθεια να επεξεργάζεται, έτσι ώστε να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και τον άνθρωπο.

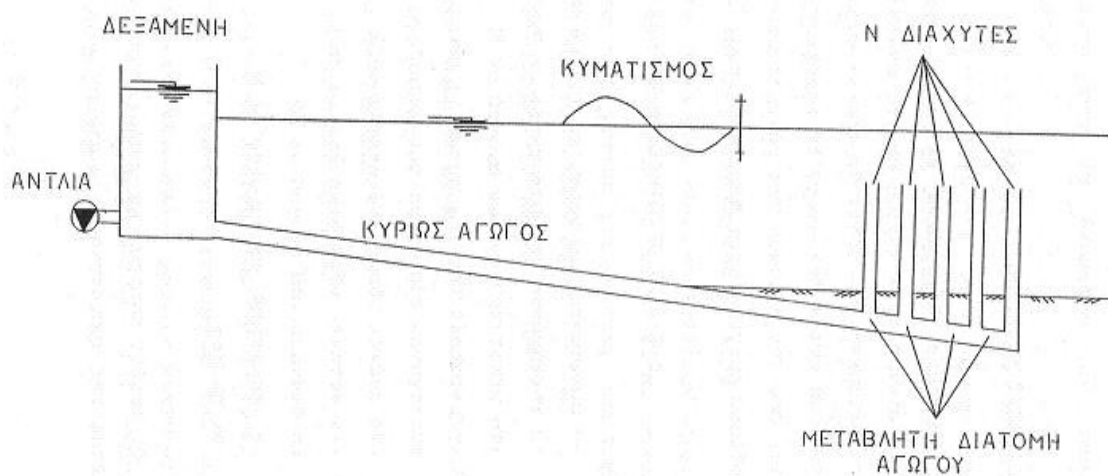
Στον τομέα των υγρών αποβλήτων και των αστικών λυμάτων, η επεξεργασία έχει σαν σκοπό να απομακρύνει τους ρυπαντές και τα συστατικά εκείνα των λυμάτων που μπορούν να βλάψουν την χλωρίδα και την πανίδα του αποδέκτη αλλά και τον άνθρωπο αν έρχεται σε επαφή με αυτόν(βαρέα μέταλλα, αιωρούμενα στερεά, κολοβακτηρίδια κ.ά.).

Η θάλασσα, και ειδικά σε περιοχές με ελεύθερη κυκλοφορία νερού, θεωρείται πολύ καλύτερος αποδέκτης απ' ότι οι λίμνες και τα ποτάμια. Έχει υποστηριχτεί ότι αν τα λύματα μιας μικρής ή μεσαίας αστικής περιοχής(με ισοδύναμο πληθυσμό έως 60.000) επεξεργαστούν και διατεθούν μέσω κατάλληλα διαστασιοποιημένου υποβρύχιου αγωγού, έχουν περιορισμένη επίδραση στο περιβάλλον λόγω της ικανότητας της θάλασσας να αφομοιώνει οργανικά και θρεπτικά υλικά. Σε κάποιες περιπτώσεις που τα νερά είναι ολιγοτροφικά, όπως αυτά των ελληνικών θαλασσών, μπορεί η διάθεση των αποβλήτων να βοηθήσει την υφιστάμενη κατάσταση αυξάνοντας την παραγωγικότητα. Η αφομοιωτική αυτή ικανότητα σε σχέση με τα θρεπτικά και τις οργανικές ουσίες, καθιστά τη μικροβιακή ρύπανση ως το σημαντικότερο πρόβλημα που προκύπτει από την διάθεση αποβλήτων στη θάλασσα.

Ο σχεδιασμός των υποθαλάσσιων αγωγών για την διάθεση των αστικών λυμάτων στη θάλασσα στοχεύει στην αραίωση των λυμάτων σε τέτοιο βαθμό ώστε να τηρούνται τα όρια ποιότητας που ισχύουν για τα νερά κολύμβησης ακόμα κι αν τα ρεύματα είναι τέτοια που μεταφέρουν το πλούμιο των λυμάτων προς την ακτή. Αν και οι υποβρύχιοι αγωγοί μεταφέρουν τα λύματα σε μεγάλα βάθη, όπου η κυκλοφορία της θάλασσας είναι ικανοποιητική, η επιθυμητή αραίωση δεν επιτυγχάνεται πάντα και αυτό μπορεί να οφείλεται στη στρωμάτωση του νερού, τα ρεύματα που μπορεί να είναι αντίθετα της διεύθυνσης του αγωγού και τόσο δυνατά που να παρασύρουν το πλούμιο στην ακτή.

1.2.Εισαγωγή στους Υποθαλάσσιους Αγωγούς και στη Διάθεση

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει πλέον επιτακτική ανάγκη η προστασία του περιβάλλοντος και όλες οι μελέτες τεχνικών έργων λαμβάνουν ή τουλάχιστον οφείλουν να λαμβάνουν υπόψη τους τις διεθνείς συνθήκες και τα όρια ποιότητας που έχουν τεθεί και θέλουν να ελαττώσουν κατά το μέγιστο βαθμό τις βλαβερές συνέπειες που το συγκεκριμένο έργο μπορεί να έχει στο περιβάλλον. Ένα σημαντικό περιβαλλοντολογικό πρόβλημα είναι η διάθεση των λυμάτων των πόλεων, των χωριών και των οικισμών ώστε να μην επιβαρυνθεί ο αποδέκτης. Όταν ο οικισμός είναι ηπειρωτικός γίνεται σαφές ότι η σωστή αντιμετώπιση είναι η τριτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων και η διάθεσή τους στον αποδέκτη. Για τους παραθαλάσσιους οικισμούς υπάρχει η άποψη ότι αν τα αστικά λύματα διατεθούν σε μεγάλο βάθος του αποδέκτη δε θα ρυπάνουν και θα μπορέσουν να διαλυθούν επαρκώς ώστε να προστατευτεί επαρκώς το οικοσύστημα. Αντίλογος σε αυτήν την τάση είναι η άποψη ότι η διάλυση των λυμάτων στα νερά του αποδέκτη δεν είναι πλήρης και έχει αποδειχτεί έως κάποιο βαθμό η αποτυχία της. Κατά συνέπεια τα λύματα πρέπει να διατίθενται στον αποδέκτη αφού πρώτα έχουν επεξεργαστεί. Ο βαθμός της επεξεργασίας είναι πάντα σχετικός με τις τοπικές συνθήκες. Και στις δύο πάντως περιπτώσεις τα συστήματα καταλήγουν σε έναν αγωγό που ή θα είναι βραχύς και θα οδηγεί τα επεξεργασμένα λύματα σε μικρά βάθη, ή θα είναι μακρύς και θα οδηγεί τα λύματα μετά από πρωτοβάθμια επεξεργασία σε μεγαλύτερα βάθη. (Οι πρακτικές αυτές εφαρμόζονται αντίστοιχα σε Μ.Βρετανία και Δανία)¹

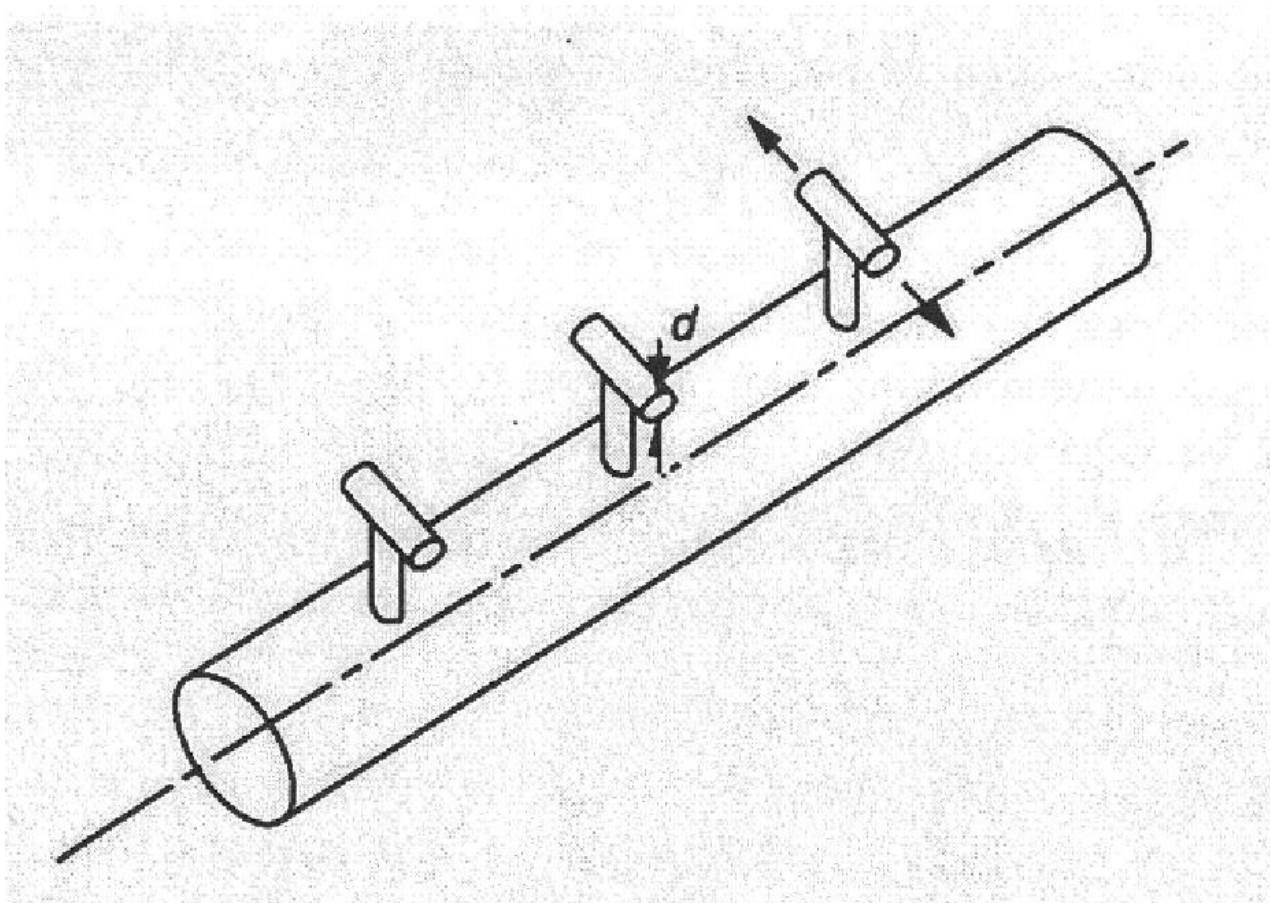


Εικόνα 1.2.-1. Σχηματική απεικόνιση συστήματος υποθαλάσσιου αγωγού με διαχυτήρα

¹ Οικονομάκη, Χρηστίδης

Υπάρχουν περιπτώσεις που η έκλυση των λυμάτων γίνεται από μονή θύρα με οριζόντιο, ενίοτε και με κάθετο προσανατολισμό. Η συνήθης όμως γενική μορφή του αγωγού διάθεσης είναι η ίδια και στις δύο προαναφερθείσες περιπτώσεις. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι οι μικρότεροι αγωγοί (ανυψωτήρες) που βρίσκονται τοποθετημένοι κάθετα συνήθως στον κύριο αγωγό, δια μέσου των οποίων γίνεται η έξοδος των λυμάτων στη θάλασσα. Το τμήμα του αγωγού όπου βρίσκονται οι αγωγοί εξόδου λέγεται διαχυτής ή διαχυτήρας. Ο διαχυτής πρέπει να είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε

- Να πραγματοποιείται μια ομοιόμορφη ροή εξόδου κατά μήκος του ώστε να επιτυγχάνεται μεγάλη διάλυση και να μην επιβαρύνεται ο αποδέκτης.
- Να υπάρχουν κάποιες μεγάλες ταχύτητες της τάξης των 0,6-0,9m/sec για κάποιο χρονικό διάστημα της λειτουργίας του ώστε να αυτοκαθαρίζεται από τα καθιζάνοντα στοιχεία.
- Να μην υπάρχουν μεγάλες απώλειες²



Εικόνα 1.2.-2. Σύστημα γραμμικού διαχυτή με πολλαπλές θύρες σχήματος “T” κατά μήκος του άξονα

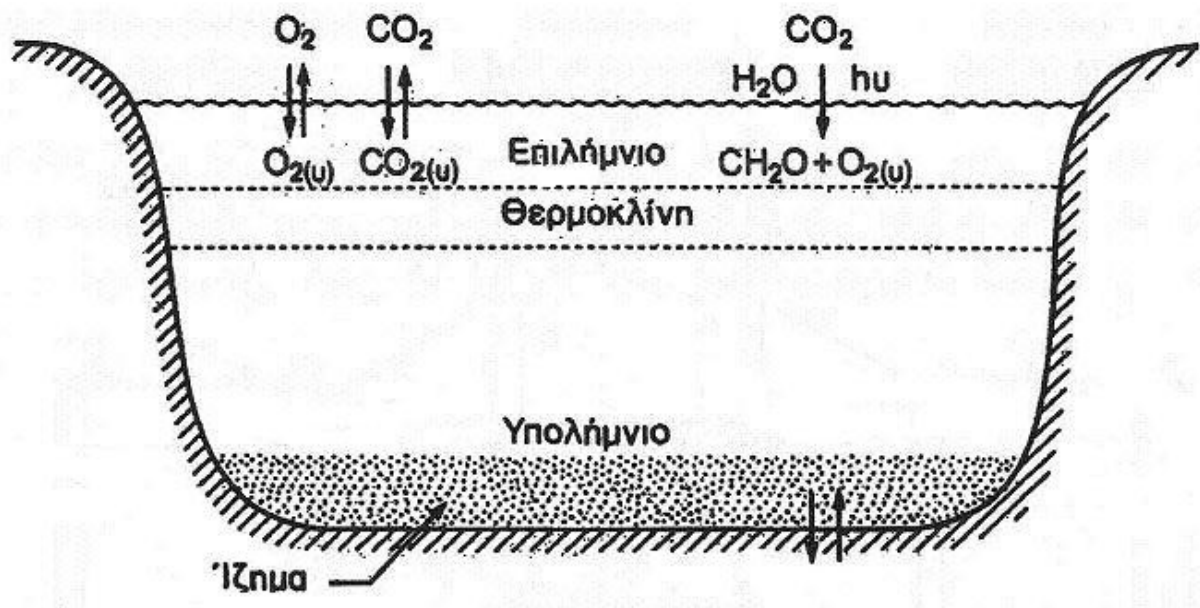
Είναι πολύ σημαντικό να ληφθούν υπόψη όλες οι συνθήκες που επικρατούν στον αποδέκτη, επειδή ο αγωγός επηρεάζεται άμεσα από αυτές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό των κυματισμών, οι οποίοι μπορεί να αυξάνουν την τάση εισροής θαλασσινού νερού στους αγωγούς εξόδου, κάτι που μπορεί να προκαλέσει από στρωματοποίηση μέσα στον αγωγό μέχρι και μπλοκάρισμά του.

Παρακάτω αναλύονται οι παράγοντες που μας ενδιαφέρουν άμεσα κατά τον σχεδιασμό συστημάτων διάθεση αποβλήτων στη θάλασσα.

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες του όπως την πυκνότητα, το ιξώδες και τη διαλυτότητα οξυγόνου. Οι θερμοκρασιακές αλλαγές που παρατηρούνται στη φύση δημιουργούν τα εναλλασσόμενα εποχιακά φαινόμενα της θερμικής στρωμάτωσης και αναστροφής, τα οποία ασκούν σημαντική επίδραση στην ποιότητα επιφανειακών υδάτων εμποδίζοντας σε κάποιες εποχές και προάγοντας σε άλλες την ανάμειξη των νερών και την λήψη διαλυμένου οξυγόνου από την ατμόσφαιρα. Η απόρριψη μεγάλων θερμικών φορτίων στους αποδέκτες εντείνει τις θερμοκρασιακές διαφορές επηρεάζοντας με τον τρόπο αυτό την φυσιολογία των επιφανειακών υδάτων, γι' αυτόν το λόγο αναφέρεται και ως θερμική ρύπανση.

Η στρωματοποίηση είναι το φαινόμενο που δημιουργείται από την καθ' ύψος μεταβολή της θερμοκρασίας και αποτελεί ίσως τον πιο σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την οξυγόνωση του νερού, την παραγωγή πλαγκτού και γενικά τη διαβίωση των υδρόβιων οργανισμών. Τη περίοδο του χρόνου που αρχίζει η άνοιξη το νερό είναι αναμεμιγμένο καλά, με ομοιόμορφη καθ' ύψος θερμοκρασιακή κατανομή και με υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου. Όταν η μέση ατμοσφαιρική θερμοκρασία υπερβεί αυτήν του νερού, τότε δημιουργείται στην επιφάνεια της λίμνης ή της θάλασσας ένα στρώμα νερού με θερμοκρασία μεγαλύτερη από αυτήν των βαθύτερων στρωμάτων. Το στρώμα αυτό είναι ελαφρύτερο και έτσι επιπλέει εμποδίζοντας άλλες μάζες νερού να ανέβουν στην επιφάνεια και να προσλάβουν οξυγόνο. Οι τρεις χαρακτηριστικές ζώνες που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι το επιλήμνιο, το μεταλήμνιο και το υπολήμνιο.



Εικόνα 1.2.-2.Θερμική στρωμάτωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε λίμνες

Το φθινόπωρο, που η μέση ατμοσφαιρική θερμοκρασία πέφτει κάτω από αυτήν του νερού, τα επιφανειακά στρώματα ψύχονται και σαν πιο βαριά βυθίζονται προκαλώντας ανάμιξη και μεταφέροντας οξυγόνο στο υπολίμνιο. Το φαινόμενο της ανάμιξης συνεχίζεται μέχρι τη επόμενη άνοιξη.

Από την θερμική στρωμάτωση εξαρτάται και η άνοδος του πλούμιου από τα συστήματα υποθαλάσσιων αγωγών και διαχυτήρων που χρησιμοποιούνται για τη διάθεση αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων στη θάλασσα. Στην περίπτωση που τα νερά είναι στρωματοποιημένα, το πλούμιο μεταφέρει κατά την άνοδό του τις ψυχρές μάζες των αποβλήτων αλλά και του θαλασσινού νερού με το οποίο έχουν αραιωθεί τα απόβλητα. Αυτό συνεχίζεται έως ότου εξισωθεί η πυκνότητα του πλούμιου με αυτήν του νερού. Σε περιβάλλον όπου δεν υπάρχει θερμική στρωμάτωση το πλούμιο ανεβαίνει πάντα στην επιφάνεια μιας και η πυκνότητα των αποβλήτων είναι πάντα μικρότερη από αυτήν της θάλασσας.

Η άνοδος του πλούμιου επηρεάζει την αραιώση των αποβλήτων, άρα και την απόδοση και τη διαστασιολόγηση των συστημάτων διάθεσης. Επίσης η θερμοκρασιακή στρωμάτωση σχετίζεται άμεσα με την ποιότητα του νερού και επηρεάζει σημαντικά την προσομοίωση της συμπεριφοράς αποδεκτών. Από τα παραπάνω φαίνεται καθαρά ότι η ένταση της θερμικής στρωμάτωσης αποτελεί βασική παράμετρο σχεδιασμού των συστημάτων διάθεσης αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων.

Κυματισμοί και Ρεύματα

Παλίρροια: Η αμοιβαία έλξη των ουράνιων σωμάτων και κατά κύριο λόγο της Σελήνης και του Ηλίου με τη Γη προκαλούν βαθμιαία ανύψωση και ταπείνωση της στάθμης της θάλασσας μέσα στην ημέρα, που ονομάζεται παλίρροια. Η παλίρροια φτάνει ένα μέγιστο που ονομάζεται πλήμμη και κατόπιν πέφτει σε ένα ελάχιστο που καλείται ρηχία. Το φαινόμενο της παλίρροιας προκαλεί ρεύματα μεταβλητής ταχύτητας που επηρεάζονται από τη δύναμη Coriolis. Μια τυπική τιμή ταχύτητας είναι γύρω στο 1ν.μ./ώρα ή αλλιώς 0,5m/sec. Ένας άλλος σπουδαίος παράγοντας που επηρεάζει τις παλιρροιακές μεταβολές είναι η μορφή και ο προσανατολισμός της ακτογραμμής. Η Μεσόγειος είναι από τις τοποθεσίες της υψήλιου με πολύ μικρά έυρη παλίρροιας.

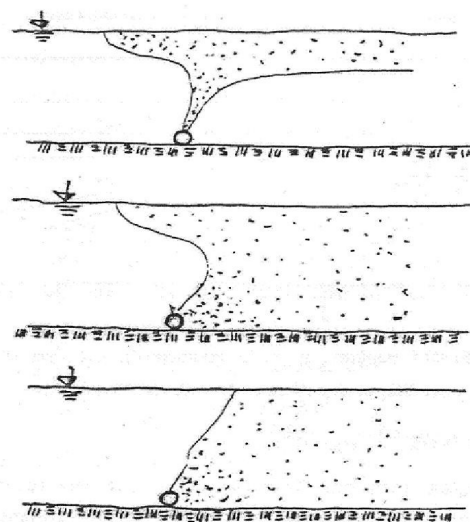
Ανεμογενή Κύματα: Γενικά ο άνεμος που πνέει πάνω από μια υδάτινη επιφάνεια δημιουργεί ανεμογενή κύματα και ρεύματα. Οι κυματισμοί στη θάλασσα παρουσιάζονται σαν διαδοχικές εξάρσεις και ταπεινώσεις της στάθμης ηρεμίας και επηρεάζονται από μια σειρά παράγοντες. Οι μεταβολές που μπορεί να υφίστανται είναι λόγω ρήχωσης, διάθλασης, περίθλασης, ανάκλασης και θραύσης. Στην μελέτη αγωγών εκβολής παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η παράκτια ζώνη μετά τη θραύση, όπου και λαμβάνει χώρα το μεγαλύτερο μέρος της διεργασίας διάβρωσης και απόθεσης υλικού της ακτής.³

Εξαιρετικά Φυσικά Φαινόμενα: Η ακτή δέχεται αρκετές φορές τις καταστροφικές συνέπειες ακραίων φαινομένων όπως είναι η σεισμική δράση ή η κυκλωνική αναταραχή. Σε καμία από τις δύο περιπτώσεις δεν μπορούμε να αποφύγουμε τις συνέπειες και έτσι αρκούμαστε στην αντισεισμική κατασκευή των έργων και στην τήρηση των κανόνων ασφαλείας.

Σαν αποτέλεσμα και των τριών παραπάνω φαινομένων έχουμε τα κύματα και τα θαλάσσια ρεύματα που επηρεάζουν σημαντικά τη διάχυση του πλουμίου. Ακριβή στοιχεία για την διεύθυνση και την ταχύτητα των ρευμάτων δεν υπάρχουν παρα μόνο για μεμονομένες περιοχές. Συχνά κατά τη χρήση μοντέλων γίνονται παραδοχές που βασίζονται στην γενίκευση των μετρήσεων και στην εμπειρία.

3 Μέμος Κων/νος, 2000

Στην διπλανή εικόνα (1.2.-3) φαίνονται τρεις διαφορετικές μορφές πεδίου που σχετίζονται με το αν το θαλάσσιο ρεύμα εκτείνεται σε όλο το βάθος του υδάτινου αποδοχεά.



εικόνα 1.2.-3

Διάθεση υγρών Αποβλήτων στη Θάλασσα

Όπως αναφέραμε και προηγούμενα, ανεξάρτητα από το αν έχει προηγηθεί ή όχι καθαρισμός, οι υποθαλάσσιοι αγωγοί 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 μεγαλύτερη ανάμιξη των υγρών αποβλήτων με το θαλάσσιο νερό.

Τα υγρά απόβλητα (αστικά και βιομηχανικά) είναι συνήθως ελαφρύτερα από το νερό της θάλασσας και γι'αυτό υφίστανται άνωση λόγω της διαφοράς στην πυκνότητά τους από το θαλάσσιο περιβάλλον με αποτέλεσμα να ανέρχονται προς την επιφάνεια της θάλασσας. 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 στην ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας ή αν θα παραμείνουν βυθισμένα μέσα στη θάλασσα μέχρι εκείνο τα βάθος που μηδενίζεται η διαφορά πυκνότητας.

Η τελικά απομένουσα συγκέντρωση των διάφορων ρύπων που μεταφέρουν τα υγρά απόβλητα μέσω του υποβρύχιου αγωγού στη θάλασσα, είναι αποτέλεσμα της επιμέρους διάλυσης που γίνεται στις διάφορες φάσεις της μεταφοράς των λυμάτων μέσα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Επιγραμματικά οι φάσεις είναι η (i)φάση της ανόδου των λυμάτων από την έξοδο του αγωγού, διάλυση λόγω τυρβώδους διάχυσης, (ii)φάση της μεταφοράς και διασποράς των λυμάτων λόγω της κίνησης των θαλασσιών μαζών, διάλυση λόγω οριζόντιας και κατακόρυφης διασποράς και (iii)φάση της βιοαποικοδόμησης, μείωση της συγκέντρωσης των μη συντηρητικών ρύπων λόγω βιοχημικών αλληλεπιδράσεων. Η πρώτη φάση αναφέρεται κυρίως σε κοντινό πεδίο και η δεύτερη στο μακρινό πεδίο.

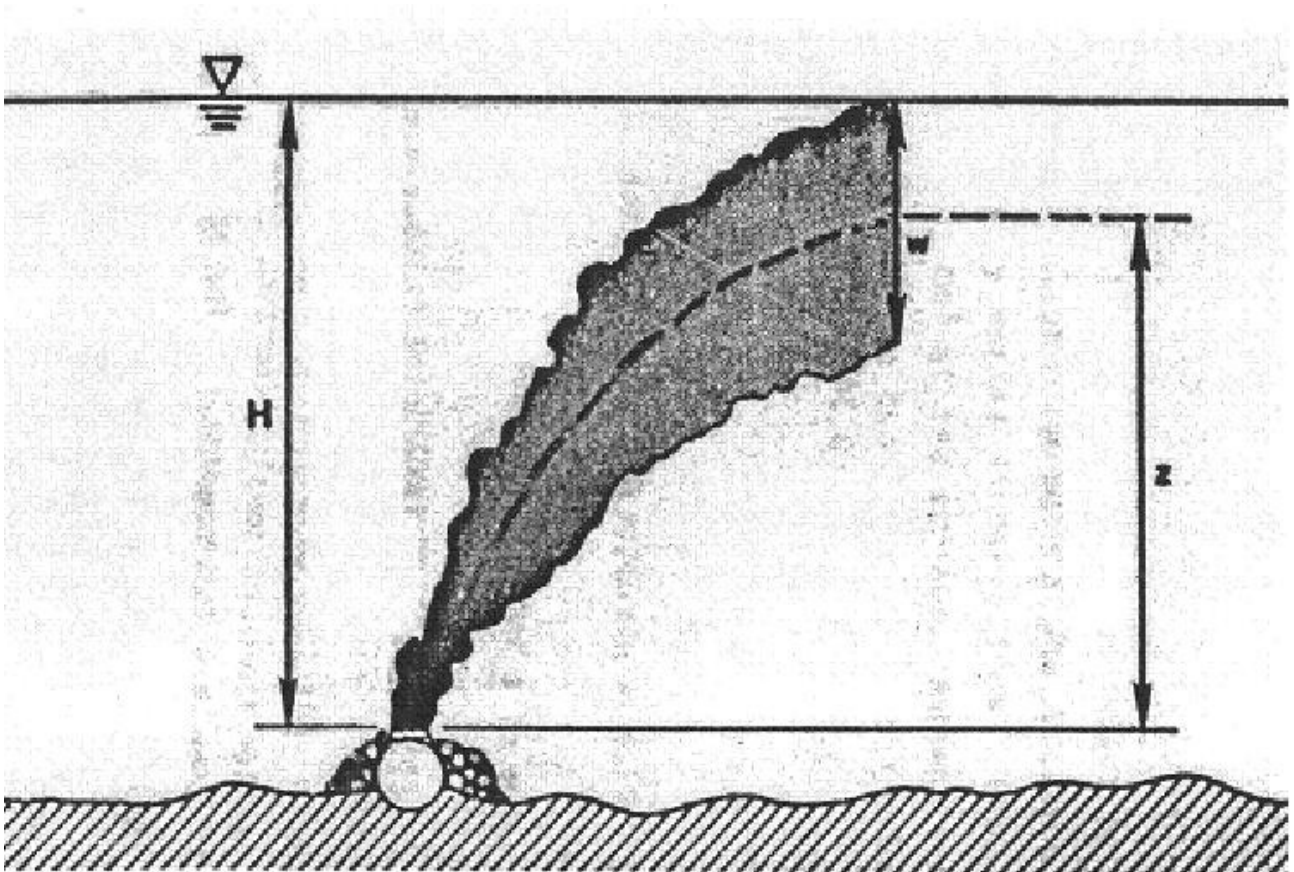
Εξετάζοντας την άνοδο των λυμάτων γίνεται η διάκριση τυρβώδους φλέβας και τυρβώδους πλουμίου.

(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 ξεπερνάει την άνωση 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 θαλάσσιου νερού, υπερσχύουν των δυνάμεων λόγω αρχικής ορμής. Το τυρβώδες πλούμιο εκτείνεται μέχρι το βάθος που αρχίζει η 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 γίνεται σχεδόν πάντα 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 του αγωγού εξαρτώνται από την αρχική ταχύτητα και από την διαφορά πυκνότητας.

Το τυρβώδες πλούμιο είναι δυνατόν να μην φτάσει μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας και να εμφανιστεί παγίδευση των υγρών αποβλήτων σε κάποιο σημείο κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια. Η εμφάνιση παγιδευμένου πλουμίου εμφανίζεται συνήθως στις περιόδους ύπαρξης στρωμάτωσης και ανάπτυξης θερμοκλινούς – πυκνοκλινούς στο θαλάσσιο περιβάλλον. Το θερμοκλινές εμφανίζεται από το τέλος της άνοιξης έως και την αρχή του φθινοπώρου και αναπτύσσεται σε βάθος 10-40m κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 1.2.-4. Ανύψωση πλουμίου από υποβρύχιο αγωγό με μονή θύρα σε περιβάλλον θαλασσίου ρεύματος χωρίς στρωμάτωση

1.3.Νομοθεσία και όρια για θαλάσσιο αποδέκτη

Η χώρα μας, με μήκος ακτών 15.021km, έχει τη μεγαλύτερη αναλογία μήκους ακτών ανά κάτοικο και μήκους ακτών ανά επιφάνεια ανάμεσα στις χώρες του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης(Ο.Ο.Σ.Α)⁴. Από περιβαλλοντικής άποψης περισσότερο από 95% των ακτών μας αναφέρεται ως καθαρό, το σχετικά μικρό όμως ποσοστό των ρυπασμένων ακτών συμβαίνει να έχει τη μεγαλύτερη τουριστική και παραθεριστική αξία. Η αύξηση του εξωτερικού αλλά και εσωτερικού πληθυσμού έχει δημιουργήσει θερινούς πληθυσμούς πολλαπλάσιους των χειμερινών σε πολλές κοινότητες, καθώς και μεγάλου μεγέθους τουριστικές εγκαταστάσεις. Αποτέλεσμα είναι η αύξηση τόσο των πηγών όσο και της ποσότητας των λυμάτων προς διάθεση σε επιφανειακούς και παράκτιους αποδέκτες. Τα παραπάνω εντείνουν το πρόβλημα ρύπανσης των νερών, ιδιαίτερα κατά την περίοδο μέγιστης χρήσης τους. Παράλληλα πρέπει να αναφερθεί ότι η κατασκευή εγκαταστάσεων επεξεργασίας αμβλύνει σημαντικά το πρόβλημα.

4 Οικονομοπούλου και Οικονομόπουλος, 1999

1.3.1. Απαιτήσεις σε μονάδες επεξεργασίας

Οι ελάχιστες απαιτήσεις επεξεργασίας των αστικών λυμάτων για διάθεση σε υδάτινους αποδέκτες ορίστηκαν από την οδηγία 91/271.ΕΟΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης και από την τροποποίηση της οδηγίας 98/15/ΕΟΚ. Ο γενικός κανόνας έτσι όπως αρχικά ορίστηκε φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

<i>ι.π.(1000)</i>	<i>Γενικές απαιτήσεις</i>	<i>Αποδέκτες</i>		
		<i>Παράκτια νερά</i>	<i>Γλυκά νερά και εκβολές ποταμών</i>	<i>Ευαίσθητοι αποδέκτες</i>
0 – 2	---	Κατάλληλη επεξεργασία και/ή διαθεση	Κατάλληλη επεξεργασία και/ή διάθεση	Κατάλληλη επεξεργασία και/ή διάθεση
2 – 10			Β'βάθμια Α'βάθμια σε εκβολές με τεκμ.	Β'βάθμια
10 – 15	Β'βάθμια	Β'βάθμια Α'βάθμια σε εκβολές με τεκμ	Β'βάθμια	Β'βάθμια με αφαίρεση Ν ή/και Ρ
15 – 150	Β'βάθμια	Β'βάθμια Α'βάθμια σε εκβολές με τεκμ	Β'βάθμια	Β'βάθμια με αφαίρεση Ν ή/και Ρ
>150		Β'βάθμια Α'βάθμια σε εκβολές με τεκμ		

Τα φορτία που εκφράζονται σε ι.π. εκτιμώνται με βάση το μέγιστο εβδομαδιαίο φορτίο κατά τη διάρκεια του έτους που δέχεται η εγκατάσταση καθαρισμού. Με αυτόν τον ορισμό, τα φορτία ι.π. πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις εποχιακές μεταβολές και να εκτιμώνται με βάση το μέγιστο εποχιακό πληθυσμό κάθε πόλης.⁵

⁵ Κοινοτική οδηγία 91/271/ΕΟΚ

Όλοι οι μεγάλοι δήμοι της Κρήτης και αρκετές μεγάλες ξενοδοχειακές και τουριστικές μονάδες έχουν προχωρήσει στην κατασκευή μονάδων βιολογικού καθαρισμού. Ο αριθμός των μονάδων βιολογικού καθαρισμού για επεξεργασία των οικιακής φύσεως αποβλήτων καθορίζεται από τις ανάγκες εξυπηρέτησης των Ο.Τ.Α. καθώς και των ξενοδοχειακών και τουριστικών μονάδων. Ο απαιτούμενος αριθμός μονάδων επεξεργασίας σχετίζεται με τον αριθμό των μόνιμων κατοίκων και τον πληθυσμό κατά τους μήνες τουριστικής δραστηριότητας. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει πιο αναλυτικά τις απαιτήσεις:

<i>Εποχιακός Πληθυσμός</i>	<i>Αποδέκτης / Χρήση</i>			
	<i>Θάλασσα</i>	<i>Ποτάμια</i>	<i>Λίμνες</i>	<i>Άρδευση</i>
0 – 2.000	Α'βάθμια	Α'βάθμια	Α'βάθμια	Γ'βάθμια ή Λιμ.Σταθεροπ.
2.000 – 10.000	Α'βάθμια	Β'βάθμια	Β'βάθμια	Γ'βάθμια ή Λιμ.Σταθεροπ
10.000 – 150.000	Β'βάθμια	Β'βάθμια	Γ'βάθμια	Γ'βάθμια ή Λιμ.Σταθεροπ
>150.000	Β'βάθμια	-	-	-

Οι μεγάλες ξενοδοχειακές μονάδες και οι τουριστικές εγκαταστάσεις που σύμφωνα με την παρούσα νομοθεσία διαθέτουν μονάδες βιολογικού καθαρισμού και χρησιμοποιούν τα λύματα για άρδευση δεν διασφαλίζουν πάντα την προστασία της δημόσιας υγείας. Ανάλογη είναι η περίπτωση και για τις πολυπληθείς μικρότερες εγκαταστάσεις, τα λύματα των οποίων διατίθενται σε απορροφητικούς βόθρους, σε αμμόδη κυρίως εδάφη και κοντά στην ακτογραμμή.

Πιο συγκεκριμένα, στις πόλεις της Κρήτης που εξετάζουμε (Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο, Σητεία, Αγ.Νικόλαος και Ιεράπετρα) παρατηρείται ραγδαία αύξηση του πληθυσμού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες με αποτέλεσμα να αυξάνεται με τη σειρά της και η ποσότητα των λυμάτων. Πολλές ξενοδοχειακές και τουριστικές εγκαταστάσεις (π.χ. ταβέρνες, καντίνες, κέντρα διασκέδασης) βρίσκονται σε περιοχές κοντά στην ακτή ή ακόμα και πάνω στην ακτή. Από μετρήσεις που έχουν γίνει αλλά και από την εμπειρία κατοίκων του νησιού, συμπεραίνει κανείς ότι δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις που τα λύματα διατίθενται στην θάλασσα χωρίς να προηγηθεί η οποιαδήποτε επεξεργασία. Ο εμφανής ευτροφισμός σε παράκτια ποτάμια, ο συχνός χρωματισμός και οι οσμές στα θαλάσσια ύδατα είναι μόνο τα πιο σημαντικά αποτελέσματα του προβλήματος.

Μια περιβαλλοντικά ορθότερη λύση θα ήταν η εξυπηρέτηση των παραπάνω μονάδων με επέκταση του αποχετευτικού συστήματος παρακείμενων οικισμών για κοινή επεξεργασία και διάθεση αποβλήτων (π.χ. Ε.Ε.Λ Βόρειου Άξονα στον νομό Χανίων). Όπου αυτό δεν είναι εφικτό, σκόπιμη θα ήταν και η δημιουργία μικρών μονάδων επεξεργασίας σε κάθε ξενοδοχειακή μονάδα.

1.3.2.Όρια συγκεντρώσεων στα λύματα για τον θαλάσσιο αποδέκτη

Η ποιότητα των αποδεκτών εκφράζεται συνήθως από πληθώρα παραμέτρων μικροβιολογικών, φυσικών, χημικών κ.τ.λ. για πολλές από τις οποίες ορίζονται συγκεκριμένα, υποχρεωτικά και ενίοτε συνιστώμενα όρια. Τα συνιστώμενα όρια είναι αυστηρότερα από τα υποχρεωτικά και σε περιπτώσεις όπου σχετίζονται με την υγεία προσεγγίζουν τις κατευθυντήριες οδηγίες της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας ώστε να παρέχουν αυξημένη προστασία. Επειδή η ακριβής εφαρμογή των συνιστώμενων ορίων παρουσιάζει πολλές φορές δυσκολίες ορίζονται και τα ελάχιστα υποχρεωτικά όρια που πρέπει να τηρούνται παντού. Από την πληθώρα παραμέτρων που ορίζουν την ποιότητα των αποδεκτών, μόνο ένας περιορισμένος αριθμός σχετίζεται με την διάθεση λυμάτων από μικρούς Ο.Τ.Α.. Αυτό σημαίνει ότι οι παράμετροι αυτοί λαμβάνονται συνήθως υπόψη στον σχεδιασμό των συστημάτων επεξεργασίας και διάθεσης και η τήρηση των σχετικών ορίων επηρεάζει τη διαστασιολόγηση των παραπάνω εγκαταστάσεων.

Η μικροβιακή ρύπανση, σε συνάρτηση με την παρεχόμενη επεξεργασία, αποτελεί το κρίσιμο κριτήριο διαστασιολόγησης του συστήματος υποθαλάσσιων αγωγών διάθεσης λυμάτων. Αν ο υποθαλάσσιος αγωγός είναι σωστά σχεδιασμένος έτσι ώστε να παρέχει επαρκή αραίωση για την τήρηση των ορίων ποιότητας σε σχέση με τις μικροβιολογικές παραμέτρους, οι συγκεντρώσεις BOD και θρεπτικών είναι τόσο μικρές που δεν δημιουργούν πρόβλημα στον αποδέκτη.

Εκτός από την οδηγία 91/271/ΕΟΚ, που ορίζει τον αριθμό των μονάδων και τον τρόπο της επεξεργασίας, σχετική είναι και η οδηγία 76/106/ΕΟΚ για τη ποιότητα και τις μέγιστες επιτρεπτές συγκεντρώσεις κάποιων παραμέτρων στα νερά κολύμβησης. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα συνιστώμενα όρια :

<i>Στοιχεία</i>	<i>Συμβουλευτικά όρια σε συγκεντρώσεις(mg/l)</i>
BOD ₅	25
COD	125
Ολικά αιωρούμενα στερεά	35
Ολικός Φώσφορος	2
Ολικό Άζωτο	15
κολοβακτηρίδια	500αποικίες/100ml
pH	6-9

Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι αν η περιοχή του αποδέκτη είναι ευαίσθητη ή λιγότερο ευαίσθητη. Σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία ευαίσθητες περιοχές είναι:

α)φυσικές λίμνες γλυκών υδάτων, εκβολές ποταμών και παράκτια ύδατα όπου παρουσιάζεται ευτροφισμός ή όπου μπορεί, στο εγγύς μέλλον, να παρουσιασθεί ευτροφισμός αν δεν ληφθούν προστατευτικά μέτρα.

β)επιφανειακά γλυκά ύδατα προοριζόμενα για την άντληση πόσιμου νερού τα οποία θα μπορούσαν να περιέχουν νιτρικά ιόντα σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από εκείνη που προβλέπουν οι συναφείς διατάξεις της οδηγίας 75/440/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 16ης Ιουνίου 1975 περί της απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων επιφανείας που προορίζονται για την παραγωγή ποσίμου ύδατος στα κράτη μέλη.

Οι περιοχές που χαρακτηρίζονται λιγότερο ευαίσθητες είναι αυτές όπου η διάθεση λυμάτων δεν προκαλεί σημαντικά προβλήματα στο περιβάλλον (λόγω της μορφολογίας, της υδρολογίας ή των ειδικών υδραυλικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή αυτή)αλλά ούτε και στον άνθρωπο, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν προκαλεί καθόλου προβλήματα. Κατά τον προσδιορισμό των λιγότερο ευαίσθητων περιοχών, τα κράτη μέλη λαμβάνουν υπόψη τον κίνδυνο μεταφοράς του απορριπτόμενου φορτίου σε γειτονικές περιοχές, όπου μπορεί να επηρεάσει αρνητικά το περιβάλλον. Παραδείγματα λιγότερο ευαίσθητων περιοχών είναι οι ανοιχτοί όρμοι, οι εκβολές ποταμών και άλλα παράκτια ύδατα με καλή εναλλαγή ύδατος, στα οποία θεωρείται απίθανο να παρουσιαστεί ευτροφισμός ή εξάντληση οξυγόνου εξαιτίας της απόρριψης αστικών λυμάτων.

1.3.3. Δειγματοληψία σε παράκτια ύδατα

Τα προγράμματα δειγματοληψίας σε παράκτια ύδατα ορίζονται από τις οδηγίες της Ε.Ε. 76/106/EEC (για την ποιότητα νερών κολύμβησης) και 78/659/EEC (για καλλιέργεια οστρακόδερμων).

Τα δείγματα πρέπει να λαμβάνονται σε σημεία μέγιστης συγκέντρωσης λυόμενων και σε βάθος 30 εκατοστών από την επιφάνεια της θάλασσας. Η δειγματοληψία πρέπει να αρχίζει δύο εβδομάδες πριν από την περίοδο κολύμβησης και να έχει συχνότητα μια με δύο φορές την εβδομάδα. Για να είναι τα δείγματα ενδεικτικά, πρέπει να λαμβάνονται περιοδικά και οι έλεγχοι (χημικοί, γεωγραφικοί και τοπογραφικοί) να είναι λεπτομερείς. Αν τα αποτελέσματα των μετρήσεων δείξουν ότι υπάρχει κάποια ρυπογόνος και επικίνδυνη εκβολή στην θάλασσα, τότε πρέπει να ακολουθήσουν περαιτέρω έλεγχοι. Συμπληρωματική δειγματοληψία πρέπει να πραγματοποιείται ακόμα και αν υπάρχει υπόνοια απόθεσης λυμάτων που μπορούν να μειώσουν την ποιότητα των υδάτων. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι η ίδια η λήψη των δειγμάτων δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να επηρεάζει την ποιότητα του αποδέκτη και των υδάτων του.

Η μέτρηση των εξεταζόμενων παραμέτρων για σχεδιασμό αγωγών διάθεσης, πρέπει να γίνεται σε χαρακτηριστικά σημεία της διαδρομής που αναμένεται να ακολουθήσει το πλούμιο κατά τη διάρκεια της πορείας του προς την ακτή και σε διάφορα βάθη. Οι μετρήσεις θα πρέπει να καλύπτουν όλο τον ετήσιο κύκλο μεταβολών, επειδή όμως κάτι τέτοιο θα ήταν πολύ δαπανηρό συνήθως γίνονται υπολογισμοί και μετρήσεις για την περίοδο του καλοκαιριού, οπότε και οι συνθήκες αραίωσης είναι πιο δυσμενείς λόγω της στρωμάτωσης των υδάτων.

Σε περιπτώσεις όπου η μορφολογία του πυθμένα είναι πιο περίπλοκη και τα φυσικά χαρακτηριστικά της περιοχής είναι σύνθετα, απαιτείται αύξηση των σημείων μέτρησης και χρήση πρόσθετων τεχνικών, όπως είναι η χρήση σηματοδύρων για την καταγραφή της διαδρομής τους.⁶

6 Οικονομοπούλου και Οικονομόπουλος, 2005

1.3.4.Χαρακτήρας των ορίων και η στατιστική τους φύση

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα όρια δεν έχουν όλα τη σημασία του απόλυτου ορίου. Τα συνιστώμενα όρια υποδεικνύουν μια ανώτατη τιμή, η οποία συνίσταται να μην ξεπεραστεί, ενώ έχουν θεσπιστεί και ανώτατα υποχρεωτικά όρια, τα οποία αν ξεπεραστούν έχουν σαν αποτέλεσμα σημαντική μείωση της ποιότητας των υδάτων και αύξηση της επικινδυνότητας για οποιαδήποτε χρήση.

Η ποιότητα των νερών ενός αποδέκτη θεωρείται ότι συμμορφώνεται με τις κοινοτικές οδηγίες, ακόμα και αν το 95% των μετρημένων συγκεντρώσεων είναι χαμηλότερα από τα υποχρεωτικά ανώτατα επιτρεπτά όρια. Οι συγκεντρώσεις ολικών κολοβακτηριδίων (total coliform) πρέπει να είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια σε ποσοστό 90%, ενώ για τα fecal coliforms το ποσοστό αυτό είναι 80%. Αν εξαιρέσει κανείς τις συγκεντρώσεις μικροοργανισμών, το pH και τδιαλυμένο οξυγόνο, οι λοιπές συγκεντρώσεις πρέπει να βρίσκονται μέσα στα επιτρεπτά όρια μόνο κατά 50%.⁷

Αυτό που πρέπει να επιτυγχάνεται σε καθε περίπτωση είναι ένας λογικός συνδυασμός παραμέτρων και μια ασφαλής και περιβαλλοντικά ορθή διαχείριση και διάθεση των αποβλήτων.

⁷ Κοινοτική οδηγία 76/106/ΕΟΚ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.

2.1.Διάχυση

Η συγκέντρωση των ρύπων σε δεδομένο αποδέκτη εξαρτάται από την αραίωση που επιτυγχάνεται ανάμεσα στο σημείο εκβολής και τη θέση του αποδέκτη. Η ολική αραίωση αποτελεί το προϊόν των ακόλουθων τριών διαφορετικών μηχανισμών:

1. Η αρχική αραίωση (S_1), καθώς τα λύματα ανέρχονται από το σημείο εκβολής λυμάτων προς την επιφάνεια ή το ενδιάμεσο σημείο τελικής ισορροπίας. Κατά την άνοδο υπάρχει έντονη ανάμειξη και έτσι επιτυγχάνεται μεγάλος βαθμός αραίωσης.
2. Η αραίωση λόγω διασποράς στο μακρινό πεδίο(S_2), που λαμβάνει χώρα καθώς τα λύματα μεταφέρονται με τα ρεύματα από το σημείο ισορροπίας , μετά το πέρας της αρχικής ισορροπίας.
3. Η ισοδύναμη αραίωση λόγω φθοράς των μη-συντηρητικών ρύπων(S_3).

Η ολική αραίωση ισούται με το γινόμενο των τριών επιμέρους αραιώσεων και δίνεται από την εξής εξίσωση:

$$S = S_1 S_2 S_3 \quad (2.1.1.)$$

Η θερμική στρωμάτωση του θαλασσινού νερού, σύνηθες φαινόμενο από την άνοιξη έως τις αρχές του φθινοπώρου, εμποδίζει την άνοδο των αποβλήτων και περιορίζει την αρχική αραίωση. Η πρώτη παραδοχή που πρέπει λοιπόν να κάνουμε κατά την ανάλυσή μας είναι ότι η πυκνότητα του νερού μεταβάλλεται κατακόρυφα γραμμικά.

Η ανάλυση για την αραίωση λόγω διασποράς βασίζεται στην παραδοχή χωρικά ομοιόμορφου ρεύματος. Αν και τα παράκτια ρεύματα δεν διατηρούν συνήθως σταθερή κατεύθυνση για μεγάλα χρονικά διαστήματα, τα μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης της αραίωσης λόγω διασποράς

βασίζονται σε αυτήν την παραδοχή διότι με σωστά επιλεγμένες τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών μπορούν να προβλέψουν ικανοποιητικά τις δυσμενέστερες συνθήκες αραίωσης, κάτω από τις οποίες, σύμφωνα με τη συνήθη πρακτική, διαστασιολογούνται τα νέα συστήματα αγωγών και αξιολογείται η απόδοση των υφιστάμενων.

Παρακάτω παρατίθεται συστηματική συλλογή των σχέσεων που ισχύουν υπό τις παραδοχές που αναφέραμε για την πρόβλεψη της αρχικής αραίωσης S_1 , της αραίωσης λόγω διασποράς σε μακρινό πεδίο S_2 και της ισοδύναμης αραίωσης λόγω φθοράς S_3 .

Αρχική αραίωση από αγωγούς με γραμμικό διαχυτή

Η αραίωση επηρεάζεται από την κατεύθυνση του γραμμικού διαχυτή σε σχέση με την κατεύθυνση του ρεύματος. Για τον λόγο αυτό συναντιούνται στη βιβλιογραφία ξεχωριστές μαθηματικές και γραφικές σχέσεις για τον υπολογισμό των βασικών παραμέτρων για γραμμικούς διαχυτές σε κάθετη (90°) και παράλληλη (0°) θέση σε σχέση με το ρεύμα.

Αρχική αραίωση σε γραμμικά στρωματοποιημένο περιβάλλον

Η μέση αραίωση στο τέλος του κοντινού πεδίου από γραμμικούς διαχυτές με θύρες σχήματος “T” μπορεί να υπολογιστεί από τις ακόλουθες σχέσεις (Roberts'89a):

$$S_1 = 2 \frac{b^{2/3}}{\frac{Q}{L} N} (2,19 F^{1/6} - 0,52) \quad \text{για } 90^\circ \quad (2.1.2.)$$

$$b = (g' \frac{Q}{L}) \quad (2.1.3.)$$

$$N = (\frac{g}{\rho a} \frac{d\rho_a}{dz})^{1/2} \quad (2.1.4.)$$

$$F = (\frac{U^3}{b}) \quad (2.1.5.)$$

$$g' = \left(g \frac{\rho_a - \rho_{ef}}{\rho_a} \right) \quad (2.1.6.)$$

όπου:

Q = παροχή αποβλήτων, (m^3/s)

L = μήκος διαχυτήρα (m)

b = αρχική ανωστική ροή (buoyancy flux) ανά μονάδα μήκους διαχυτή (m^3/s^3)

N = ανωστική συχνότητα (buoyancy frequency) που χαρακτηρίζει τη στρωμάτωση του περιβάλλοντος. ($1/s$)

F = πυκνομετρικός αριθμός Froude

g' = τροποποιημένη επιτάχυνση λόγω βαρύτητας (m/s^2)

U = ταχύτητα ρεύματος (m/s)

g = επιτάχυνση λόγω βαρύτητας (m/s^2)

ρ_a = πυκνότητα του θαλασσινού νερού στο επίπεδο της θύρας (kg/m^3)

ρ_{ef} = πυκνότητα των αποβλήτων στο επίπεδο της θύρας (kg/m^3)

Ύψος ανόδου πλουμίου σε γραμμικά στρωματοποιημένο περιβάλλον

Το μέγιστο ύψος ανόδου της άνω επιφάνειας του πλουμίου $z(m)$ μπορεί να υπολογιστεί από τις ακόλουθες εξισώσεις (Roberts 1989a):

$$z = 2,74 \frac{b^{1/3}}{N} \quad \text{για } 0,1 \leq F \leq 1 \quad (2.1.7.)$$

$$z = 2,5 \frac{b^{1/3}}{N} F^{-1/6} \quad \text{για } 1 \leq F \leq 100 \quad (2.1.8.)$$

Οι παραπάνω εξισώσεις ισχύουν μόνο σε περίπτωση όπου το πλούμιο παραμένει πλήρως

βυθισμένο (ύψος πλουμίου z χαμηλότερο από το βάθος της θάλασσας H) και προβλέπουν με ακρίβεια την τιμή του S_1 στο διάστημα $0,1 < F < 100$. Σε περίπτωση που η θάλασσα είναι πολύ ρηχή και το πλούμιο ανέρχεται στην επιφάνεια ($z > H$), χρησιμοποιούμε τις σχέσεις που δίνονται παρακάτω για μη στρωματοποιημένο περιβάλλον.

Μήκος κοντινού πεδίου σε γραμμικά στρωματοποιημένο περιβάλλον

Το μήκος της ζώνης αρχικής ανάμειξης για κάθετους διαχυτες X_i (m), γνωστό και ως κοντινό πεδίο (near field) μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση (Roberts 1989b):

$$\frac{X_i}{b^{1/3}} = 8,5 \frac{F^{1/3}}{N} \quad \text{για } 90^\circ \quad (2.1.9.)$$

όπου X_i = απόσταση κατά την οποία η αρχική αραίωση φτάνει στην οριακή της τιμή, γνωστή και ως περιοχή αρχικής ανάμειξης ή ως κοντινό πεδίο (m).

Εισάγοντας την εξίσωση (2.1.5.) στην εξίσωση (2.1.9.) προκύπτει ότι

$$X_i = 8,5 \frac{U}{N} \quad \text{για } 90^\circ \quad (2.1.10.)$$

Εύρος πλουμίου σε γραμμικά στρωματοποιημένο περιβάλλον.

Το εύρος του πλουμίου w_0 (m) στο τέλος του κοντινού πεδίου για κάθετα ρεύματα δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση (Roberts 1989b) :

$$\frac{w_0}{L} = 1 + 0,17 \left(\frac{x_i}{b^{1/3}} N F^{-1/3} \right)^{1/2} \quad (2.1.11.)$$

όπου w_0 = πλάτος του πλουμίου στην αρχή του μακρινού πεδίου ή στο τέλος του κοντινού πεδίου (m)

Εισάγοντας τις εξισώσεις (2.1.5.) και (2.1.10) στην εξίσωση (2.1.11) προκύπτει ότι :

$$w_0 = 1,5 L \quad \text{για } 90^\circ \quad (2.1.12.)$$

Για παράλληλα ρεύματα ισχύει η εξίσωση(Roberts1989b):

$$w_0 = 0,70 X_i F^{-1/3} \quad \text{για } 0^\circ \quad (2.1.13.)$$

Αρχική αραίωση σε μη στρωματοποιημένο περιβάλλον

Τα παράκτια ύδατα τείνουν να μένουν μη στρωματοποιημένα από το φθινόπωρο μέχρι την αρχή της άνοιξης, επιτρέποντας στα πλούμια να ανέρχονται στην επιφάνεια. Ακόμα και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, σε κάποιες περιοχές, η θάλασσα μπορεί να παρουσιάσει ασθενή στρωματοποίηση και να μην παγιδεύσει τα λύματα. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να χρησιμοποιούνται οι διορθώσεις για το μη στρωματοποιημένο περιβάλλον.

Η μέση διάχυση στο τέλος του κοντινού πεδίου μπορεί να υπολογιστεί από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$S_1 = 1,41 \frac{UH}{\frac{Q}{L}} 0,58 \quad \text{για } 90^\circ, \quad 0,1 \leq F \leq 100 \quad (2.1.14)$$

$$S_1 = 1,41 \frac{UH}{\frac{Q}{L}} (0,3653 F^{-0,185}) \quad \text{για } 45^\circ, \quad 0,1 \leq F \leq 1 \quad (2.1.15.)$$

$$S_1 = 1,41 \frac{UH}{\frac{Q}{L}} (0,3715 - 0,005 \ln F) \quad \text{για } 45^\circ, \quad 1 \leq F \leq 100 \quad (2.1.16.)$$

$$S_1 = (0,085 \ln F + 1,545) \frac{UH}{\frac{Q}{L}} (0,314 F^{-0,2495}) \quad \text{για } 0^\circ, \quad 0,1 \leq F \leq 20 \quad (2.1.17)$$

$$S_1 = (0,085 \ln F + 1,545) \frac{UH}{\frac{Q}{L}} (0,188 - 0,0128 \ln F) \quad \text{για } 0^\circ, \quad 20 \leq F \leq 100 \quad (2.1.18.)$$

Η εξίσωση (2.1.14) αναφέρεται στην περίπτωση που τα ρεύματα είναι κάθετα στον διαχυτή και η διάχυση είναι μέγιστη, οι εξισώσεις (2.1.15) και (2.1.16) στην περίπτωση που σχηματίζεται γωνία 45° και τέλος οι εξισώσεις (2.1.17) και (2.1.18) στην περίπτωση που τα ρεύματα είναι παράλληλα στον διαχυτή και η διάχυση ελάχιστη.

Μήκος κοντινού πεδίου σε μη στρωματοποιημένο περιβάλλον

Το μήκος της περιοχής αρχικής ανάμειξης X_i για κάθετα ρεύματα υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$X_i = H (0,566 F + 3.389) \quad (2.1.19.)$$

Λόγω έλλειψης εξισώσεων για 45° και 0° , μπορούμε να υποθέσουμε ότι το X_i ισούται με αυτό για 90° .

Εύρος πλουμίου σε μη στρωματοποιημένο περιβάλλον

Το εύρος του πλουμίου στο τέλος του κοντινού πεδίου w_0 για 90° , 45° και 0° μπορεί να υπολογιστεί από τις σχέσεις (2.1.12) και (2.1.13). Αυτό μπορεί να υποτιμήσει το εύρος w_0 καθώς η

πραγματική εξάπλωση σε μη στρωματοποιημένο περιβάλλον είναι μεγαλύτερη.

Αραίωση λόγω διασποράς στο μακρινό πεδίο

Κατά την οριζόντια μεταφορά του πλουμίου στο μακρινό πεδίο, που αποτελεί συνέχεια του κοντινού πεδίου, επιτυγχάνεται πρόσθετη αραίωση μέσω του μηχανισμού της τυρβώδους διάχυσης κατά τον οριζόντιο άξονα του πλουμίου. Η αραίωση λόγω διασποράς υπολογίζεται από την πολύ γνωστή σχέση του Brooks(1960):

$$S_2 = \frac{1}{\operatorname{erf} \sqrt{\frac{1,5}{(1 + \frac{2}{3}\beta \frac{X_f}{w_0})^3} - 1}}} \quad (2.1.20.)$$

όπου:

erf = συμβολίζει την συνάρτηση σφάλματος

X_f = μήκος μακρινού πεδίου, το οποίο ορίζεται ως η απόσταση από το

τέλος του κοντινού πεδίου μέχρι το όριο της περιοχής χρήσης

(σημείο που πρέπει να τηρούνται τα όρια ποιότητας της θάλασσας

ανάλογα με τη χρήση, π.χ. κολύμβηση) (m)

β = αδιάστατος αριθμός οριζόμενος από την παρακάτω σχέση :

$$\beta = \frac{12 e_0}{U w_0} \quad (2.1.21.)$$

όπου:

e_0 = συντελεστής διάχυσης πλουμίου στην αρχή του μακρινού πεδίου

(m²/s) ο οποίος υπολογίζεται από την σχέση που ακολουθεί:

$$\varepsilon_0 = \frac{0,01 (100w_0)^{4/3}}{10^4} \quad (2.1.22.)$$

Η εξίσωση (2.1.20) για τον υπολογισμό της αραίωσης λόγω διασποράς S_2 ισχύει βάσει των παρακάτω παραδοχών⁸:

- i) Αμελητέα διασπορά κατά την κατακόρυφο
- ii) Αμελητέα διασπορά κατά μήκος του άξονα του πλουμίου
- iii) Ομοιόμορφο πεδίο ροής (το πεδίο λυμάτων κινείται με την ταχύτητα του ρεύματος)
- iv) Ο συντελεστής διάχυσης κατά την κάθετη έννοια προς το ρεύμα εξαρτάται από το εύρος του πεδίου.
- v) Η επιφανειακή συγκέντρωση σε διατομές κάθετες προς το ρεύμα ακολουθούν κατανομή Gauss.

Ισοδύναμη Αραίωση λόγω φθοράς

Για τις συγκεντρώσεις μικροοργανισμών, για τους οποίους μπορεί να θεωρηθεί ότι η θνησιμότητα είναι ανάλογη της συγκέντρωσης, η ισοδύναμη αραίωση S_3 υπολογίζεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$S_3 = \exp\left(2,303 \frac{t/3600}{T_{90}}\right) \quad (2.1.23.)$$

$$t = \frac{X}{U} \quad (2.1.24.)$$

$$X = X_i + X_f \quad (2.1.25.)$$

όπου

T_{90} = γεωμετρικός μέσος όρος του χρόνου που απαιτείται για την μείωση των

⁸ Brooks, 1960

μικροοργανισμών κατά 90% στο περιβάλλον των νερών του αποδέκτη (h)
t = χρόνος διαδρομής λυμάτων από το σημείο εκβολής τους (t=0) έως το
όριο της περιοχής χρήσης (s)
X = απόσταση μεταξύ του σημείου εκβολής λυμάτων και του ορίου περιοχής χρήσης (m)

2.2.Σχεδιασμός και διαστασιολόγηση υποθαλάσσιων αγωγών

Οι αγωγοί εκβολής κατασκευάζονται συνήθως από υλικά όπως ο χάλυβας, το ατσάλι, το σκυρόδεμα και τα πλαστικά (πολυβινίλιο, πολυαιθυλένιο, FRP, κ.τ.λ.). Η επιλογή της θέσης του αγωγού που εξυπηρετεί μια οικιστική περιοχή γίνεται αφού ληφθούν υπόψη τόσο οι παράμετροι της χερσαίας ζώνης(υψόμετρα, κλίσεις, χρήσεις γης κ.τ.λ.)όσο και οι παράμετροι του τελικού αποδέκτη(βάθη, ποιότητα πυθμένα, ικανότητα ανανέωσης υδάτων, τοπογραφία πυθμένα κ.τ.λ.). Με την επιλογή της θέσης γίνεται και η επιλογή του υλικού του αγωγού και καθορίζονται η διάμετρος και το πάχος του. Αποφασίζεται ο εγκιβωτισμός του σε όρυγμα αναλόγως της φύσης του εδάφους, των ωκεανογραφικών παρταμέτρων και της τοπογραφίας του πυθμένα και αφού επιλεγθούν τα έρματα και ελέγχεται η ευστάθειά του.

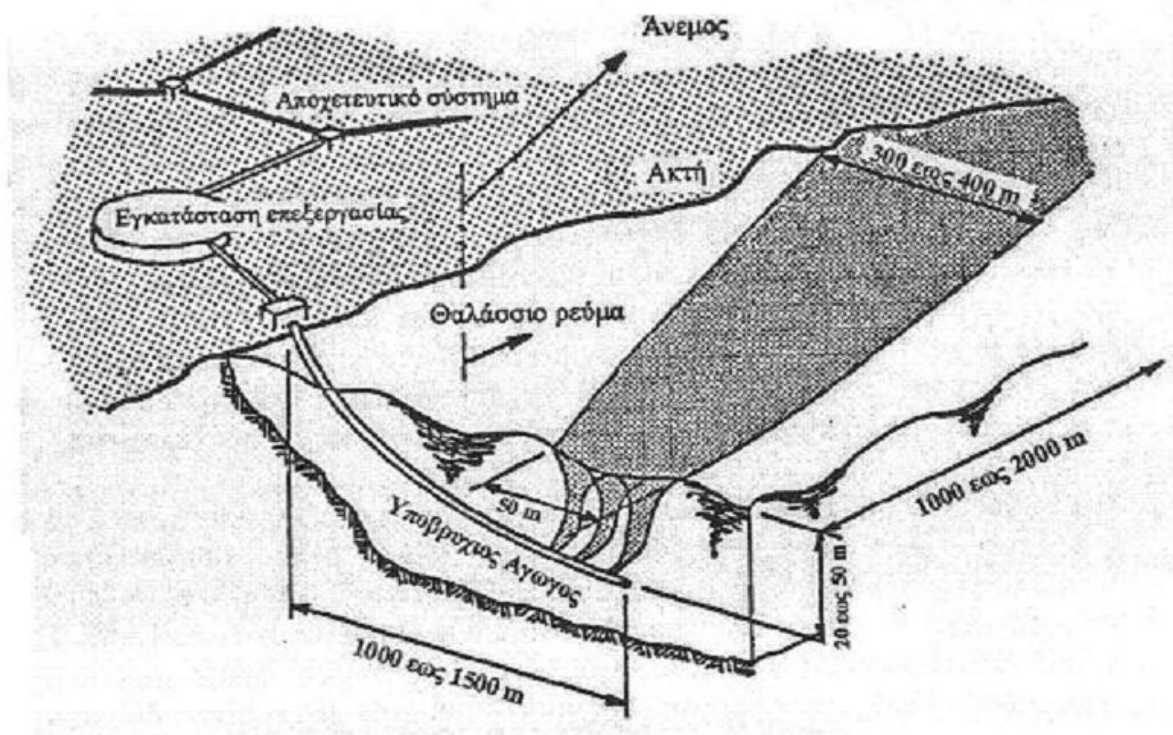
Η καλή υδραυλική λειτουργία του αγωγού είναι προϋπόθεση για τη επαρκή διασπορά των λυμάτων στη θάλασσα αλλά και για την μακροβιότητα του έργου. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία και την εμπειρία των μηχανικών στον σχεδιασμό σχετικών έργων και εγκαταστάσεων⁹, πρέπει να τηρούνται οι ακόλουθες αρχές κατά τον σχεδιασμό και τη λειτουργία του αγωγού:

- Απλότητα λειτουργίας. Πρέπει να αποφεύγονται υδραυλικές συσκευές (π.χ. βαλβίδες εξαέρωσης) κατά μήκος του αγωγού και ιδιαίτερα μακριά από έργα κεφαλής. Παρόμοιες συσκευές πέφτουν σύντομα σε αχρηστία λόγω αδυναμίας συνεχούς ελέγχου.
- Συνεχής κλίση του αγωγού προς τη θάλασσα. Πρέπει να αποφεύγονται τοπικά υψηλά και χαμηλά σημεία, όπου υπάρχει κίνδυνος συσσώρευσης αερίων και φερτών υλικών αντίστοιχα, με αποτέλεσμα τη μείωση της υδραυλικής αγωγιμότητας του αγωγού.
- Σύμφωνα με την ισχύουσα πρακτική, ευθυγράμμιση του διαχυτήρα ώστε να είναι κάθετος στο επικρατόν ρεύμα. Για συντηρητικό σχεδιασμό θεωρείται ότι το επικρατόν ρεύμα έχει

⁹ Κρεστενίτης Γ., 1997

κατεύθυνση προς την ακτή.

- Ο αγωγός να βρίσκεται σε όλο του το μήκος κάτω από την ελάχιστη στάθμη της θάλασσας. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται σημαντικά ο κίνδυνος εισροής αέρα και μείωσης της υδραυλικής του ικανότητας.
- Εξασφάλιση ελάχιστης ταχύτητας ροής της τάξης των 0,5-0,9 m/sec στον αγωγό για την αποφυγή επικαθήσεων. Από την άλλη η ταχύτητα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2,5-3,0 m/sec έτσι ώστε να μην υπάρχει υπερβολική απώλεια πίεσης. Γενικά συνίσταται υπολογισμός της διαμέτρου ώστε η μέση ημερήσια ταχύτητα ροής να είναι περίπου 1 m/sec.
- Εξασφάλιση από την εισροή θαλασσινού νερού στον αγωγό. Το νερό της θάλασσας, σαν βαρύτερο από τα λύματα, αν εισέλθει στον αγωγό δημιουργεί μια “γλώσσα” πρακτικά ακίνητη, πάνω στην οποία κινούνται τα λύματα. Έτσι μειώνεται η παροχέτευτική ικανότητα του αγωγού και λαμβάνουν χώρα επικαθήσεις στερεών.
- Συνεχής λειτουργία του αγωγού, κάτι που αποτελεί προϋπόθεση για την αποφυγή θαλάσσιου νερού στον αγωγό.
- Προκειμένου όλα τα στόμια να πληρούνται κατά την λειτουργία από τα μεταφερόμενα λύματα, ώστε να μην συμβαίνει είσοδος θαλασσινού νερού, το σύνολο των διατομών όλων των θυρών εξόδου υπολογίζεται περίπου στο 50% έως 80% της διατομής του αγωγού εκβολής. Η διάμετρος των ανυψωτήρων να είναι τουλάχιστον 100mm για την αποφυγή αποφράξεων και για την δυνατότητα καθαρισμού.
- 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.



Εικόνα 2.2.-1. Σχηματική απεικόνιση συστήματος υποβρυχίου αγωγού και της αραίωσης των εκλυόμενων λυμάτων στη θάλασσα.

Όσον αφορά τον διαχυτήρα, ο σχεδιασμός του διέπεται και αυτός από μια σειρά αρχών που πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη. Αρχικά πρέπει να είναι επιχωμένος και να έχει συνεχές έρματα, βάρη δηλαδή που θα τον κρατούν σταθερό, με ικανές διακοπές για τους ανυψωτήρες. Οι ανυψωτήρες είναι προτιμότερο να έχουν τη μορφή Γ, πάντα εγκάρσια στον διαχυτήρα. Το κατακόρυφο στέλεχος του Γ πρέπει να εξέχει τουλάχιστον 0,80m από τον πυθμένα για την αποφυγή εμφράξεων από φερτά υλικά. Η σύνδεση του στομίου με το κατακόρυφο στέλεχος του Γ γίνεται με ανοξείδωτη φλάτζα και πλαστικά μπουλόνια που σε περίπτωση ζημιάς (π.χ. εμπλοκή δίχτυων) θραύονται ώστε να περιορίζεται η ζημιά στον συγκεκριμένο ανυψωτήρα. Ο διαχυτήρας πρέπει να καταλήγει σε φλάτζα με στόμιο ώστε να παρέχεται η δυνατότητα έκπλυσης του αγωγού όποτε υπάρχει ανάγκη. Για πρόσθετη προστασία του διαχυτήρα από δίχτυα, άγκυρες κ.τ.λ. πρέπει να τοποθετείται διάταξη σιδηροδοκών αγκυρωμένων σε τεχνητούς ογκόλιθους 3tn. Τέλος στην επιφάνεια της θάλασσας τοποθετείται σημαντήρας στο άκρο του διαχυτήρα.

Η διαδικασία κατασκευής ενός αγωγού διάθεσης λυμάτων επιφέρει αναπόφευκτα μια αλλαγή στην ισορροπία του θαλάσσιου οικοσυστήματος. Η δραστηριότητα που επιδρά πιο πολύ στους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς κατά την κατασκευή του αγωγού είναι η εκσκαφή και η

εναπόθεση των προϊόντων εκσκαφής. Η τελευταία μπορεί να συνεπάγεται αύξηση της απαίτησης για οξυγόνο στην περιοχή της απόρριψης, μείωση της διαύγειας και της διείσδυσης του ηλιακού φωτός, κάλυψη των φωλιών ψαριών και τροφής στον πυθμένα και άλλα. Αναπόφευκτες είναι επίσης και οι επιπτώσεις της λειτουργίας του αγωγού διάθεσης, αυτές όμως μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με τη διενέργεια σωστής περιβαλλοντικής μελέτης και με την επίβλεψη του έργου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του.

Η επιθεώρηση του αγωγού από δύτες ή με τη βοήθεια τηλεχειριζόμενων οχημάτων πρέπει να γίνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, π.χ. κάθε 6 μήνες. Η επιθεώρηση αποσκοπεί στον εντοπισμό υποσκαφών, αστοχίας σε αρμούς, ρηγματώσεων του αγωγού, καθιζήσεων, επιχώσεων και άλλων ζημιών που επηρεάζουν τη σωστή λειτουργία του αγωγού και προκαλούν προβλήματα στο θαλάσσιο περιβάλλον και δυσλειτουργίες στη διάθεση των λυμάτων της εγκατάστασης. Για παράδειγμα η εμφάνιση κηλίδας σε περιοχή εκτός διαχυτήρα ειδοποιεί για ενδεχόμενη ζημιά του αγωγού και θα πρέπει αμέσως να ελεγχθεί. Κατά διαστήματα ο αγωγός πρέπει να καθαρίζεται από ιζήματα που επικάθονται στα τοιχώματα με μηχανήματα απόφραξης που διατρέχουν όλο το μήκος του αγωγού.

Η παρακολούθηση της απόδοσης του αγωγού είναι κι αυτή μια διαδικασία που πρέπει να γίνεται τακτικά. Οι τιμές ρύπανσης είναι προτιμότερο να μετρώνται από δείγματα του αποδέκτη και όχι στην έξοδο των εγκαταστάσεων. Παρόλο που η λήψη δειγμάτων από τον αποδέκτη είναι αρκετά δαπανηρή υπόθεση, ελέγχει άμεσα την τήρηση των ορίων στα διάφορα επίπεδα των ρύπων. Ο έλεγχος περιλαμβάνει ποιότητα νερού, επιπλέοντα και χρωματισμό, δείγματα πυθμένα, δείγματα ψαριών και βένθου. Οι παράμετροι ελέγχου της ποιότητας του νερού περιλαμβάνουν το διαλυμένο οξυγόνο (DO), το pH, τα στερεά (SS), τα κολοβακτηρίδια, τη θερμοκρασία και τη διαύγεια. Οι τιμές αυτές λαμβάνονται σε μερικούς επίκαιρους σταθμούς του αποδέκτη και για διάφορα βάθη.

2.3.Περιγραφή του Μοντέλου

Αντικείμενο της παρούσας ανάλυσης και μελέτης είναι η γραφική επίλυση προβλημάτων υποθαλάσσιων αγωγών με διαχυτή κάθετο προς την κατεύθυνση του ρεύματος σε στρωματοποιημένο περιβάλλον. Η ανάλυση αυτή επιτρέπει την διαστασιολόγηση νέων αγωγών, καθώς και την εκτίμηση της αραίωσης από τους ήδη υφιστάμενους, θεωρώντας για τον σκοπό αυτό ταυτόχρονα και τους τρεις μηχανισμούς αραίωσης.

Η διαδικασία που θα ακολουθήσουμε περιλαμβάνει τρία στάδια: (i)Ορισμό «τυπικών συνθηκών», η ισχύς των οποίων ελαττώνει τον αριθμό των ανεξάρτητων μεταβλητών και απλοποιεί την επίλυση του προβλήματος, (ii)Γραφική επίλυση του απλοποιημένου προβλήματος και (iii)Προσαρμογή της γραφικής λύσης σε οποιεσδήποτε συνθήκες.

Η διαστασιολόγηση των νέων αγωγών και η εκτίμηση της απόδοσης των υφιστάμενων γίνεται, κατά τη συνήθη πρακτική, υπό δυσμενής συνθήκες έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η τήρηση των ορίων ποιότητας νερών κάτω από όλες τις συνθήκες. Η θερμική στρωμάτωση του θαλάσσιου νερού, που παρουσιάζεται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, περιορίζει την άνοδο του πλουμίου από το διαχυτή και μείνει την αρχική αραίωση. Αποτελεί επομένως δυσμενή συνθήκη και για το λόγο αυτό η ανάλυση υποθαλάσσιων αγωγών γίνεται συνήθως υπό συνθήκες θερμικής στρωμάτωσης.

(i)Ορισμός «Τυπικών Δυσμενών» Συνθηκών και Απλοποίηση του Προβλήματος

Στόχος του παρόντος σταδίου είναι ο ορισμός «τυπικών δυσμενών» συνθηκών, οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, σαν πρώτη προσέγγιση, σε ανοιχτές παράκτιες περιοχές με σχετικά ομαλή τοπογραφία του πυθμένα και δίχως εμφανείς ιδιαιτερότητες σε ότι αφορά την κατεύθυνση και την ένταση των ρευμάτων. Με χρήση των «τυπικών» αυτών συνθηκών απλοποιείται το πρόβλημα της διαστασιολόγησης νέων αγωγών ή υπολογισμού της απόδοσης υφιστάμενων, σε σημείο που μπορεί να λυθεί γραφικά.

Για τη Μεσόγειο θάλασσα και για τα τυπικά αστικά λύματα μπορούμε να δεχτούμε τις ακόλουθες πυκνότητες:

$$\rho_a = 1027,07 \quad (2.3.1.)$$

$$\rho_{ef} = 999 \quad (2.3.2.)$$

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού μπορούμε να δεχτούμε ότι η ακόλουθη τιμή της έντασης στρωμάτωσης είναι αρκετά υψηλή και κατά συνέπεια, στην περίπτωση απουσίας άλλων δεδομένων, είναι κατάλληλη για ανάλυση ως αντίξοη από πλευράς διασποράς:

$$\frac{dp_a}{dz} = 0,027 \quad (2.3.3.)$$

Η παράμετρος T_{90} για τα κολοβακτηρίδια έχει μετρηθεί στο πεδίο σε αρκετές περιοχές της Μεσογείου και αλλού. Οι περισσότερες μετρήσεις δίνουν τιμές μεταξύ 1,5 και 2,5 hours, αν και τιμές χαμηλότερες έως και 1hour αλλά και υψηλότερες, έως και 10 hours έχουν αναφερθεί. Με βάση τα παραπάνω είναι λογικό να δεχτούμε:

$$T_{90} = 2,5 \text{ hours} \quad (2.3.4.)$$

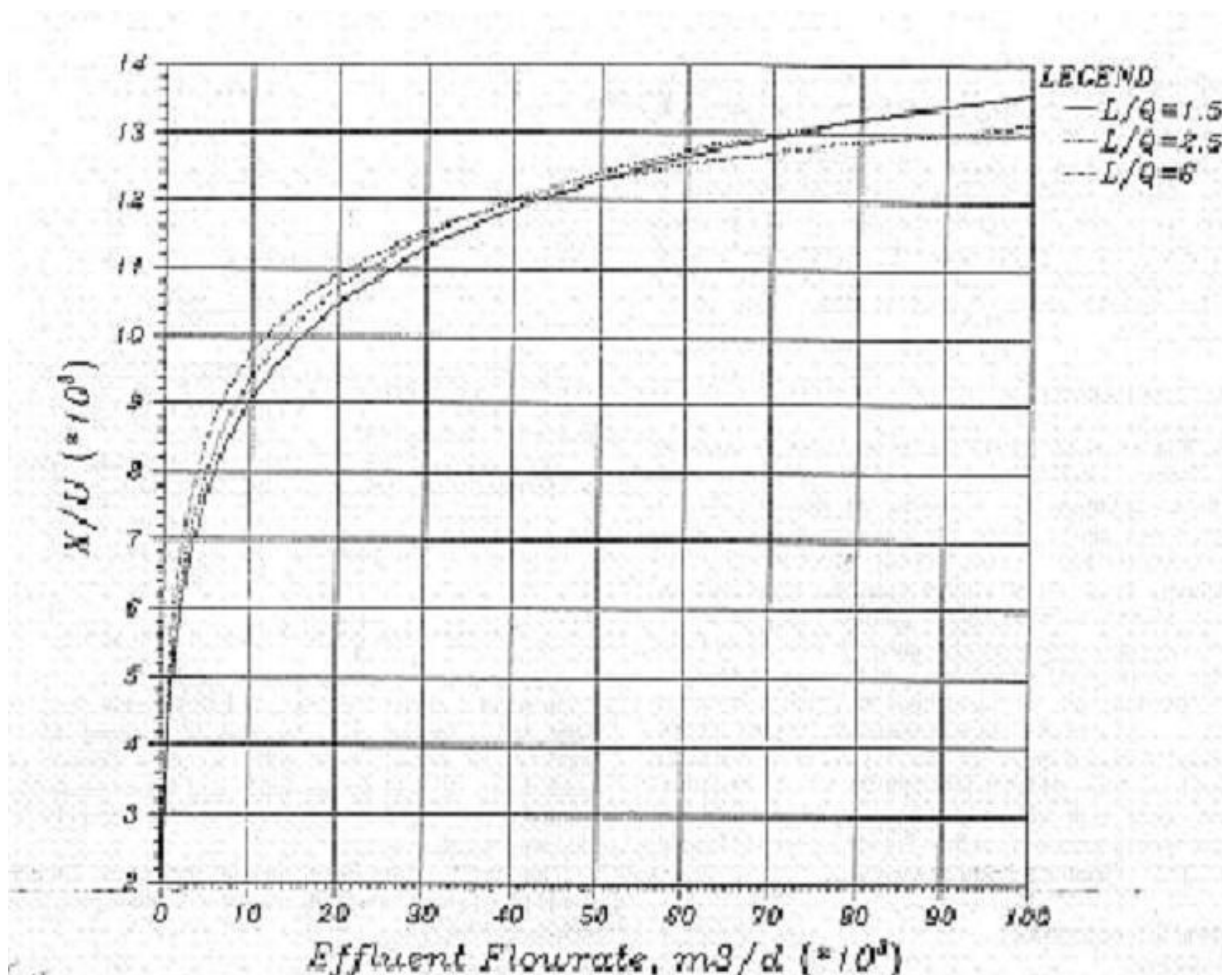
Το μήκος του διαχυτή εξαρτάται από την παροχή των λυμάτων και με βάση τη διεθνή

πρακτική είναι συνήθως περί τα 2,5 μέτρα ανά 1000m³ μέσης ημερήσιας παροχής. Επομένως:

$$\frac{L}{Q} = 216 \text{sec}/m^2 \quad (2.3.5.)$$

Από ανάλυση ευαισθησίας προκύπτει ότι η ολική αραίωση όπως υπολογίζεται από της εξίσωση (2.1.1.) και τις εξισώσεις (2.1.2.), (2.1.3.) έως (2.1.6.), (2.1.9.), (2.1.11.), (2.1.20.) έως (2.1.22.), (2.1.23.) και (2.1.24.) είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητη απ'το λόγο L/Q και αυτό ισχύει για κάθε λογικό συνδυασμό των υπόλοιπων ανεξάρτητων μεταβλητών. Το διάγραμμα της εικόνας 2.3.-1 φανερώνει την πολύ περιορισμένη εξάρτηση του απαιτούμενου μήκους του αγωγού X , μιας ιδιαίτερα ευαίσθητης μεταβλητής, από τις τιμές του λόγου L/Q . Κατά συνέπεια, η εξίσωση (2.3.5.) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απαληφθεί η μεταβλητή L από τις εξισώσεις που δίνουν την ολική αραίωση, δίχως να περιορίζει την ισχύ των αποτελεσμάτων για οποιαδήποτε άλλη λογική τιμή του λόγου L/Q .

Εικόνα 2.3.-1. Απαιτούμενο μήκος υποθαλάσσιου αγωγού ως συνάρτηση του λόγου L/Q , σε m/1000m³/day, για αραίωση 20000 με $U=0,15\text{m/sec}$



Εισάγοντας τις εξισώσεις (2.1.3.) και (2.1.4.) στην (2.1.9.) λαμβάνουμε

$$x_i = 8,5 U \left[\left(\frac{g}{\rho_a} \right) * \left(\frac{d\rho_a}{dz} \right)^{-1/2} \right] \quad (2.3.6.)$$

Υπό τις «τυπικές δυσμενείς» συνθήκες που ορίστηκαν παραπάνω από τις εξισώσεις (2.3.1.) και (2.3.2.), η παραπάνω εξίσωση απλοποιείται ως εξής:

$$x_i = 529,3 * U \quad (2.3.7.)$$

Υπό τις συνθήκες αυτές, με χρήση των εξισώσεων (2.3.1.) έως (2.3.5.), (2.3.7.) και (2.1.12), η ολική αραίωση, η οποία υπολογίζεται από της εξίσωση (2.1.1) και τις εξισώσεις (2.1.2.), (2.1.3.) έως (2.1.6.), (2.1.9.), (2.1.11), (2.1.20.) έως (2.1.22), (2.1.23) και (2.1.24.), απλοποιείται ως εξής:

$$S = \frac{2075,57 * U^{1/2} - 161,4}{\operatorname{erf} \sqrt{\frac{1,5}{[1 + 0,787 * 10^{-4} * \frac{X}{U * Q^{2/3}} - \frac{0,04166}{Q^{2/3}}]^3} - 1}} * \exp(0,9212 * \frac{X/U}{3600}) \quad (2.3.8.)$$

Ομοίως, υπό τις «τυπικές δυσμενείς» συνθήκες, οι εξισώσεις (2.1.7.) και (2.1.8.) μαζί με τις εξισώσεις (2.1.3.) έως (2.1.6.) απλοποιούνται ως εξής:

$$z_e = 110,02 * (\frac{L}{Q})^{-1/3} \quad \text{για } 0,1 \leq F < 1 \quad (2.3.9)$$

$$z_e = 80,61 * U^{-1/2} * (\frac{L}{Q})^{-1/2} \quad \text{για } 1 \leq F \leq 100 \quad (2.3.10)$$

Η παραπάνω ανάλυση ισχύει υπό την προϋπόθεση ότι η άνοδος του πλουμίου από τον διαχυτή δεν υπερβαίνει το βάθος της θάλασσας στο σημείο εκβολής κάτω από συνθήκες στρωμάτωσης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Τούτο ισχύει στις περισσότερες περιπτώσεις μια και η άνοδος του πλουμίου είναι πολύ περιορισμένη, συνήθως κοντά στα 10m. Υπό αυτή την προϋπόθεση η ολική αραίωση είναι ανεξάρτητη από το βάθος της θάλασσας.

(ii) Γραφική Επίλυση του Απλουστευμένου Προβλήματος

Από τα χαρακτηριστικά της παράκτιας περιοχής, η ταχύτητα των ρευμάτων, U , ασκεί την

μεγαλύτερη επίδραση στην ολική αραίωση, S , και μάλιστα, όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές του U τόσο μικρότερες είναι οι τιμές του S . Επομένως, οι υποθαλάσσιοι αγωγοί πρέπει να αναλύονται με βάση τη μέγιστη ταχύτητα των ρευμάτων προς την κατεύθυνση των ακτών. Σε περίπτωση όπου τα όρια ποιότητας των νερών της πρέπει να τηρούνται μόνο κατά το $A\%$ των περιπτώσεων, ως ταχύτητα σχεδιασμού λαμβάνεται το άνω A° εκατοστημόριο από την κατανομή των ταχυτήτων από τις μετρηθείσες ταχύτητες των ρευμάτων με κατεύθυνση προς την ακτή¹⁰.

Η εξίσωση (2.3.8.), η οποία δίνει την ολική αραίωση υπό τις «τυπικές δυσμενείς» συνθήκες μπορεί να γραφτεί υπό μορφή συνάρτησης όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\begin{aligned} S/S_1 &= f(X/U, Q) \\ \text{ή} \quad X/U &= f(S/S_1, Q) \end{aligned} \quad (2.3.11.)$$

όπου η παράμετρος S/S_1 ορίζεται ως εξής:

$$S/S_1 = \frac{S}{2075,57 * U^{-1/2} - 161,4} \quad (2.3.12.)$$

Στο νομογράφημα της εικόνας 2.3.-2, το πάνω διάγραμμα παρέχει γραφική λύση της εξίσωσης (2.3.11.) και το κάτω γραφική λύση της εξίσωσης (2.3.12.). Η συνδυασμένη χρήση τους παρέχει απ'ευθείας λύση της εξίσωσης (2.3.8.)

Το νομογράφημα της εικόνας 2.3.-3 επιλύει με παρόμοιο τρόπο την εξίσωση (2.3.8.) με $S_3 = 1$. Ισχύει δηλαδή για συντηρητικές ουσίες οι οποίες δεν υπόκεινται σε φθορά.

Στα νομογραφήματα των παραπάνω εικόνων, οι τιμές της ταχύτητας των ρευμάτων, U , κυμαίνονται από 0,05m/sec έως 0,5m/sec, καλύπτοντας έτσι όλη την περιοχή ισχύος της εξίσωσης υπολογισμού της μεταβλητής F (η εξίσωση ισχύει για τιμές του F από 0,1 ως 100). Για χαμηλότερες ταχύτητες του ρεύματος το περιβάλλον χαρακτηρίζεται ως στάσιμο και οι σχέσεις της προηγούμενης ενότητας αλλάζουν. Υπό αυτές τις συνθήκες το ανερχόμενο πλούμιο των λυμάτων δεν μετατοπίζεται και συσσωρεύεται γύρω από την περιοχή εκβολής ως νέφος.

Τα νομογραφήματα επιτρέπουν ανάλυση με παροχές λυμάτων, Q , ως 100.000m³/day, καλύπτοντας έτσι τις ανάγκες μικρού και μεσαίου μεγέθους αστικών περιοχών. Σύμφωνα με τις

¹⁰ Economopoulou and Ewconomopoulos, 1998

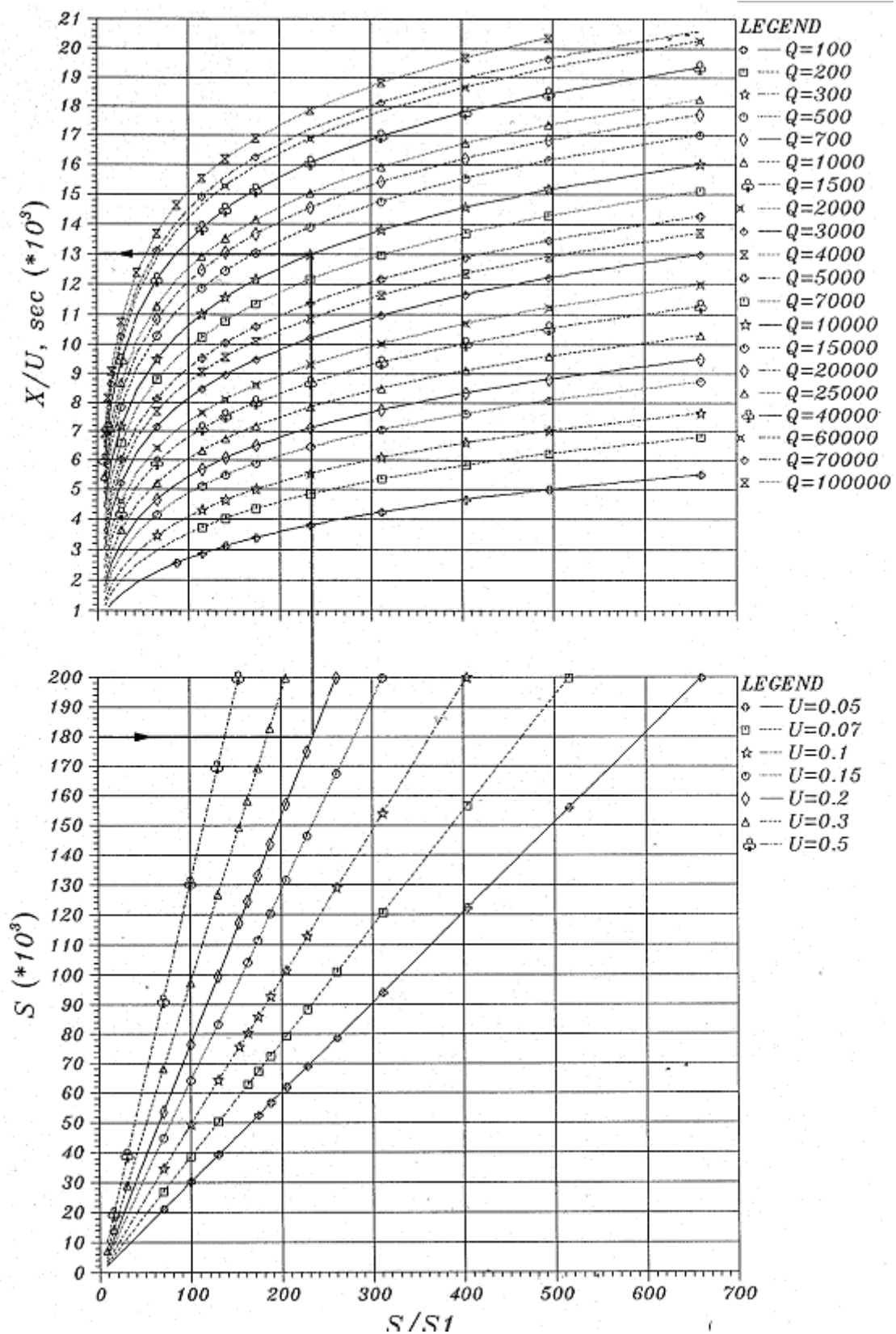
συστάσεις της US EPA , ως παροχή σχεδιασμού για τους σκοπούς της ανάλυσης θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η μέση ροή του δώρου ή τρίωρου διαστήματος με τη μέγιστη παροχή κατά την περίοδο που μας ενδιαφέρει.(π.χ. κατά την καλοκαιρινή τουριστική περίοδο)

Σε περιπτώσεις σχεδιασμού νέων αγωγών διάθεσης είναι γνωστή και η παροχή σχεδιασμού, Q , και η επιθυμητή ολική αραίωση, S . Από τοπικές μετρήσεις μπορεί να προκύψει μια λογική τιμή για τη μέγιστη ταχύτητα ρευμάτων προς την ακτή, U . Με τα παραπάνω στοιχεία, τις εξισώσεις της παρούσας ενότητας και τη χρήση των νομογραφημάτων εύκολα υπολογίζεται το απαιτούμενο μήκος αγωγού, X .

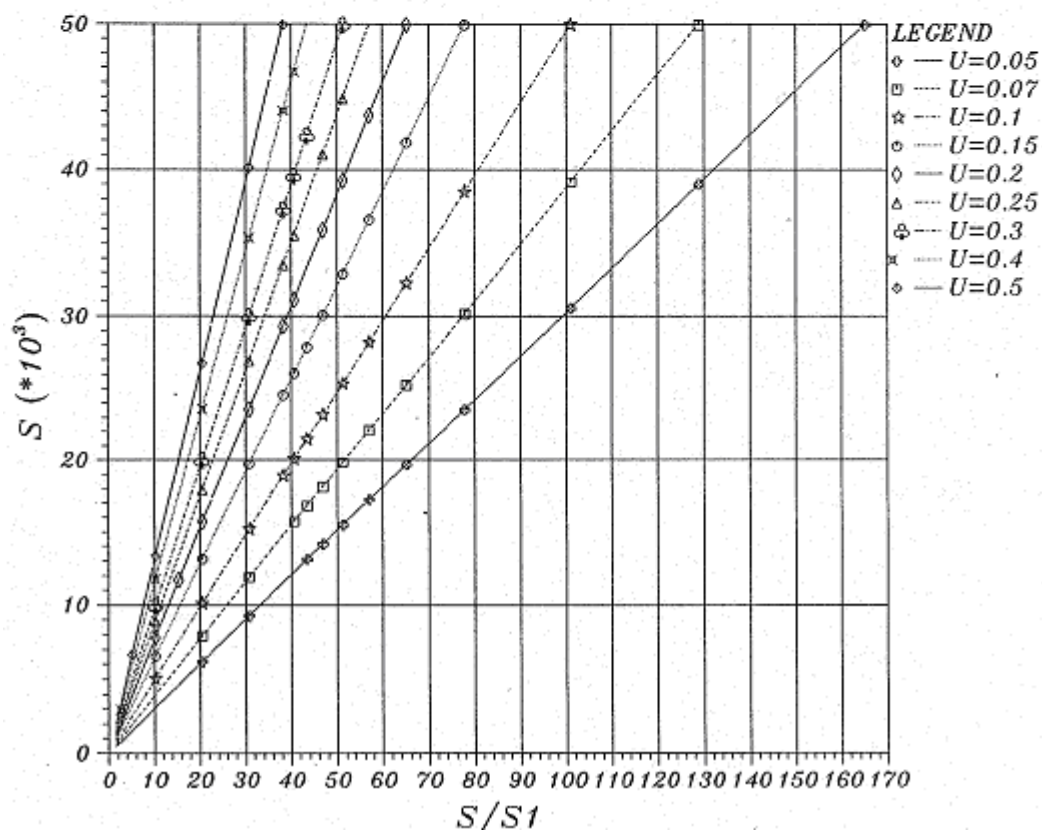
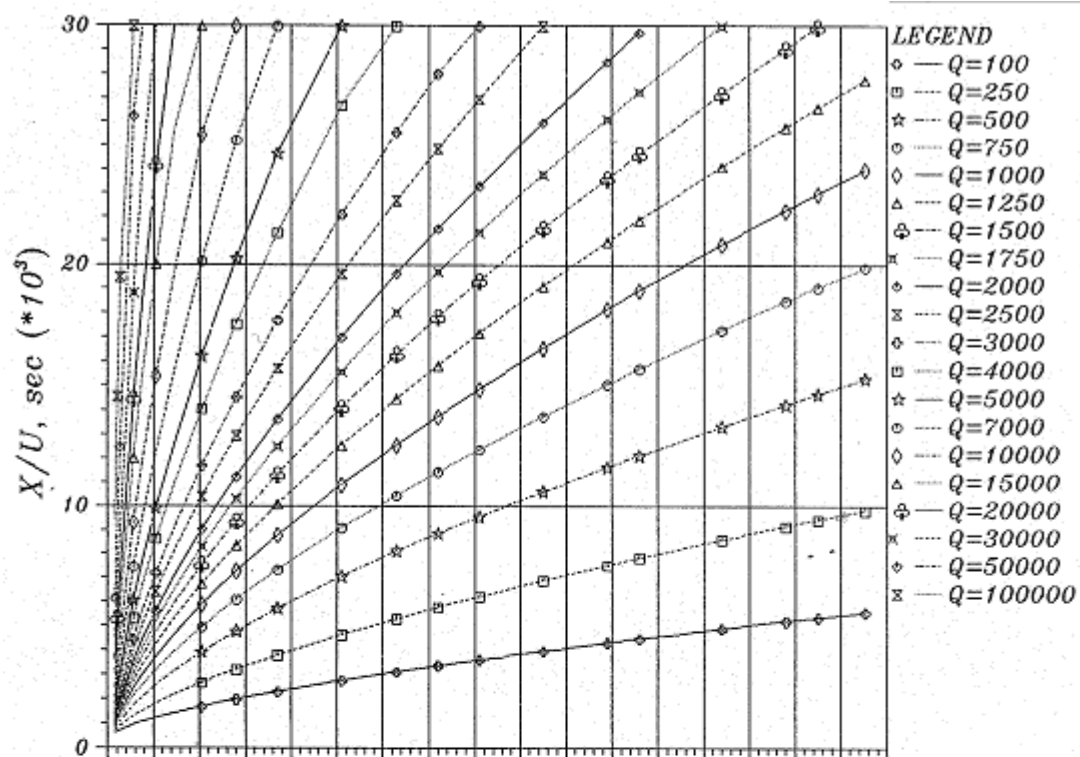
Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται η εκτίμηση της ολικής αραίωσης υφιστάμενων υποθαλάσσιων αγωγών, είναι γνωστή η παροχή σχεδιασμού, Q , και το μήκος του αγωγού, X . Από τοπικές μετρήσεις μπορεί να προκύψει μια λογική τιμή για την ταχύτητα των ρευμάτων προς την ακτή, U . Με τα παραπάνω στοιχεία και με χρήση των εξισώσεων που προαναφέρθηκαν και των νομογραφημάτων μπορεί να υπολογισθεί η ολική αραίωση, S .

Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις απαιτείται γνώση της ταχύτητας σχεδιασμού των ρευμάτων, U . Εάν δεν υπάρχουν μετρήσεις από την παράκτια περιοχή, μια πρώτη χονδρική ανάλυση για διαχειριστικούς σκοπούς μπορεί να γίνει με λογικές τιμές της ταχύτητας των ρευμάτων που προκύπτουν από άλλες συναφείς περιοχές και θεώρηση των τοπικών συνθηκών. Σε αρκετές περιπτώσεις, μια ταχύτητα ρευμάτων της τάξης των 0,15 m/sec αποτελεί λογική παραδοχή.

Εικόνα 2.3.-2.Νομογράφημα για επίλυση προβλημάτων υποθαλάσσιων αγωγών με διαχυτήρες υπό «τυπικές δυσμενείς» συνθήκες για **μη συντηρητικές** ουσίες.



Εικόνα 2.3.-3. Νομογράφημα για επίλυση προβλημάτων υποθαλάσσιων αγωγών με διαχυτές υπό «τυπικές δυσμενείς» συνθήκες για **συντηρητικές ουσίες**(ουσίες που δεν υπόκεινται φθορά)



(iii) Προσαρμογή της Απλουστευμένης Γραφικής Λύσης στις Τοπικές Συνθήκες

Βασικός στόχος της ανάλυσης είναι η ελαχιστοποίηση των στοιχείων που απαιτούνται από

τις μετρήσεις πεδίου αλλά και η αξιοποίηση όσων σχετικών στοιχείων υπάρχουν από τοπικές μετρήσεις για αύξηση της αξιοπιστίας των προβλέψεων.

Με βάση τα παραπάνω θα ήταν επιθυμητή η δυνατότητα προσαρμογής της απλουστευμένης γραφικής λύσης που προκύπτει από τα νομογραφήματα των παραπάνω εικόνων και ισχύει για τις «τυπικές δυσμενείς» συνθήκες σε κάθε τιμή των μεταβλητών ρ_a , ρ_{ef} , $d\rho_a/dz$ και T_{90} που προκύπτει από τοπικές μετρήσεις. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με χρήση του συντελεστή προσαρμογής C , ο οποίος ορίζεται από της εξίσωση που ακολουθεί

$$S_{actual} = C * S_{baseline} \quad (2.3.13.)$$

όπου S_{actual} δίνεται από την εξίσωση (2.1.1.) και τις εξισώσεις (2.1.2.), (2.1.3.) έως (2.1.6.), (2.1.9.), (2.1.11), (2.1.20), (2.1.22.), (2.1.23), (2.1.24), (2.3.5.), (2.3.6.), (2.3.8.) και $S_{baseline}$ δίνεται από (2.3.8.). Διαιρώντας S_{actual} με το $S_{baseline}$ λαμβάνουμε :

$$C = 0,03101 * c_1 * c_2 * \left(\frac{\rho_a - \rho_{ef}}{d\rho_a/dz} \right)^{1/2} * e^{0,9212 * \left(\frac{t}{3600} \right) * \left(\frac{2,5 - T_{90}}{T_{90}} \right)} \quad (2.3.14.)$$

όπου

$$c_1 = \frac{64,3725 * U^{1/2} - 9,12 \left(1 - \frac{\rho_{ef}}{\rho_a} \right)^{1/6}}{64,3705 * U^{1/2} - 5,00536} \quad (2.3.15.)$$

και

$$c_2 = \frac{\operatorname{erf} \sqrt{\frac{1,5}{\left[1 + 0,787 * 10^{-4} * \frac{X}{U * Q^{2/3}} - \frac{0,04166}{Q^{2/3}} \right]^3} - 1}}{\operatorname{erf} \sqrt{\frac{1,5}{\left[1 + 0,787 * 10^{-4} * \frac{X}{U * Q^{2/3}} - \frac{\rho_a}{d\rho_a/dz} * \frac{0,2136 * 10^{-3}}{Q^{2/3}} \right]^3} - 1}} \quad (2.3.16.)$$

Όπως μπορεί να δειχτεί, οι μεταβλητές c_1 και c_2 έχουν τιμές πολύ κοντά στο 1,0 για κάθε λογικό συνδυασμό των τιμών των ανεξάρτητων μεταβλητών τους. Υπό αυτές τις συνθήκες η εξίσωση (2.3.14.) απλοποιείται ως ακολούθως:

$$C=0,03101 \left(\frac{\rho_a - \rho_{ef}}{d\rho_a/dz} \right)^{1/2} * e^{0,9212 * \left(\frac{t}{3600} \right) * \left(\frac{2,5 - T_{90}}{T_{90}} \right)} \quad (2.3.17.)$$

Ο συντελεστής C από την εξίσωση (2.3.17.) προσαρμόζει την απλοποιημένη γραφική λύση για μη συντηρητικές ουσίες, όπως προκύπτει από το νομογράφημα της εικόνας 2.3.-2 στις τοπικές τιμές σχεδιασμού των μεταβλητών ρ_a , ρ_{ef} , $d\rho_a/dz$ και T_{90} .

Σε περιπτώσεις συντηρητικών ουσιών όπου ισχύει το νομογράφημα της εικόνας 2.3.-3, απαιτείται προσαρμογή της απλοποιημένης γραφικής λύσης μόνο σε σχέση με τις τοπικές τιμές σχεδιασμού των μεταβλητών ρ_a , ρ_{ef} , $d\rho_a/dz$. Όπως μπορεί να δειχθεί ο συντελεστής προσαρμογής C δίνεται σε αυτή τη περίπτωση από την ακόλουθη σχέση:

$$C=0,03101 * \left(\frac{\rho_a - \rho_{ef}}{d\rho_a/dz} \right)^{1/2} \quad (2.3.18.)$$

Σε περιπτώσεις διαστασιολόγησης νέων υποθαλάσσιων αγωγών, οι παραπάνω σχέσεις (2.3.17.) ή (2.3.18.) μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να προσαρμόσουν τη γνωστή επιθυμητή ολική αραίωση υπό τις τοπικές συνθήκες, S_{actual} , σε ισοδύναμη αραίωση κάτω από τις «τοπικές δυσμενείς» συνθήκες, $S_{baseline}$. Στη συνέχεια ο αγωγός διαστασιολογείται με χρήση των νομογραφημάτων έτσι ώστε να παρέχει την ισοδύναμη αραίωση, $S_{baseline}$.

Σε περιπτώσεις ανάλυσης υφιστάμενων υποθαλάσσιων αγωγών, υπολογίζεται πρώτα η ολική αραίωση που παρέχει ο αγωγός με γνωστό μήκος X, με χρήση των νομογραφημάτων. Στη συνέχεια προσαρμόζεται η αραίωση που προκύπτει στις τοπικές συνθήκες με χρήση των συντελεστών προσαρμογής από τις εξισώσεις (2.3.17.) και (2.3.18.).

Σημείωση

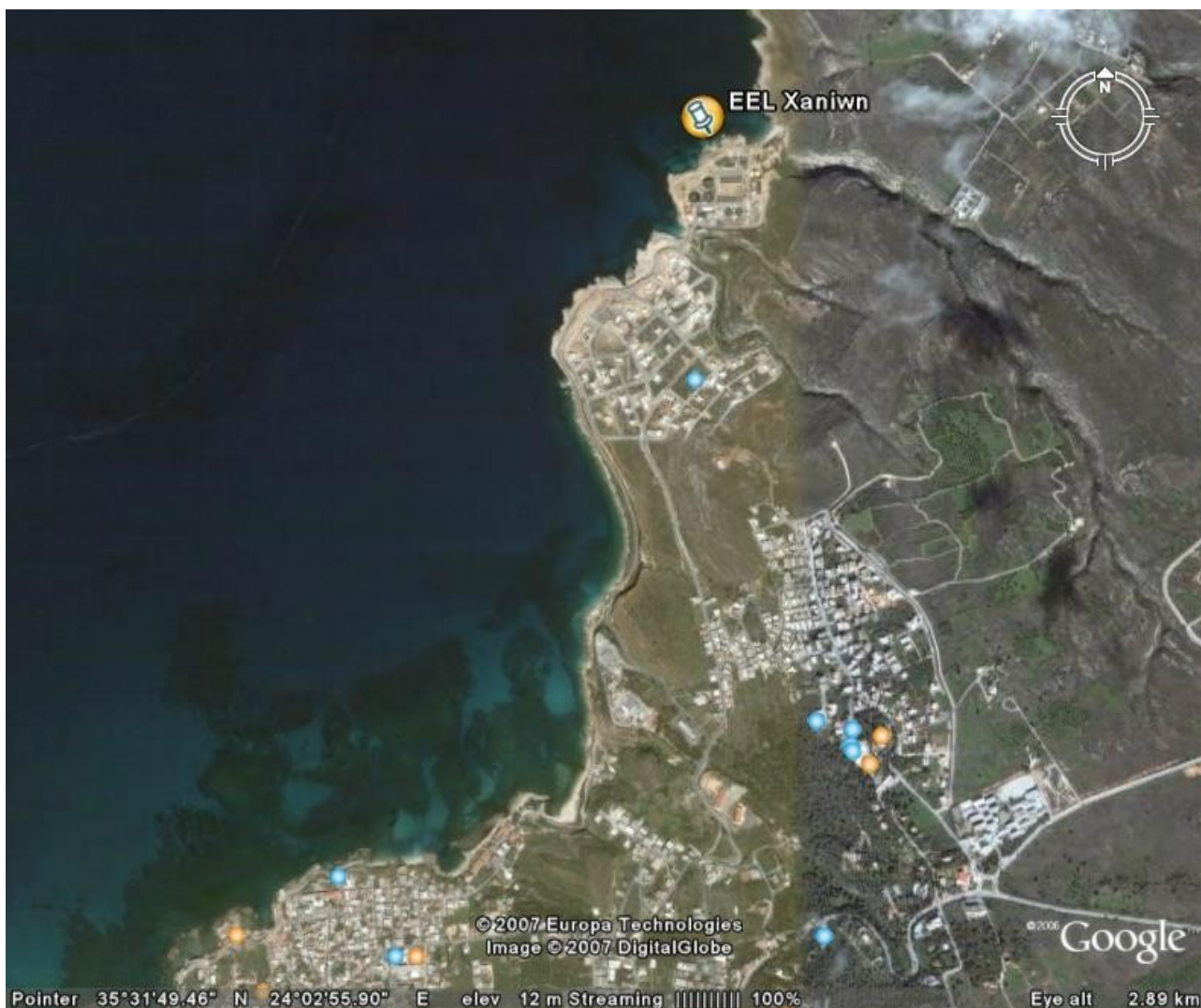
Πρέπει να αναφερθεί ότι τα παραπάνω είναι μια γενική περιγραφή του μοντέλου που θα χρησιμοποιήσουμε και ισχύουν σχεδόν σε κάθε περίπτωση. Στις περιπτώσεις που θα εξετασθούν στην παρούσα μελέτη (Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο, Άγιος Νικόλαος, Σητεία και Ιεράπετρα) ισχύουν οι γενικοί κανόνες και οι εξισώσεις, αλλά παρουσιάζεται δυσκολία κατά τη χρήση των νομογραφημάτων.

Τα μικρά μήκη των υφιστάμενων αγωγών είναι η αιτία που ελαχιστοποιεί τον παράγοντα X/U και κάνουν τη χρήση των νομογραφημάτων δύσκολη στη συγκεκριμένη περιοχή εφαρμογής. Τα αποτελέσματα από τα νομογραφήματα δεν παρέχουν την απαιτούμενη ακρίβεια και γι'αυτό θα χρησιμοποιούνται σε όλες τις περιπτώσεις και οι εξισώσεις (2.1.1.), (2.1.2.), (2.1.20.) και (2.1.23.). Από τις σχέσεις αυτές μπορεί κανείς εύκολα να καταλήξει στη δημιουργία ενός spreadsheet με χρήση του προγράμματος Excel και να παρατηρεί τις αλλαγές που επιφέρει στην αραίωση μια μικρή αλλαγή στο μήκος του αγωγού ή στην παροχή λυμάτων. Το spreadsheet μπορεί όμως να λειτουργήσει και με την αντίστροφη λογική. Για παράδειγμα θα μπορούσε κανείς να αλλάζει το μήκος του αγωγού μέχρι αυτός να οδηγεί τα λύματα σε βάθη όπου θα επιτυγχάνεται η επιθυμητή αραίωση και κατά συνέπεια η επιθυμητή συγκέντρωση κολοβακτηριδίων.

Ελέγχοντας τα αποτελέσματα των νομογραφημάτων και του spreadsheet παρατηρούμε ότι σε αρκετές περιπτώσεις τα νούμερα συμπίπτουν. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις, που τα νούμερα είναι διαφορετικά, δεχόμαστε τα αποτελέσματα των εξισώσεων και επεξεργαζόμαστε αυτά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.

3.1.Χανιά



3.1.1.Στοιχεία από το πεδίο:

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων βρίσκεται στα δυτικά παράλια του Ακρωτηρίου Χανίων, λειτουργεί από το 1995 και προβλέπει την επεξεργασία αστικών λυμάτων που αντιστοιχούν σε 105.500 κατοίκους, βιομηχανικά απόβλητα που αντιστοιχούν σε 5.000 ισοδύναμους κατοίκους και βοθρολύματα που αντιστοιχούν σε 7.000 ισοδύναμους κατοίκους. Συνολικά δηλαδή εξυπηρετεί 117.500 ισοδύναμους κατοίκους και 26.000m³/day. Το καλοκαίρι του 2004 η μέση ημερήσια παροχή λυμάτων έφτασε τα 20.000m³/day ($Q_{\text{μεσο}}$), ενώ η μέγιστη τιμή ημερήσιας παροχής ήταν τα 28.000m³ / day (Q_{max}). Η μέγιστη ωριαία παροχή είναι περίπου 1.800m³/hour ($Q_h = 42.000\text{m}^3/\text{day}$), ενώ η ελάχιστη είναι 500m³/hour.

Η επεξεργασία των λυμάτων γίνεται με τη μέθοδο της ενεργούς ιλύος και η επεξεργασία της λάσπης γίνεται με τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης με παράλληλη αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η εγκατάσταση έχει σχεδιαστεί για την απομάκρυνση του BOD₅ κατά 96% και των αιρούμενων στερεών κατά 95%.

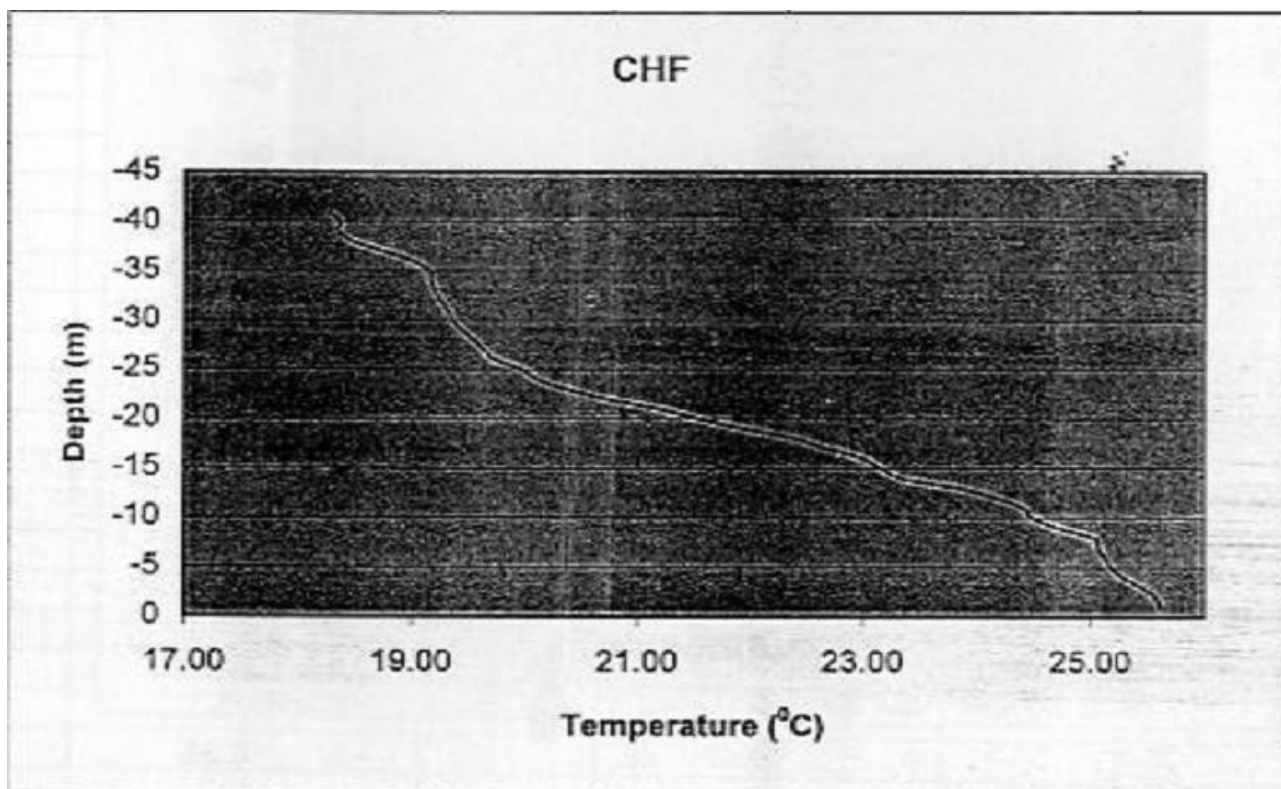
Οι συγκεντρώσεις κατά την είσοδο και κατά την έξοδο της μονάδας φαίνονται παρακάτω:

<i>(mg / lt)</i>	<i>Είσοδος</i>	<i>Έξοδος</i>
BOD ₅	446	12
COD	715	38
TSS	343	15
N	32,59	1,4
P	19,8	8,3

Για τα κολοβακτηρίδια δεν έχουμε ικανοποιητικά στοιχεία και έτσι παίρνουμε την τιμή που μας δίνεται από τη βιβλιογραφία για βιολογικά ή χημικά επεξεργασμένα λύματα, δηλαδή την τιμή των 500 αποικιών ανά 100ml. Για να είναι λοιπόν η τελική συγκέντρωση κολοβακτηριδίων μέσα στα επιτρεπτά όρια από την Ε.Ε. και τον Π.Ο.Υ. απαιτείται αραίωση

$$S_{\text{actual}} = 10^7 / 500 = 20.000$$

Τα λύματα της εγκατάστασης διατίθενται στην θάλασσα μέσω αγωγού. Στη στεριά βρίσκονται τα 81,23 μέτρα του, ενώ στη θάλασσα εκτείνεται σε μήκος 90 μέτρων. Ακολουθούν άλλα 25 μέτρα του διαχυτήρα, ο οποίος έχει 6 οπές. Σε κάθε πλευρά του διαχυτήρα υπάρχουν 3 οπές οριζοντίως στον αγωγό, που διαχέουν τα λύματα παράλληλα με τον πυθμένα της θάλασσας. Το μήκος που θα χρησιμοποιήσουμε κατά τους υπολογισμούς μας είναι το μήκος των 115 μέτρων.



Εικόνα 3.1.1.-1.Γραφική απεικόνιση συνάρτησης βάθους και θερμοκρασίας

Για τη στρωματοποίηση παίρνουμε στοιχεία από τις αντίστοιχες μετρήσεις βάθους και θερμοκρασίας. Από την εικόνα 3.1.1.-1 προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

<i>Βάθος(m)</i>	<i>Θερμοκρασία(°C)</i>	<i>Πυκνότητα(kg/m³)</i>	<i>dp_a / dz</i>
2	25,5	997	0,025
42	18,5	998	

Ακόμα έχουμε αντίστοιχα για τη θάλασσα και για τα απόβλητα:

$$\rho_a = 1027,07 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{ef} = 999 \text{ kg/m}^3$$

Τα λύματα της εγκατάστασης διατίθενται στην θάλασσα μέσω υποθαλάσσιου αγωγού. Στη στεριά βρίσκονται τα 81,23 μέτρα του, ενώ στη θάλασσα εκτείνεται σε μήκος 90 μέτρων. Ακολουθούν τα 25 μέτρα του διαχυτήρα, ο οποίος έχει 6 οπές. Σε κάθε πλευρά του διαχυτήρα υπάρχουν 3 οπές οριζοντίως στον αγωγό, που διαχέουν τα λύματα παράλληλα με τον πυθμένα της θάλασσας. Το μήκος που θα χρησιμοποιήσουμε κατά τους υπολογισμούς μας είναι το μήκος των 115 μέτρων.

3.1.2. Υπολογισμός συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων στον αποδέκτη με χρήση του υφιστάμενου αγωγού

Για να υπολογίσουμε την απόδοση του υφιστάμενου αγωγού διάθεσης λυμάτων όσο αφορά στην επιθυμητή αραίωση, λαμβάνουμε σαν μήκος αγωγού την απόσταση του σημείου εκβολής το σημείο χρήσης, που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι η πιο κοντινή ακτή όπου έχουν πρόσβαση λουόμενοι. Για τα Χανιά η απόσταση αυτή είναι 500m, ενώ ο αγωγός είναι μόλις 110m.

Στην περίπτωση της **μέσης ημερήσιας παροχής** ($Q_{\text{μέσο}} = 20.000\text{m}^3/\text{day}$) έχουμε:

$$\frac{X}{U} = \frac{500}{0,2} = 2,5 * 10^3$$

Από τις εξισώσεις (2.1.1.), (2.1.2.), (2.1.20.) και (2.1.23.) προκύπτει :

$$S_{\text{actual}} = 1074,79$$

Η συγκέντρωση κολοβακτηριδίων που προκύπτει είναι:

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια, μέσο}} = 9304,14 \text{ αποικίες}/100\text{ml}$$

Στην περίπτωση της **μέγιστης ημερήσιας παροχής** ($Q_{\text{max}} = 28.000\text{m}^3/\text{day}$) έχουμε:

$$\frac{X}{U} = \frac{500}{0,2} = 2,5 * 10^3$$

Επομένως για Q_{max} , από τις ίδιες εξισώσεις έχουμε $S_{\text{actual}} = 895,75$

Η συγκέντρωση που προκύπτει είναι

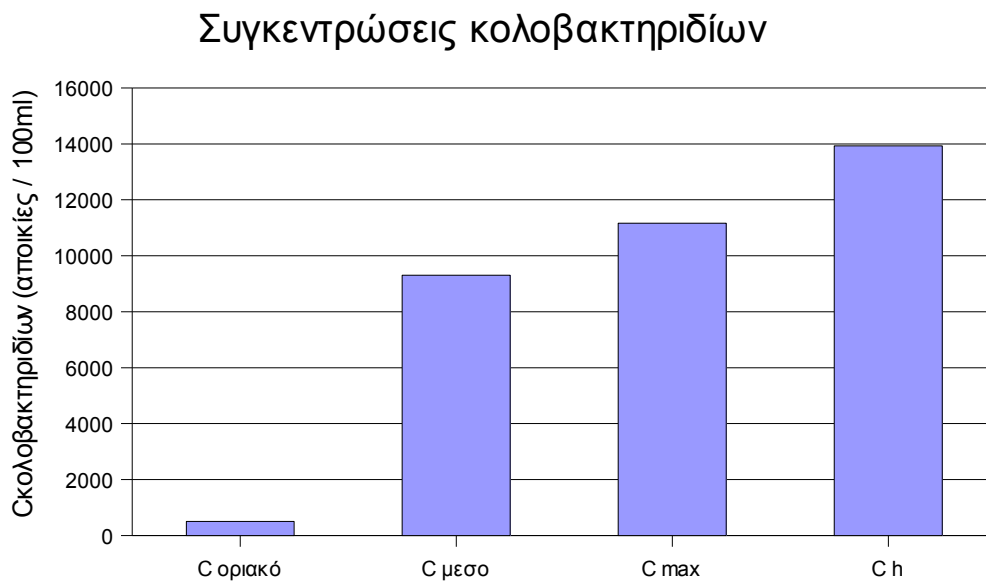
$$C_{\text{κολοβακτηρίδια, max}} = 11163,83 \text{ αποικίες}/100\text{ml}$$

Τέλος, στην περίπτωση της **μέγιστης ωριαίας παροχής** λυμάτων ($Q_h = 42.000\text{m}^3/\text{day}$) έχουμε:

$$\frac{X}{U} = 2,5 * 10^3$$

και $S_{\text{actual}} = 717,98$ και τελικά η συγκέντρωση κολοβακτηριδίων που προκύπτει είναι:

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,h}} = 13927,97 \text{ αποικίες}/100\text{ml}$$



Εικόνα 3.1.2.-1.Γραφική απεικόνιση των συγκεντρώσεων κολοβακτηριδίων που προκύπτουν από την διάθεση αποβλήτων μέσω του υφιστάμενου αγωγού.

3.1.3. Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέση ημερήσια παροχή($Q_{\text{μεσο}}$)

Για $Q_{\text{μεσο}} = 20.000 \text{ m}^3 / \text{day}$ και με $S_{\text{actual}} = 20.000$ από το νομογράφημα προκύπτει

$$\frac{X}{U} = 8200 \text{ sec} \quad , \text{ και με } U = 0,2 \text{ m/sec έχουμε } X = 1680 \text{m ενδεικτικό μήκος αγωγού.}$$

Ο συντελεστής C δίνεται από τον τύπο:

$$C = 0,03101 \left[\frac{(\rho_a - \rho_{ef})}{(d\rho_a/dz)} \right]^{1/2} e^{[0,9212(\frac{t}{3600})(\frac{(2,5-T)}{T_{90}})]}$$

όπου $t = X/U$, χρόνος διαδρομής λυμάτων από το σημείο εκβολής τους ($t=0$)
έως το όριο περιοχής χρήσης

και T_{90} = γεωμετρικός μέσος όρος του χρόνου που απαιτείται για τη μείωση των μικροοργανισμών κατά 90% στο περιβάλλον των νερών του αποδέκτη (απο βιβλιογραφία $T_{90} = 2,5 \text{ hours}$ για τη Μεσόγειο)

Άρα έχουμε :

$$C = 0,03101 \left[\frac{(1027,07 - 999)}{(0,025)} \right]^{1/2} = 1,039$$

$$S_{\text{baseline}} = S_{\text{actual}} / C = 20.000 / 1,039 = 19249,29$$

και από νομογράφημα προκύπτει ότι είναι $\frac{X}{U} = 8,2 * 10^3$

τελικά το μήκος του αγωγού πρέπει να είναι $X = 1640 \text{m}$

Για την ίδια περίπτωση, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (2.1.1.), (2.1.2.), (2.1.20.) και (2.1.23.) και με τη βοήθεια του spreadsheet που δημιουργείται από αυτές, προκύπτει ότι το μήκος του αγωγού πρέπει να είναι

$$X = 1650m .$$

Με αυτό το μήκος έχουμε την επιθυμητή αραιώση ($S_{actual} = 20615,81$) και πετυχαίνουμε να έχουμε συγκέντρωση κολοβακτηριδίων κάτω από το όριο που έχει οριστεί, δηλαδή

$$C_{\text{κολοβακτηριδία,max}} = 485,06 \text{ αποικίες / 100ml.}$$

Το μήκος του διαχυτήρα εξαρτάται από την παροχή λυμάτων και με βάση την διεθνή πρακτική είναι συνήθως περίπου 2,5 m για κάθε 1000m³ μέσης ημερήσιας παροχής. Άρα στην προκειμένη περίπτωση είναι $L = 2,5 * 20 = 50m$.

Ο συντελεστής b που μας χρειάζεται για να υπολογίσουμε τον αριθμό Froude είναι

$$b = g' \frac{Q}{L} \quad \text{όπου} \quad g' = g \frac{(\rho_a - \rho_{ef})}{\rho_a}$$

$$\text{Άρα είναι} \quad b = 9,81 \, m/sec^2 \frac{28,07 \, kg/m^3}{1027,07 \, kg/m^3} \frac{20000 \, m^3/day}{50 \, m} \frac{1}{86400} \, day/sec$$

$$b = 1,24 * 10^{-3} \, m^3/sec^3$$

και

$$F = \frac{U^3}{b}$$

$$F = \frac{0,2^3}{1,24 * 10^{-3}} = 6,45$$

Αφού λοιπόν είναι $1 \leq F \leq 100$ το μέγιστο ύψος ανόδου της άνω επιφάνειας του πλουμίου υπολογίζεται ως εξής :

$$z_e = 80,61 U^{-1/2} \left[\frac{L}{Q} \right]^{-1/2}$$

$$z_e = 80,61 \frac{1}{\sqrt{0,2 \text{ m/sec}}} \frac{1}{\sqrt{\frac{50\text{m}}{20000 \text{ m}^3/\text{day}} 86400 \text{ sec/day}}}$$

Το ύψος ανόδου που προκύπτει είναι $z_e = 12,19 \text{ m}$

Στο συγκεκριμένο σημείο εκβολής, στα **1650 μέτρα** δηλαδή από την ακτή, το βάθος της θάλασσας είναι **45 μέτρα**, κάτι που σημαίνει ότι το πλούμιο δεν φτάνει στην ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας.

3.1.4. Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ημερήσια παροχή ($Q_{\text{μεσο}}$)

Για Q_{max} έχουμε ίδιο $S_{\text{baseline}} = 19249,29$ και από νομογράφημα $\frac{X}{U} = 9500$, άρα $X = 1760\text{m}$

Το spreadsheet του Excel που προέκυψε από τις εξισώσεις (2.1.1.), (2.1.2.), (2.1.20.) και (2.1.23.) δίνει μήκος αγωγού διάθεσης

$$X = 1750\text{m}$$

και η αντίστοιχη αραίωση είναι $S_{\text{actual}} = 20750,11$. Τελικά η συγκέντρωση κολοβακτηριδίων που προκύπτει από το σχεδιασμό του αγωγού με $Q_{\text{μεσο}}$ είναι:

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια, h}} = 481,93 \text{ αποικίες / 100ml}$$

Αλλάζουν και τα b και F και γίνονται $b = 1,73 \cdot 10^{-3}$ και $F = 4,62$

Άρα το ελάχιστο βάθος εκβολής γίνεται $z_e = 14,42\text{m}$

Στο σημείο όπου σχεδιαστικά εκβάλλει ο υποθαλάσσιος αγωγός, στα **1750 μέτρα** από την ακτή, το βάθος είναι **47 μέτρα**, άρα πάλι το πλούμιο διαχέεται πριν φτάσει στην επιφάνεια του νερού.

3.1.5. Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ωριαία παροχή (Q_h)

Για $Q_h = 42.000 \text{ m}^3/\text{day}$ έχουμε

$$S_b = 19249,29 \text{ και } \frac{X}{U} = 9200, \text{ άρα μήκος αγωγού } X = 1840\text{m}$$

Το αποτέλεσμα των πράξεων όπως αυτές γίνονται στο Excel, δίνει καταλληλότερο μήκος αγωγού το

$$X = 1850\text{m}$$

Με το παραπάνω μήκος, τα λύματα αραιώνονται ικανοποιητικά ($S_{\text{actual}} = 20053,39$) και επιτυγχάνεται τελική συγκέντρωση κολοβακτηριδίων

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,h}} = 498,67 \text{ αποικίες / 100ml}$$

Ακόμα είναι $b = 2,6 * 10^{-3}$ και $F = 3,08$.

Προκύπτει ύψος ανόδου του πλουμίου $z_e = 17,67\text{m}$

Σε απόσταση **1850 μέτρων** από την ακτή, όπου θα εκβάλει ο αγωγός διάθεσης, το βάθος της θάλασσας είναι **50 μέτρα**. Αυτό σημαίνει πως και σε αυτήν την περίπτωση το πλούμιο δεν προλαβαίνει να φτάσει στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού.

3.1.6.Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Κατά τον σχεδιασμό ενός αγωγού διάθεσης, λαμβάνεται η μέγιστη ημερήσια παροχή λυμάτων. Άρα τα αποτελέσματα των υπολογισμών για Q_{\max} θα έπρεπε να συμπίπτουν με τις πραγματικές τιμές μας. Το παραπάνω δεν ισχύει μιας και ο αγωγός έχει μήκος 115 μέτρα, ενώ θα έπρεπε να έχει μήκος 1760 μέτρα. Με το πραγματικό μήκος του αγωγού και για τη μέγιστη ημερήσια παροχή επιτυγχάνεται αραίωση $S_{\text{actual}} = 9351$ ενώ η συγκέντρωση κολοβακτηριδίων είναι $C = 1069,4$, διπλάσιο σχεδόν από το επιτρεπτό όριο των 500 αποικιών ανά 100ml.

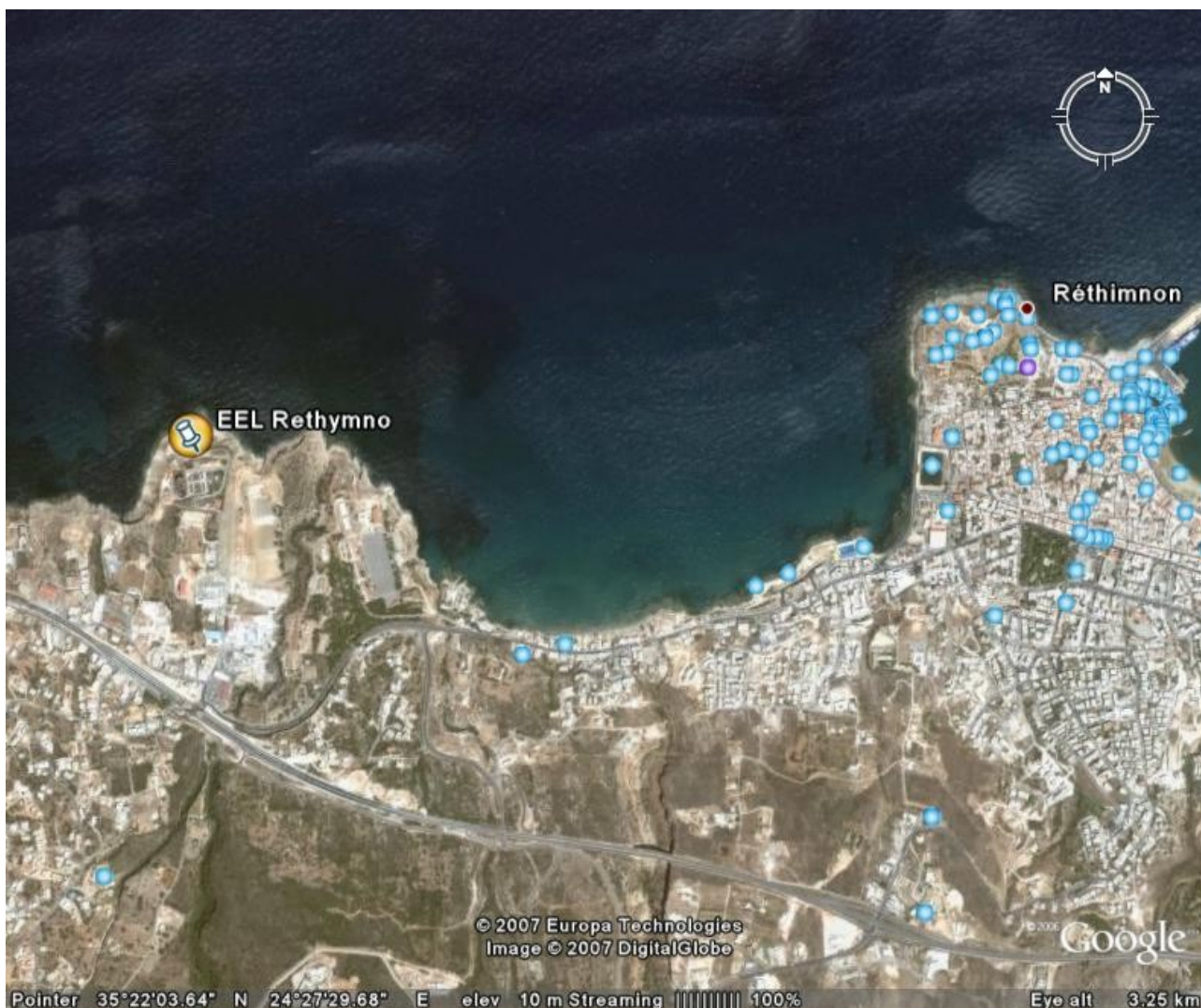
Λαμβάνοντας υπ'όψη την μέγιστη ωριαία παροχή λυμάτων, τις ακραίες δηλαδή τιμές της παροχής, το αναγκαίο μήκος του αγωγού προκύπτει να είναι 1840 μέτρα. Με τον υφιστάμενο αγωγό δεν επιτυγχάνεται επιθυμητή αραίωση για καμία από τις παραπάνω παροχές. Σε όλες τις περιπτώσεις οι συγκεντρώσεις κολοβακτηριδίων είναι πολύ πάνω από την επιτρεπτή.

Τα προβλήματα στον σχεδιασμό του αγωγού φαίνονται πιο καθαρά στον παρακάτω πίνακα:

	Q(m ³ /day)	Υφιστάμενος αγωγός			Διαστασιολόγηση αγωγού			
		X(m)	Sactual	C _{κολοβακτηρίδια}	X(m)	Sactual	C _{κολοβακτηρίδια}	Z _e
Q _{μεσο}	20000	110	1074,79	9304,14	1650	20615,81	485,06	12,19
Q _{max}	28000		895,75	11163,83	1750	20750,11	481,93	14,42
Q _h	42000		717,98	13927,97	1850	20053,39	498,67	17,67

Εικόνα 3.1.6.-1.Πίνακας σύγκρισης τιμών αραίωσης και συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων για υφιστάμενο αγωγό διάθεσης με σχεδιαστικά πρότυπο αγωγό.

3.2.Ρέθυμνο



3.2.1.Στοιχεία από το πεδίο:

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων στην πόλη του Ρεθύμνου βρίσκεται στην περιοχή του Κουμπέ και εξυπηρετεί ισοδύναμο πληθυσμό της τάξης των 60.000 κατοίκων, ενώ δέχεται εκτός από αστικά λύματα και λύματα από τουριστικές εγκαταστάσεις καθώς και από τυροκομεία, σγαγεία και βυρσοδεψεία. Ο μέσος ημερήσιος όγκος επεξεργαζόμενων λυμάτων έχει ελάχιστο $9.000\text{m}^3/\text{day}$ κατά τους χειμερινούς μήνες και φτάνει το μέγιστο των $13.000\text{m}^3/\text{day}$ το καλοκαίρι. Η μέση ημερήσια παροχή είναι $11.000\text{m}^3/\text{day}$ ενώ η μέγιστη ωριαία παροχή λυμάτων είναι $19.500\text{m}^3/\text{day}$.

Η επεξεργασία που λαμβάνει χώρα στον βιολογικό καθαρισμό είναι δευτεροβάθμια με

κυριότερα στάδια την εσχάρωση, την εξάμμωση, την πρωτοβάθμια καθίζηση, τον αερισμό, την δευτεροβάθμια καθίζηση με παράλληλη απονιτροποίηση, την απολύμανση με χλωρίωση και την αφυδάτωση της λάσπης με ταινιοφιλτρόπρεσες.

Οι συγκεντρώσεις κατά την είσοδο της εσχάρωσης και κατά την έξοδο από την δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης φαίνονται παρακάτω:

<i>mg/l</i>	<i>Είσοδος</i>	<i>Έξοδος</i>
BOD ₅	450	<10
COD	700	65
TSS	250	10
N	75	3
P	9,5	3

Για τις συγκεντρώσεις κολοβακτηριδίων δεν έχουμε αξιόπιστες τιμές και έτσι παίρνουμε την τιμή $C = 10^7$ αποικίες ανα 100ml , όπως και στη περίπτωση των Χανίων.

Τα λύματα της εγκατάστασης του βιολογικού καθαρισμού έχουν σαν αποδέκτη την θάλασσα πλησίον της μονάδας. Η διάθεση γίνεται με τη βοήθεια υπαθαλάσσιου αγωγού, ο οποίος έχει μήκος 600 μέτρα και εκβάλλει σε βάθος 20 μέτρων. Η διάμετρος του αγωγού είναι Φ600mm και καταλήγει σε μια κάθετη μονή θύρα από όπου απελεύθερώνονται τα λύματα. Δεν χρησιμοποιείται διαχυτήρας.

Για τη στρωμάτωση του νερού παίρνουμε τα ίδια νούμερα με την περίπτωση των Χανίων λόγω απουσίας δεδομένων. Άρα και εδώ έχουμε $dp_a / dz = 0,025$ και για το νερό και τα λύματα $\rho_a = 1027,07 \text{ kg/m}^3$ και $\rho_{ef} = 999 \text{ kg/m}^3$ αντίστοιχα.

3.2.2. Υπολογισμός συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων στον αποδέκτη με χρήση του υφιστάμενου αγωγού

Το μήκος που λαμβάνεται στην περίπτωση του Ρεθύμνου σαν απόσταση από την εκβολή μέχρι το σημείο χρήσης είναι 600 μέτρα, που συμπίπτει με το μήκος του υφιστάμενου αγωγού.

Στην περίπτωση της **μέσης ημερήσιας παροχής** λυμάτων ($Q_{\text{μεσο}} = 11000 \text{ m}^3/\text{day}$) έχουμε

$$\frac{X}{U} = \frac{600}{0,2} = 3 * 10^3$$

Από τις εξισώσεις (2.1.1.), (2.1.2.), (2.1.20.) και (2.1.23.) και το αντίστοιχο spreadsheet, έχουμε $S_{\text{actual}} = 1823,18$

Η συγκέντρωση κολοβακτηριδίων που προκύπτει είναι:

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,h}} = 5484,92 \text{ αποικίες / 100ml}$$

Στην περίπτωση της **μέγιστης ημερήσιας παροχής** ($Q_{\text{max}} = 13000 \text{ m}^3/\text{day}$) έχουμε πάλι :

$$\frac{X}{U} = \frac{600}{0,2} = 3 * 10^3$$

αλλά $S_{\text{actual}} = 1667,09$.

Η αντίστοιχη συγκέντρωση που προκύπτει είναι

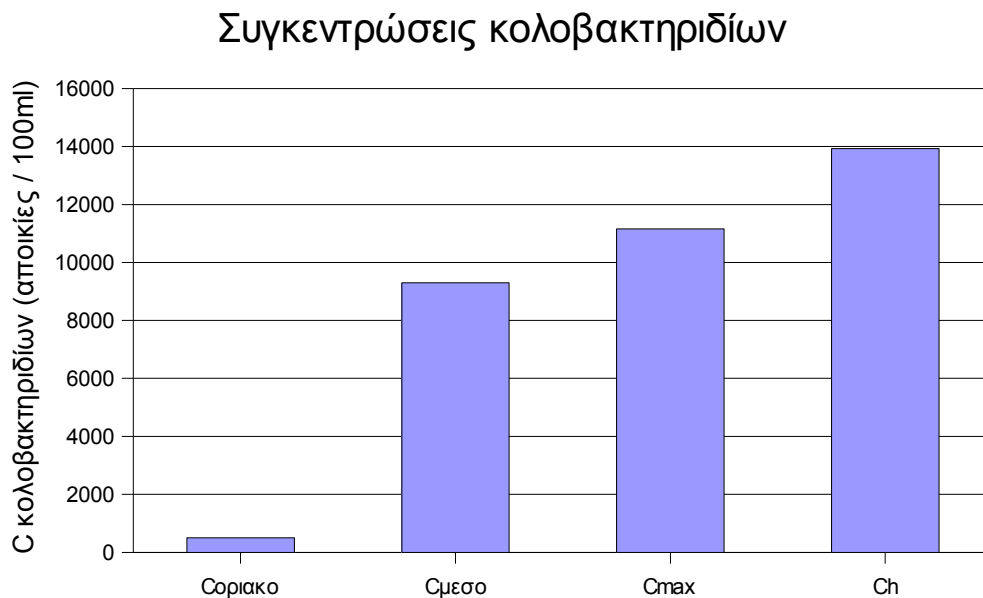
$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,max}} = 5998,48 \text{ αποικίες / 100ml}$$

Στην περίπτωση της **μέγιστης ωριαίας παροχής** ($Q_h = 19500 \text{ m}^3/\text{day}$) είναι:

$$\frac{X}{U} = \frac{600}{0,2} = 3 * 10^3$$

Προκύπτει $S_{\text{actual}} = 1340,43$. Η συγκέντρωση κολοβακτηριδίων είναι :

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια, h}} = 7460,29 \text{ αποικίες / 100ml}$$



Εικόνα 3.2.2.-1.Γραφική απεικόνιση των συγκεντρώσεων κολοβακτηριδίων που προκύπτουν από την διάθεση αποβλήτων μέσω του υφιστάμενου αγωγού.

3.2.3.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέση ημερήσια παροχή ($Q_{\text{μεσο}}$)

Για $Q_{\text{μεσο}} = 11.000 \text{ m}^3/\text{day}$ έχουμε τα παρακάτω:

Ο συντελεστής C είναι

$$C = 0,03101 \left[\frac{(1027,07 - 999)}{(0,025)} \right]^{1/2} = 1,039$$

$$S_{\text{baseline}} = S_{\text{actual}} / C = 20.000 / 1,039 = 19249,29$$

και από νομογράφημα προκύπτει ότι είναι $\frac{X}{U} = 7,6 * 10^3$, τελικά το μήκος του αγωγού

πρέπει να είναι 1520m.

Χρησιμοποιώντας όμως τις εξισώσεις (2.1.1.), (2.1.2.), (2.1.20.) και (2.1.23.) και με τη βοήθεια του spreadsheet, προκύπτει ότι το μήκος του αγωγού πρέπει να είναι

$$\mathbf{X = 1440m .}$$

Με αυτό το μήκος έχουμε την επιθυμητή αραίωση ($S_{\text{actual}} = 20098,43$) και πετυχαίνουμε να έχουμε συγκέντρωση κολοβακτηριδίων κάτω από το όριο που έχει οριστεί, δηλαδή

$$\mathbf{C_{\text{κολοβακτηρίδια,max}} = 497,55 \text{ αποικίες / 100ml.}$$

Το μήκος του διαχυτήρα υπολογίζεται ως εξής:

$$L = 2,5 * 11 = 27,5 \text{ m.}$$

Ο συντελεστής b είναι

$$b = 9,81 \text{ m/sec}^2 \frac{28,07 \text{ kg/m}^3}{1027,07 \text{ kg/m}^3} \frac{11000 \text{ m}^3/\text{day}}{27,5 \text{ m}} \frac{1}{86400} \text{ day/sec}$$

$$b = 1,24 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}^3$$

και

$$F = \frac{U^3}{b}$$

$$F = \frac{0,2^3}{1,24 * 10^{-3}} = 5,44$$

Αφού λοιπόν είναι $1 \leq F \leq 100$ το βάθος εκβολής του αγωγού διάθεσης υπολογίζεται ως

$$\text{εξής: } z_e = 80,61 U^{-1/2} \left[\frac{L}{Q} \right]^{-1/2}$$

$$z_e = 80,61 \frac{1}{\sqrt{0,2 \text{ m/sec}}} \frac{1}{\sqrt{\frac{27,5 \text{ m}}{11000 \text{ m}^3/\text{day}} 86400 \text{ sec/day}}}$$

Το ύψος πλουμίου που προκύπτει είναι $z_e = 12,19 \text{ m.}$

Επειδή το βάθος στο συγκεκριμένο σημείο εκβολής, **1440m** από την ακτή, είναι **42 μέτρα**, μεγαλύτερο δηλαδή από το ελάχιστο βάθος εκβολής, το πλούμιο διαχέεται επιτυχώς πριν ανέλθει στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού.

3.2.4. Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ημερήσια παροχή (Q_{\max})

Για Q_{\max} έχουμε $S_{\text{baseline}} = 19249,29$ και από νομογράφημα $\frac{X}{U} = 7600$, άρα το μήκος του αγωγού ενδεικτικά πρέπει να είναι $X = 1520\text{m}$.

Από το spreadsheet όμως προκύπτει το ακριβές μήκος του αγωγού, που είναι

$$X = 1490 \text{ m}$$

Έτσι έχουμε αραίωση ($S_{\text{actual}} = 20338,2$) και συγκέντρωση κολοβακτηριδίων κάτω από το όριο που έχει οριστεί, δηλαδή

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια, max}} = 491,69 \text{ αποικίες / 100ml.}$$

Αλλάζουν και τα b και F και γίνονται $b = 1,47 \cdot 10^{-3}$ και $F = 5,44$

Άρα το ύψος του πλουμίου προκύπτει

$$z_e = 13,25$$

Και σε αυτήν την περίπτωση, που το σημείο εκβολής απέχει **1490 μέτρα** από την ακτή, το ύψος ανόδου του πλουμίου δεν φτάνει ούτε στο μισό της απόστασης του πυθμένα από την επιφάνεια. Το βάθος είναι **45 μέτρα** ενώ το ύψος ανόδου είναι 13 περίπου μέτρα.

3.2.5. Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ωριαία παροχή(Q_h)

Για $Q_h = 19.500 \text{ m}^3/\text{day}$ έχουμε $S_{\text{baseline}} = 19249,29$ και από νομογράφημα $\frac{X}{U} = 7400$,άρα

$X = 1480\text{m}$. Για να μειώσουμε την περίπτωση του λάθους κατά την ανάγνωση του νομογραφήματος, παίρνουμε την τιμή που προκύπτει από το spreadsheet, δηλαδή μήκος αγωγού

$$X = 1600\text{m}$$

Με μήκος τα 1600 μέτρα, η αραίωση που πραγματοποιείται είναι κοντά στην επιθυμητή, $S_{\text{actual}} = 20384,5$, ενώ τελικά τα κολοβακτηρίδια αραιώνονται και φτάνουν σε χαμηλές συγκεντρώσεις:

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,h}} = 490,57 \text{ αποικίες / 100 ml}$$

Αλλάζουν και τα b και F και γίνονται $b = 2,2 \cdot 10^{-3}$ και $F = 3,64$

Άρα το βάθος εκβολής γίνεται

$$z_e = 16,23\text{m}$$

Το πλούμιο δεν ανέρχεται στην επιφάνεια της θάλασσας μιας και το βάθος σε σημείο **1600** μέτρα από την ακτή είναι πολύ μεγαλύτερο από την άνοδο του πλουμίου και φτάνει και τα **50 μέτρα**.

3.2.6.Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στην περίπτωση της πόλης του Ρεθύμνου παρατηρεί κανείς τα ίδια περίπου προβλήματα που προέκυψαν και για την πόλη των Χανίων. Και για τις τρεις εξεταζόμενες συγκεντρώσεις (Q_{\max} , $Q_{\text{μεσο}}$, Q_h) η αραίωση που επιτυγχάνεται είναι πολύ μικρότερη από την επιθυμητή και έτσι έχουμε πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κολοβακτηριδίων από τις επιτρεπόμενες.

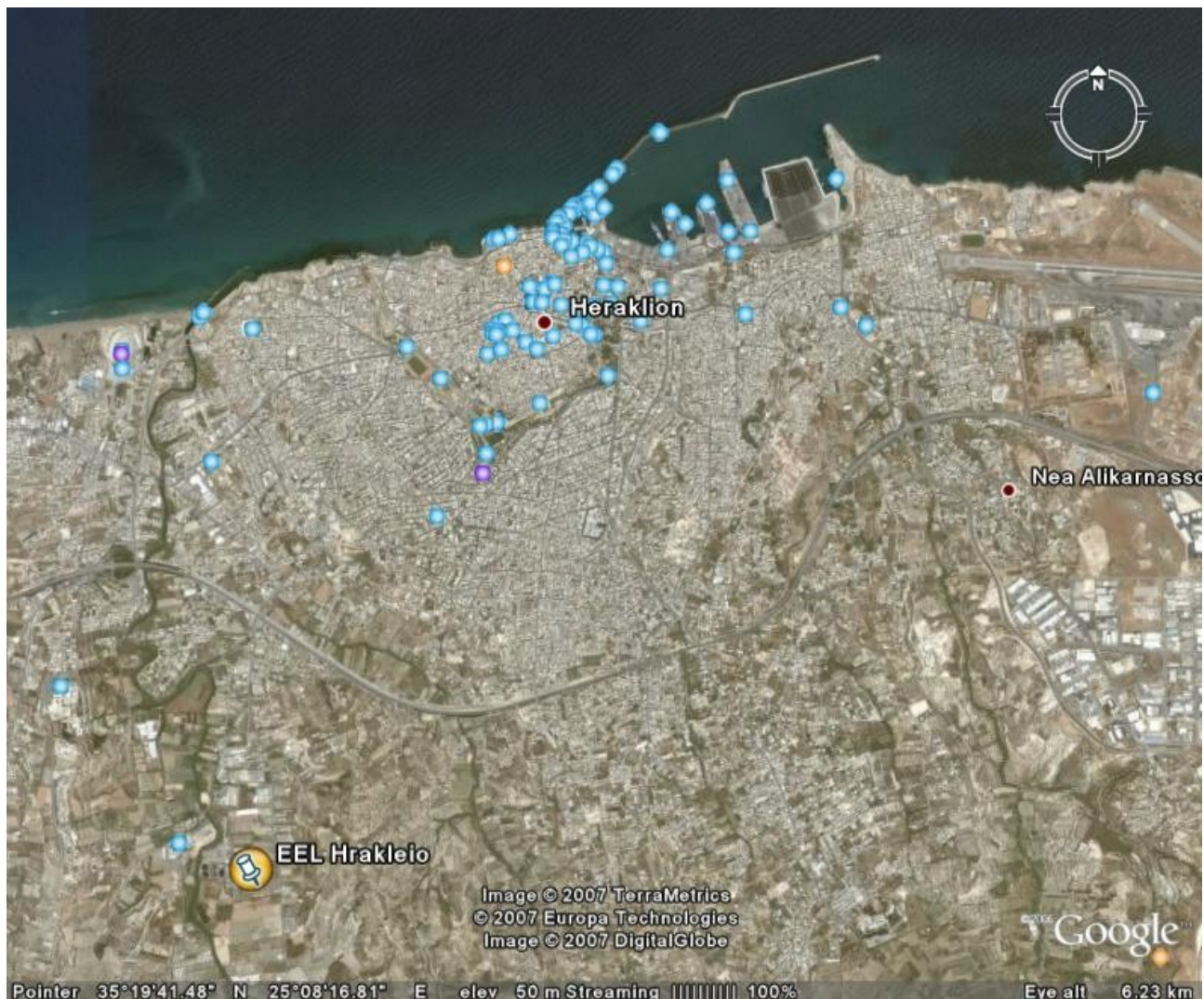
Σχεδιαστικά ο αγωγός διάθεσης λυμάτων πρέπει να έχει σχεδόν το τριπλάσιο μήκος από αυτό που έχει ο υφιστάμενος. Με μήκος 1600m, οι συγκεντρώσεις κολοβακτηριδίων που προκύπτουν είναι κάτω από τα όρια που έχει θέσει η Π.Ο.Υ., καθώς επιτυγχάνεται η επιθυμητή αραίωση. Σημειώνεται ακόμα ότι για τις τρεις συγκεντρώσεις, το βάθος εκβολής είναι μεγαλύτερο από το ύψος ανόδου του πλουμίου.

Παρακάτω φαίνονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα:

	Q(m ³ /day)	Υφιστάμενος αγωγός			διαστασιολόγηση αγωγού			
		X(m)	Sactual	C _{κολοβακτηρίδια}	X(m)	Sactual	C _{κολοβακτηρίδια}	Z _e
$Q_{\text{μεσο}}$	11000	600	1823,18	5484,92	1440	20098,43	497,55	12,19
Q_{\max}	13000		1667,09	5998,48	1490	20338,2	491,69	13,25
Q_h	19500		1340,43	7460,29	1600	20384,5	490,57	16,23

Εικόνα 3.2.6.-1. Πίνακας σύγκρισης τιμών αραίωσης και συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων για υφιστάμενο αγωγό διάθεσης με σχεδιαστικά πρότυπο αγωγό

3.3.Ηράκλειο



3.3.1.Στοιχεία από το πεδίο:

Ο βιολογικός καθαρισμός εντάσσεται στο σχέδιο ολοκληρωμένης διαχείρισης λυμάτων της ευρύτερης περιοχής του Ηρακλείου και περιλαμβάνει κεντρικούς και δευτερεύοντες αποχετευτικούς αγωγούς, την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων και τον αγωγό διάθεσης της εκροής. Το έργο ολοκληρώθηκε το 1995 ενώ η λειτουργία του ξεκινάει στις αρχές του 1996 με

βοθρολύματα. Πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι παράλληλα με την έναρξη της λειτουργίας του, έκλεισε η χαβούζα νοτίως του αεροδρομίου και η θάλασσα ανακουφίστηκε από την τεράστια μόλυνση των βοθρολυμάτων. Ο βιολογικός καθαρισμός μπορεί να δεχτεί λύματα και βοθρολύματα των δήμων Ηρακλείου, Ν.Αλικαρνασσοῦ και Γαζίου, ενώ έχει δυναμικότητα 164.000 κατοίκων. Η μέση ημερήσια παροχή λυμάτων που δέχεται η εγκατάσταση είναι 30.000m³/day, η μέγιστη ημερήσια είναι 40.000m³/day ενώ η μέγιστη ωριαία παροχή είναι 60.000m³/day.

Η διαδικασία που ακολουθείται κατά την Β'βάθμια επεξεργασία των λυμάτων περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια: εσχάρωση, αμμοσυλλέκτη και λιποσυλλέκτη, πρωτοβάθμια καθίζηση, αερισμό, δευτεροβάθμια καθίζηση και απολύμανση με χλωρίωση. Η καθιζάνουσα λάσπη ανακυκλοφορεί προς τη δεξαμενή αερισμού ενώ η περίσσεια οδηγείται προς τη γραμμή επεξεργασίας λάσπης. Η παραγόμενη λάσπη περνάει από μηχανικό παχυντή, μεταπαχυντή και τελικά ταινιοφιλτρώπρεςσες όπου και αφυδατώνεται πριν διατεθεί στον Χ.Υ.Τ.Α. Ηρακλείου. Από το βιοαέριο που προκύπτει ανακτάται ηλεκτρική ενέργεια που καλύπτει το 20% περίπου των ενεργειακών αναγκών της μονάδας.

Στον πίνακα παρακάτω φαίνονται οι συγκεντρώσεις που μας ενδιαφέρουν κατά την είσοδο και κατά την έξοδο των λυμάτων.

<i>mg/l</i>	<i>Είσοδος</i>	<i>Έξοδος</i>
BOD ₅	350	15
COD	700	40
TSS	300	10
N	60	6
P	15	12

Για τα κολοβακτηρίδια κάνουμε την παραδοχή ότι η συγκέντρωση μετά την δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία είναι της τάξης των 10⁷ αποικιών ανα 100 ml. Η επιθυμητή αραίωση είναι και εδώ $S_{actual} = 10^7 / 500 = 20.000$

Τα λύματα διατίθενται στη θάλασσα μέσω υποθαλάσσιου αγωγού με διάμετρο Φ900mm, ο οποίος εκβάλει σε απόσταση 1000 μέτρων από την ακτή σε βάθος 12 μέτρων. Τα τελευταία 100 μέτρα του αγωγού είναι ο διαχυτήρας, ο οποίος βρίσκεται 2 μέτρα πάνω από τον αγωγό, σε βάθος δηλαδή 10 μέτρων, και έχει 100 ισοκατανεμημένα ακροφύσια στην πλαϊνή πλευρά που εκβάλλουν οριζόντια στον πυθμένα της θάλασσας.

3.3.2. Υπολογισμός συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων στον αποδέκτη με χρήση του υφιστάμενου αγωγού

Αν και το μήκος του υφιστάμενου αγωγού είναι 1000 μέτρα, στους υπολογισμούς για την απόδοση του συστήματος διάθεσης θα δεχτούμε ότι το μήκος του είναι 1500 μέτρα, όση δηλαδή η απόσταση του σημείου εκβολής από το σημείο χρήσης.

Στην περίπτωση της μέσης ημερήσιας παροχής ($Q_{\text{μέσο}} = 30000 \text{ m}^3/\text{day}$) έχουμε:

$$\frac{X}{U} = \frac{1500}{0,2} = 7,5 * 10^3$$

Από τις εξισώσεις (2.1.1.), (2.1.2.), (2.1.20.) και (2.1.23.) προκύπτει :

$$S_{\text{actual}} = 3440,92$$

Η συγκέντρωση κολοβακτηριδίων που προκύπτει είναι:

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια, μέσο}} = 2906,2 \text{ αποικίες/100ml}$$

Στην περίπτωση της μέγιστης ημερήσιας παροχής ($Q_{\text{max}} = 40000 \text{ m}^3/\text{day}$) έχουμε:

$$\frac{X}{U} = \frac{1500}{0,2} = 7,5 * 10^3$$

Επομένως $S_{\text{actual}} = 2950,83$ και η συγκέντρωση κολοβακτηριδίων που προκύπτει είναι

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,max}} = 3388,88 \text{ αποικίες/100ml}$$

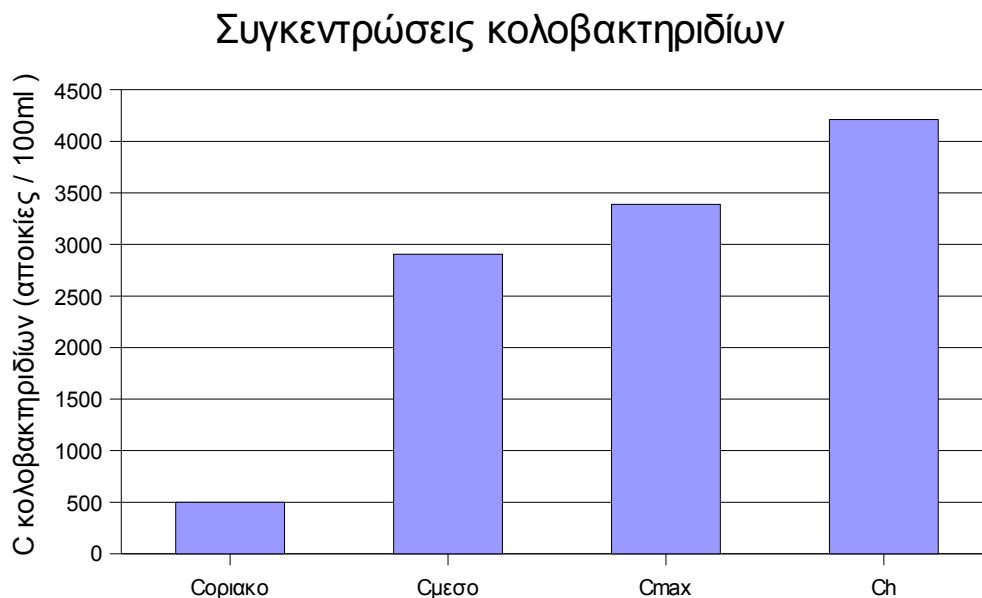
Στην περίπτωση της **μέγιστης ωριαίας παροχής** ($Q_h = 42000 \text{ m}^3/\text{day}$) έχουμε:

$$\frac{X}{U} = \frac{1500}{0,2} = 7,5 * 10^3$$

Η αραίωση είναι $S_{\text{actual}} = 2373,93$

Προκύπτει :

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,h}} = 4212,42 \text{ αποικίες/100ml}$$



Εικόνα 3.3.2.-1.Γραφική απεικόνιση των συγκεντρώσεων κολοβακτηριδίων που προκύπτουν από την διάθεση αποβλήτων μέσω του υφιστάμενου αγωγού.

3.3.3.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέση ημερήσια παροχή($Q_{\text{μεσο}}$)

Για $Q_{\text{μεσο}} = 30.000 \text{ m}^3/\text{day}$ έχουμε:

Ο συντελεστής C είναι

$$C = 0,03101 \left[\frac{(1027,07 - 999)}{(0,025)} \right]^{1/2} = 1,039$$

$$S_{\text{baseline}} = S_{\text{actual}} / C = 20.000 / 1,039 = 19249,29$$

και από νομογράφημα προκύπτει ότι είναι $\frac{X}{U} = 9,1 * 10^3$

Τελικά το μήκος του αγωγού πρέπει να είναι $X=1820\text{m}$. Από το spreadsheet όμως, που δίνει πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα, παίρνουμε το τελικό μήκος του αγωγού:

$$\mathbf{X = 1780m}$$

Με αυτό το μήκος έχουμε αραίωση $S_{\text{actual}} = 20587,23$ και πετυχαίνουμε να έχουμε συγκέντρωση κολοβακτηριδίων κάτω από το όριο που έχει οριστεί, δηλαδή

$$\mathbf{C_{\text{κολοβακτηρίδια,μεσο}} = 485,74 \text{ αποικίες} / 100\text{ml.}}$$

Το μήκος του διαχυτήρα είναι $L = 2,5 * 30 = 75\text{m}$.

Ο συντελεστής b γίνεται

$$b = 9,81 \text{ m/sec}^2 \frac{28,07 \text{ kg/m}^3}{1027,07 \text{ kg/m}^3} \frac{30000 \text{ m}^3/\text{day}}{75 \text{ m}} \frac{1}{86400} \text{ day/sec}$$

$$b = 1,24 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}^3$$

και

$$F = \frac{U^3}{b}$$

$$F = \frac{0,2^3}{1,24 * 10^{-3}} = 6,45$$

Αφού λοιπόν είναι $1 \leq F \leq 100$ το βάθος εκβολής του αγωγού διάθεσης υπολογίζεται ως εξής :

$$z_e = 80,61 U^{-1/2} \left[\frac{L}{Q} \right]^{-1/2}$$

$$z_e = 80,61 \frac{1}{\sqrt{0,2 \text{ m/sec}}} \frac{1}{\sqrt{\frac{75\text{m}}{30000 \text{ m}^3/\text{day}} 86400 \text{ sec/day}}}$$

Το βάθος εκβολής που προκύπτει είναι

$$\mathbf{z_e = 12,19 \text{ m}}$$

Στον συγκεκριμένο σχεδιασμό ο αγωγός εκβάλλει σε απόσταση **1780 μέτρων** από την ακτή και σε βάθος **31 μέτρων**. Για τον λόγο αυτόν το πλούμιο δεν ανέρχεται μέχρι την επιφάνεια της θάλασσας αλλά διαχέεται μέχρι να φτάσει στο ύψος των 12,19 μέτρων.

3.3.4. Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ημερήσια παροχή (Q_{\max})

Για $Q_{\max} = 40.000 \text{ m}^3/\text{day}$ έχουμε $S_{\text{baseline}} = 19249,29$ και από νομογράφημα $\frac{X}{U} = 9300$, άρα ενδεικτικό μήκος αγωγού είναι το $X = 1860\text{m}$.

Από τις εξισώσεις (2.1.1), (2.1.2.), (2.1.20.) και (2.1.23), που συνήθως μας δίνουν μια πιο ικανοποιητική λύση, προκύπτει το ίδιο μήκος:

$$X = 1860\text{m}$$

με αραίωση $S_{\text{actual}} = 20352,04$ και συγκέντρωση κολοβακτηριδίων

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια, max}} = 491,35 \text{ αποικίες}/100\text{ml}$$

Αλλάζουν και τα b και F και γίνονται $b = 1,66 \cdot 10^{-3}$ και $F = 4,82$

Άρα το βάθος εκβολής γίνεται

$$z_e = 14,07\text{m}$$

Με την μέγιστη ημερήσια παροχή λυμάτων η διαστασιολόγηση δίνει αγωγό που εκβάλλει σε απόσταση **1860 μέτρων** από την παραλία και σε βάθος **34 μέτρων**. Το μέγιστο ύψος που φτάνει το πλούμιο είναι αυτό των 14,07 μέτρων και έτσι δεν δημιουργείται κανένα πρόβλημα σχετικά με ελλιπή διάχυση πλουμίου.

3.3.5. Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ωριαία παροχή(Q_h)

Για $Q_h = 60.000 \text{ m}^3/\text{day}$ έχουμε $S_{\text{baseline}} = 19249,29$ και από νομογράφημα $\frac{X}{U} = 9800$, άρα

το μήκος του αγωγού είναι $X = 1960\text{m}$.

Από το spreadsheet όμως του Excel παίρνουμε ότι το κατάλληλο μήκος για να επιτευχθεί ικανοποιητική αραίωση είναι

$$\mathbf{X = 1975m}$$

Με αυτό το μήκος τα λύματα αραιώνονται με αραίωση $S_{\text{actual}} = 20045,76$ και η τελική συγκέντρωση κολοβακτηριδίων είναι

$$\mathbf{C_{\text{κολοβακτηρίδια,h}} = 498,86 \text{ αποικίες}/100\text{ml}}$$

Για Q_h έχουμε επίσης $b = 2,48 \cdot 10^{-3}$ και $F = 3,22$

Άρα το βάθος εκβολής γίνεται

$$\mathbf{z_e = 17,24m}$$

Ελέγχοντας πάλι αν το πλούμιο ανέρχεται μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας, βλέπουμε, πως ο αγωγός μήκους **1975 μέτρων** εκβάλλει σε βάθος **36 μέτρων**, σχεδόν διπλάσιο της ανύψωσης του πλουμίου. Άρα το πλούμιο διαχέεται πριν φτάσει να γίνει αισθητό σαν επιφανειακή

θαλάσσια μόλυνση.

3.3.6.Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στο Ηράκλειο, αν και είναι η μεγαλύτερη πόλη της Κρήτης και έχει το πιο μεγάλο λιμάνι(επιβατικό και εμπορικό) και τις πιο μεγάλες τουριστικές περιοχές(π.χ. Χερσόνησος), φαίνεται να μην έχει γίνει πολύ προσεκτικός σχεδιασμός της μονάδας επεξεργασίας και του αγωγού διάθεσης και έτσι δεν τηρούνται τα ανώτατα όρια για τις συγκεντρώσεις, κολοβακτηριδίων τουλάχιστον, στα λύματα. Φαινομενικά και σε σχέση με τις άλλες πόλεις της Κρήτης ο αγωγός μήκους ενός χιλιομέτρου θα περίμενε κανείς να οδηγεί σε ικανοποιητική διάχυση του πλουμίου, δεν είναι όμως έτσι. Ακόμα και αν σχεδιαζόταν ο αγωγός με βάση τη μέση ημερήσια παροχή λυμάτων (και όχι τη μέγιστη όπως γίνεται συνήθως), με αγωγό μήκους 1000 μέτρων πάλι δεν θα φτάναμε στην επιθυμητή αραίωση αλλά θα μέναμε σε πολύ μικρότερες τιμές.

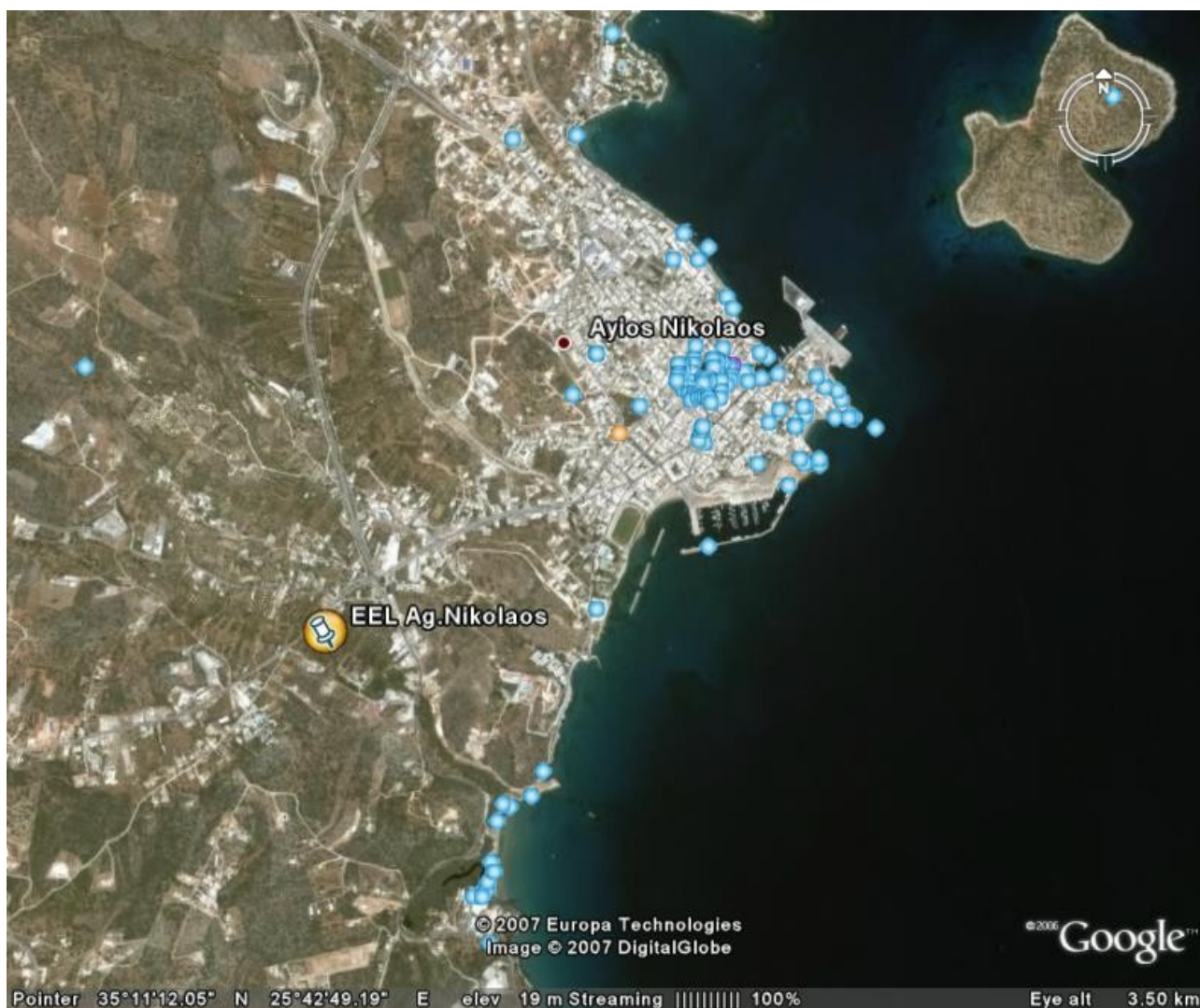
Αυτό που τελικά φαίνεται από την προκαταρκτική μελέτη είναι ότι ο αγωγός διάθεσης θα έπρεπε να έχει περίπου το διπλάσιο μήκος, αφού με βάση τη μέγιστη ημερήσια παροχή χρειάζεται αγωγός μήκους 1860 μέτρων.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συνολικά τα αποτελέσματα των υπολογισμών:

	Q(m ³ /day)	Υφιστάμενος αγωγός			διαστασιολόγηση αγωγού			
		X(m)	Sactual	C _{κολοβακτηρίδια}	X(m)	Sactual	C _{κολοβακτηρίδια}	Z _e
Q _{μεσο}	30000	1000	3440,92	2906,2	1780	20587,23	485,74	12,19
Q _{max}	40000		2950,83	3388,88	1860	20352,04	491,35	14,07
Q _h	60000		2373,93	4212,42	1975	20045,76	498,86	17,24

Εικόνα 3.3.6.-1. Πίνακας σύγκρισης τιμών αραιώσης και συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων για υφιστάμενο αγωγό διάθεσης με σχεδιαστικά πρότυπο αγωγό.

3.4. Άγιος Νικόλαος



3.4.1. Στοιχεία από το πεδίο:

Ο βιολογικός καθαρισμός του δήμου Αγ. Νικολάου βρίσκεται στην τοποθεσία Αμμουδάρα και λειτουργεί από το 1982. Σχεδιάστηκε με την προοπτική να εξυπηρετεί 32.000 ισοδύναμους

κατοίκους και να επεξεργάζεται 8000m³/day. Σήμερα επεξεργάζεται μόνο αστικά απόβλητα από το αποχετευτικό σύστημα της πόλης και βοθρολύματα με μέγιστη ημερήσια παροχή τα 1900m³/day τις μέρες του Αυγούστου, ενώ η μέγιστη ωριαία παροχή (2850m³/day) επιτυγχάνεται κατά τις μεσημεριανές ώρες. Η μέση ημερήσια παροχή είναι στα 1200m³/day.

Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας είναι η εσχάρωση και η εξάμμωση (με λιποσυλλέκτη). Πρωτοβάθμια καθίζηση δεν υπάρχει και έτσι ακολουθούν δύο δεξαμενές αερισμού με επιφανειακούς αεριστήρες. Μετά και την δευτεροβάθμια καθίζηση ανακυκλοφορούν τα λύματα για να γίνει απονιτροποίηση, ενώ η απολύμανση γίνεται με χλωρίωση. Η λάσπη, πριν διατεθεί στον τοπικό Χ.Υ.Τ.Α., περνάει από διαδικασία πάχυνσης με βαρύτητα και μετά αφυδατώνεται σε ταινιοφιλτρώπρεςσες.

Οι συγκεντρώσεις πριν και μετά την επεξεργασία αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

<i>mg/l</i>	<i>Είσοδος</i>	<i>Έξοδος</i>
BOD ₅	400	19
COD	790	84
TSS	260	11
N	54	26
P	3,6	4,15

Λόγω απουσίας δεδομένων θεωρούμε $C_{\text{κολοβακτηρίδια}} = 10^7$ αποικίες/100ml. Η αραίωση που απαιτείται υπολογίζεται ως εξής :

$$S_{\text{actual}} = 10^7 / 500 = 20.000$$

Τελικά τα λύματα διατίθενται στον κόλπο του Μιραμβέλλου σε απόσταση 800 μέτρων από την ακτή και σε βάθος 35 μέτρα. Ο υποθαλάσσιος αγωγός διάθεσης έχει διάμετρο Φ600mm και καταλήγει σε οριζόντιο διαχυτήρα με οπές διαμέτρου 4 εκατοστών στα πλαϊνά μέρη του.

3.4.2.Υπολογισμός συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων στον αποδέκτη με χρήση του υφιστάμενου αγωγού

Ο υφιστάμενος αγωγός διάθεσης έχει μήκος 800 μέτρα. Επειδή η περιοχή κοντά στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων χαρακτηρίζεται από έντονη τουριστική δραστηριότητα, σε κάθε σχεδόν σημείο της ακτογραμμής μπορούμε να δεχτούμε ότι υπάρχει χρήση της ακτής και των υδάτων από ντόπιους όλο το χρόνο και από επισκέπτες λουόμενους τους καλοκαιρινούς μήνες. Η απόσταση λοιπόν του σημείου εκβολής από το σημείο χρήσης είναι και αυτή 800 μέτρα.

Στην περίπτωση της μέσης ημερήσιας παροχής ($Q_{\text{μεσο}} = 1200\text{m}^3/\text{day}$) έχουμε:

$$\frac{X}{U} = \frac{800}{0,2} = 4 * 10^3$$

Από τις εξισώσεις (2.1.1.), (2.1.2.), (2.1.20.) και (2.1.23.) προκύπτει η ολική αραίωση να είναι $S_{\text{actual}} = 22344,01$.

Η αντίστοιχη συγκέντρωση κολοβακτηριδίων είναι

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,μεσο}} = 447,54 \text{ αποικίες}/100\text{ml}$$

Για τη μέγιστη ημερήσια παροχή ($Q_{\text{max}} = 1900\text{m}^3/\text{day}$)έχουμε:

$$\frac{X}{U} = \frac{800}{0,2} = 4 * 10^3$$

Επομένως για Q_{\max} έχω $S_{\text{actual}} = 17492,31$

Η συγκέντρωση κολοβακτηριδίων που προκύπτει είναι

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,max}} = 571,68 \text{ αποικίες/100ml}$$

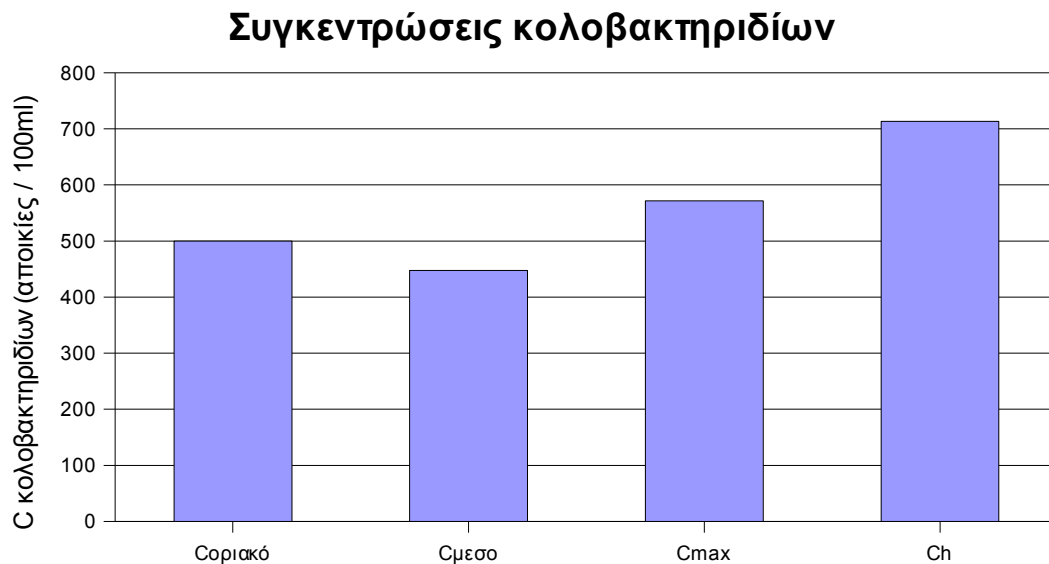
Τέλος, στην περίπτωση της μέγιστης ωριαίας παροχής ($Q_h = 2850 \text{ m}^3/\text{day}$) έχουμε:

$$\frac{X}{U} = \frac{800}{0,2} = 4 * 10^3$$

$$S_{\text{actual}} = 14019,23.$$

Από τους υπολογισμούς με το spreadsheet παίρνουμε:

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,h}} = 713,31 \text{ αποικίες/100ml}$$



Εικόνα 3.4.3.-1.Γραφική απεικόνιση των συγκεντρώσεων κολοβακτηριδίων που προκύπτουν από την διάθεση αποβλήτων μέσω του υφιστάμενου αγωγού.

3.4.3.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέση ημερήσια παροχή($Q_{\text{μεσο}}$)

Για $Q_{\text{μεσο}} = 1200 \text{ m}^3/\text{day}$ έχουμε:

Ο συντελεστής C είναι

$$C = 0,03101 \left[\frac{(1027,07 - 999)}{(0,025)} \right]^{1/2} = 1,039$$

$$S_{\text{baseline}} = S_{\text{actual}} / C = 20.000 / 1,039 = 19249,29$$

και από νομογράφημα προκύπτει ότι είναι $\frac{X}{U} = 3,8 * 10^3$ και το μήκος του αγωγού

πρέπει να είναι $X=920\text{m}$. Το μήκος όμως που δίνει το spreadsheet από τις εξισώσεις είναι πιο αξιόπιστο οπότε θεωρούμε αυτό:

$$X = 770\text{m}$$

Η αντίστοιχη αραίωση που προκύπτει είναι $S_{\text{actual}} = 20369,96$ και η συγκέντρωση κολοβακτηριδίων είναι κάτω από το ανώτατο όριο, συγκεκριμένα

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,μεσο}} = 490,91 \text{ αποικίες/100ml}$$

Το μήκος του διαχυτήρα είναι $L = 2,5 * 1,2 = 3\text{m}$.

Ο συντελεστής b είναι

$$b = 9,81 \text{ m/sec}^2 \frac{28,07 \text{ kg/m}^3}{1027,07 \text{ kg/m}^3} \frac{1200 \text{ m}^3/\text{day}}{3 \text{ m}} \frac{1}{86400} \text{ day/sec}$$

$$b = 1,24 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}^3$$

και

$$F = \frac{U^3}{b}$$

$$F = \frac{0,2^3}{1,24 * 10^{-3}} = 6,45$$

Αφού λοιπόν είναι $1 \leq F \leq 100$ το βάθος εκβολής του αγωγού διάθεσης υπολογίζεται ως εξής :

$$z_e = 80,61 U^{-1/2} \left[\frac{L}{Q} \right]^{-1/2}$$

$$z_e = 80,61 \frac{1}{\sqrt{0,2 \text{ m/sec}}} \frac{1}{\sqrt{\frac{3\text{m}}{1200 \text{ m}^3/\text{day}} 86400 \text{ sec/day}}}$$

Το ύψος ανόδου του πλουμίου που προκύπτει είναι

$$z_e = 12,19 \text{ m}$$

Στο σημείο εκβολής που απέχει **770 μέτρα** από την ακτή, το βάθος της θάλασσας είναι **18 μέτρα**, άρα το ύψος ανόδου του πλουμίου είναι μικρότερο από το βάθος.

3.4.4. Διαστασιολόγηση αγωγού για μέγιστη ημερήσια παροχή (Q_{\max})

Για $Q_{\max} = 1900 \text{ m}^3/\text{day}$ έχουμε $S_{\text{baseline}} = 19249,29$ και από νομογράφημα $\frac{X}{U} = 3800$,άρα

$X = 920\text{m}$. Οι εξισώσεις με τη βοήθεια του excel δίνουν λίγο μικρότερο μήκος, συγκεκριμένα:

$$X = 845\text{m}$$

Με αυτό το μήκος αγωγού επιτυγχάνεται αραίωση $S_{\text{actual}} = 20022,84$ ενώ η συγκέντρωση των κολοβακτηριδίων είναι:

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,max}} = 499,43$$

Αλλάζουν και τα b και F και γίνονται $b = 1,96 \cdot 10^{-3}$ και $F = 4,08$

Άρα το ύψος ανόδου του πλουμίου γίνεται

$$z_e = 15,35\text{m}$$

Και σε αυτήν την περίπτωση, σε απόσταση **845 μέτρων** από την ακτή, το βάθος ξεπερνάει το ύψος ανόδου του πλουμίου, αφού είναι **21 μέτρα**

3.4.5. Διαστασιολόγηση αγωγού για μέγιστη ωριαία παροχή (Q_h)

Για $Q_h = 2850 \text{ m}^3/\text{day}$ έχουμε $S_{\text{baseline}} = 19249,29$ και από νομογράφημα $\frac{X}{U} = 5200$, άρα $X = 1040\text{m}$. Πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα είναι αυτό που προκύπτει από τις εξισώσεις, δηλαδή:

$$X = 920\text{m}$$

Από τις εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν και παραπάνω (βλ. 3.4.2.) έχουμε ότι η αντίστοιχη αραιώση είναι $S_{\text{actual}} = 20017,3$ και ότι η συγκέντρωση κολοβακτηριδίων δεν υπερβαίνει το επιτρεπτό ανώτατο όριο

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια},h} = 499,57 \text{ αποικίες}/100\text{ml}$$

Αλλάζουν και τα b και F και γίνονται $b = 2,95 \cdot 10^{-3}$ και $F = 2,71$

Άρα το ελάχιστο βάθος εκβολής γίνεται

$$z_e = 18,78$$

Με τον παραπάνω σχεδιασμό ο αγωγός εκβάλει σε απόσταση **920 μέτρων** από την ακτή και σε βάθος **24 μέτρων**. Αυτό σημαίνει ότι η στρωμάτωση είναι αρκετά ισχυρή ώστε να μην ανέβει το πλούμιο στην ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας.

3.4.6. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων του Αγ.Νικολάου, αν και είναι σχεδιασμένη το 1982, λειτουργεί ικανοποιητικά και τα λύματα έχουν μεν μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων από τα επιτρεπτά όρια αλλά δεν τα ξεπερνούν κατά πολύ.

Σχεδιαστικά, για τη μέγιστη ημερήσια παροχή λυμάτων, ο αγωγός θα έπρεπε να έχει μήκος 845 μέτρα ενώ έχει 800 μέτρα, κάτι που σημαίνει ότι αν ο αγωγός ήταν μόλις 50 με 60 μέτρα πιο μακρύς θα προσεγγίζονταν οι επιθυμητές αραιώσεις. Για την μέση ημερήσια παροχή, οι αραιώσεις αυτές επιτυγχάνονται αφού ο αγωγός είναι 30 μέτρα πιο μακρύς απ'ότι χρειάζεται για να είναι οι συγκεντρώσεις κολοβακτηριδίων κάτω από τις επιτρεπτές τιμές. Ωστόσο δεν πρέπει να παραβλέπουμε ότι για την μέγιστη ωριαία παροχή το απαιτούμενο μήκος είναι 920 μέτρα, 120 μέτρα περισσότερο από το υφιστάμενο.

	Q(m ³ /day)	Υφιστάμενος αγωγός			διαστασιολόγηση αγωγού			
		X(m)	Sactual	C _{κολοβακτηρίδια}	X(m)	Sactual	C _{κολοβακτηρίδια}	Z _e
Q _{μεσο}	1200	800	22344,01	447,54	770	20369,96	490,91	12,19
Q _{max}	1900		17492,31	571,68	845	20022,84	499,43	15,35
Q _h	2850		14019,23	713,31	920	20017,3	499,57	18,78

Εικόνα 3.4.6.-1. Πίνακας σύγκρισης τιμών αραίωσης και συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων για υφιστάμενο αγωγό διάθεσης με σχεδιαστικά πρότυπο αγωγό.

3.5.Σητεία



3.5.1.Στοιχεία από το πεδίο:

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων στην πόλη της Σητείας εξυπηρετεί ισοδύναμο πληθυσμό της τάξης των 20.000 και επεξεργάζεται μόνο αστικά απόβλητα από το αποχετευτικό σύστημα και βοθρολύματα, όχι βιομηχανικές ή ξενοδοχειακές μονάδες. Ο ημερίσιος όγκος λυμάτων προς επεξεργασία κυμαίνεται από 2200m³/day κατά τους χειμερινούς μήνες έως 3400m³/day κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, τις μέρες που η παροχή είναι μέγιστη. Η μέση ημερήσια παροχή είναι 2800m³/day , ενώ η μέγιστη ωριαία παροχή είναι 5100m³/day.

Τα βοθρολύματα διέρχονται από ξεχωριστή υδραυλική γραμμή, με ξεχωριστή εσχάρωση και αερισμό. Τα λοιπά λύματα διέρχονται από αεριζόμενους εξαμμωτές με 4 φυσητήρες και με λιποσυλλέκτη. Ακολουθεί η αποφωσφόρηση, η απονιτροποίηση και ο αερισμός με ανακυκλοφορία. Σε αυτό το σημείο συναντάται η πρώτη διαδικασία καθίζησης καθώς απουσιάζει η δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης. Τον πρώτο καιρό λειτουργίας του βιολογικού καθαρισμού γινόταν χλωρίωση για απολύμανση των λυμάτων, αλλά η διαδικασία σταμάτησε λόγω επηρεασμού του θαλάσσιου αποδέκτη. Η λάσπη που προκύπτει υπόκειται σε πάχυνση και αφυδάτωση με

ταινιοφιλτρόπρεσσες και τελικά καταλήγει στον χώρο υγειονομικής ταφής.

Τα λύματα διατίθενται στην θάλασσα με υποθαλάσσιο αγωγό μήκους 430 μέτρων και διαμέτρου Φ315mm, ο οποίος εκβάλει σε βάθος 40 μέτρων. Στο τέλος του αγωγού βρίσκεται διαχυτήρας μήκους 25 μέτρων και Φ150mm, όπου κάθε 5μέτρα υπάρχουν όρθιοι ανυψωτήρες με διάμετρο Φ150mm.

3.5.2.Υπολογισμός συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων στον αποδέκτη με χρήση του υφιστάμενου αγωγού

Το μήκος του αγωγού είναι 430 μέτρα, από την παρατήρηση του χάρτη όμως, βλέπουμε ότι η απόσταση του σημείου εκβολής από το σημείο που έρχεται σε επαφή με τους κολυμβητές είναι 500 μέτρα.

Για τη μέση ημερήσια παροχή ($Q_{\text{μεσο}} = 2800\text{m}^3/\text{day}$) είναι :

$$\frac{X}{U} = \frac{500}{0,2} = 2,5 * 10^3$$

Επομένως για $Q_{\text{μεσο}}$ από τις εξισώσεις (2.1.1.), (2.1.2.), (2.1.20.)και (2.1.23.)έχουμε $S_{\text{actual}} = 2797,16$.

Η αντίστοιχη συγκέντρωση που προκύπτει είναι

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,μεσο}} = 3575,05 \text{ αποικίες}/100\text{ml}$$

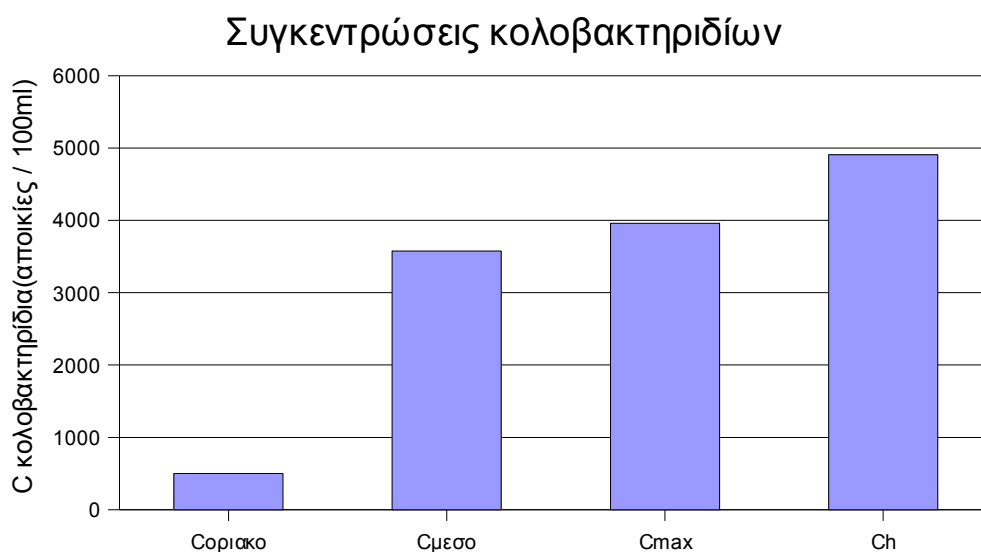
Για τη **μέγιστη ημερήσια παροχή** ($Q_{\max} = 3400 \text{ m}^3/\text{day}$) έχουμε $S_{\text{actual}} = 2524,46$ και συγκέντρωση κολοβακτηριδίων

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,max}} = 3961,24 \text{ αποικίες/100ml}$$

Στην περίπτωση της **μέγιστης ωριαίας παροχής** ($Q_h = 5100 \text{ m}^3/\text{day}$) η αραίωση παίρνει την τιμή $S_{\text{actual}} = 2036,79$ και τα κολοβακτηρίδια φτάνουν τη συγκέντρωση:

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,h}} = 4909,69 \text{ αποικίες/100ml}$$

Οι συγκεντρώσεις των κολοβακτηριδίων φαίνονται γραφικά στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 3.5.2.-1.Γραφική απεικόνιση των συγκεντρώσεων κολοβακτηριδίων που προκύπτουν από την διάθεση αποβλήτων μέσω του υφιστάμενου αγωγού.

3.5.3.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέση ημερήσια παροχή($Q_{\text{μεσο}}$)

Για $Q_{\text{μεσο}} = 2800 \text{ m}^3/\text{day}$ έχουμε:

Ο συντελεστής C είναι

$$C = 0,03101 \left[\frac{(1027,07 - 999)}{(0,025)} \right]^{1/2} = 1,039$$

$$S_{\text{baseline}} = S_{\text{actual}} / C = 20.000 / 1,039 = 19249,29$$

και από νομογράφημα προκύπτει ότι είναι $\frac{X}{U} = 5 * 10^3$ και ότι το μήκος του αγωγού

πρέπει να είναι $X = 1000\text{m}$. Από τις εξισώσεις υπολογισμού της αραίωσης σε σχέση με το μήκος του αγωγού και το αντίστοιχο spreadsheet προκύπτει ότι το μήκος του αγωγού πρέπει να είναι:

$$\mathbf{X = 1010\text{m}}$$

Με το μήκος αυτό στη διαστασιολόγηση του νέου αγωγού επιτυγχάνεται αραίωση $S_{\text{actual}} = 20444,94$ και τελικά η συγκέντρωση των κολοβακτηρίων είναι

$$\mathbf{C_{\text{κολοβακτηρίδια,μεσο}} = 489,11 \text{ αποικίες}/100\text{ml}}$$

Το μήκος του διαχυτήρα είναι $L = 2,5 * 2,8 = 7\text{m}$.

Ο συντελεστής b είναι

$$b = 9,81 \text{ m/sec}^2 \frac{28,07 \text{ kg/m}^3}{1027,07 \text{ kg/m}^3} \frac{2800 \text{ m}^3/\text{day}}{7 \text{ m}} \frac{1}{86400} \text{ day/sec}$$

$$b=1,24*10^{-3} m^3/sec^3$$

και

$$F=\frac{U^3}{b}$$

$$F=\frac{0,2^3}{1,24*10^{-3}}=6,45$$

Αφού λοιπόν είναι $1 \leq F \leq 100$ το βάθος εκβολής του αγωγού διάθεσης υπολογίζεται ως εξής :

$$z_e=80,61 U^{-1/2} \left[\frac{L}{Q} \right]^{-1/2}$$

$$z_e=80,61 \frac{1}{\sqrt{0,2 m/sec}} \frac{1}{\sqrt{\frac{7m}{2800 m^3/day} 86400 sec/day}}$$

Το βάθος εκβολής που προκύπτει είναι

$$z_e = 12,19 \text{ m}$$

Λαμβάνοντας τα παραπάνω σαν δεδομένα, παρατηρεί κανείς πως σε απόσταση **1010 μέτρων** από την ακτή, όπου και εκβάλει ο αγωγός διάθεσης, το βάθος είναι **54 μέτρα**. Το πλούμιο που ανέρχεται μόλις στα 12,129 μέτρα δεν φτάνει μέχρι την επιφάνεια της θάλασσας.

3.5.4.Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ημερήσια παροχή(Q_{\max})

Για $Q_{\max}= 3400 \text{ m}^3/\text{day}$ έχουμε:

Ομοίως $S_{\text{baseline}} = 19249,29$ και από νομογράφημα $\frac{X}{U} = 5400$,άρα $X = 1080\text{m}$.

Χρησιμοποιώντας το excel και τις εξισώσεις (2.1.1.), (2.1.2.), (2.1.20.) και (2.1.23.) παίρνουμε σαν μήκος αγωγού το:

$$X = 1045 \text{ m}$$

Η αντίστοιχη αραίωση είναι $S_{\text{actual}} = 20152,55$ και η συγκέντρωση κολοβακτηριδίων προκύπτει να είναι:

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,max}} = 496,22 \text{ αποικίες/100ml}$$

Αλλάζουν και τα b και F και γίνονται $b = 1,5 \cdot 10^{-3}$ και $F = 5,33$

Άρα το βάθος εκβολής γίνεται

$$z_e = 12,19\text{m}$$

Στην περίπτωση αυτή ο αγωγός εκβάλει σε βάθος **53 μέτρα** και σε απόσταση **1045 μέτρα** από την ακτή. Το ανώτερο ύψος του πλουμίου δεν φτάνει το βάθος αυτό και γι'αυτό δεν έρχεται σε επαφή με την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας.

3.5.5. Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ωριαία παροχή (Q_h)

Για $Q_h = 5100 \text{ m}^3/\text{day}$ έχουμε:

Ομοίως $S_{\text{baseline}} = 19249,29$ και από νομογράφημα $\frac{X}{U} = 6000$,άρα $X = 1200\text{m}$

Εξετάζοντας όμως τις εξισώσεις που συνδέουν το μήκος του αγωγού διάθεσης με την ολική αραίωση παρατηρεί κανείς ότι με μήκος

$$X = 1190 \text{ m}$$

πετυχαίνουμε την επιθυμητή αραίωση $S_{\text{actual}} = 20393,85$ και η συγκέντρωση κολοβακτηριδίων πέφτει κάτω από το όριο:

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,h}} = 490,34 \text{ αποκίες/100ml}$$

Οι συντελεστές b και F και γίνονται $b = 2,26 \cdot 10^{-3}$ και $F = 3,54$

Άρα το βάθος εκβολής γίνεται

$$z_e = 16,46\text{m}$$

Για τον σχεδιασμό με βάση τη μέγιστη ωριαία παροχή, ο αγωγός εκβάλει σε απόσταση **1190 μέτρων** από την ακτή και σε βάθος **54 μέτρων**. Το πλούμιο μένει εγκλωβισμένο στα χαμηλά στρώματα και δεν φτάνει μέχρι την επιφάνεια.

3.5.6.Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Ο αγωγός και το συνολικό σύστημα διάθεσης αποβλήτων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων στη Σητεία παρουσιάζει προβλήματα και τα λύματα που εξέρχονται στον θαλάσσιο αποδέκτη δεν διαχέονται ικανοποιητικά.

Ο υποθαλάσσιος αγωγός διάθεσης έχει μήκος μόλις 430 μέτρα, ενώ από τους υπολογισμούς για τη μέγιστη ημερήσια παροχή θα έπρεπε να έχει μήκος τουλάχιστον 1045 μέτρα. Με τον υφιστάμενο αγωγό η συγκέντρωση των κολοβακτηριδίων ξεπερνάει κατά πολύ το όριο των 500 αποικιών ανά 100ml και φτάνει τις 4000 περίπου ανά 100ml. Στην περίπτωση διαστασιολόγησης με βάση τη μέγιστη ωριαία παροχή, η αραιώση παίρνει πολύ μικρότερες τιμές και οι συγκεντρώσεις κολοβακτηριδίων είναι μεγαλύτερες.

Σαν τελικό συμπέρασμα, στο οποίο θα μπορούσε κανείς να καταλήξει, παίρνουμε ότι αν και ο βιολογικός καθαρισμός λειτουργεί ικανοποιητικά, το σύστημα διάθεσης δεν καλύπτει τις ανάγκες της εγκατάστασης και δεν επιτυγχάνεται η επιθυμητή αραιώση.

Συγκεντρωτικά έχουμε τον παρακάτω πίνακα:

	Q(m ³ /day)	Υφιστάμενος αγωγός			διαστασιολόγηση αγωγού			
		X(m)	Sactual	C _{κολοβακτηρίδια}	X(m)	Sactual	C _{κολοβακτηρίδια}	Z _e
Q _{μεσο}	2800	430	2797,16	3575,05	1010	20444,94	489,11	12,19
Q _{max}	3400		2524,46	3961,24	1045	20152,55	496,22	13,43
Q _h	5100		2036,79	4909,69	1200	20032,45	499,19	16,46

Εικόνα 3.5.6.-1. Πίνακας σύγκρισης τιμών αραιώσης και συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων για υφιστάμενο αγωγό διάθεσης με σχεδιαστικά πρότυπο αγωγό.

3.6.Ιεράπετρα



3.6.1. Στοιχεία από το πεδίο:

Ο βιολογικός καθαρισμός της Ιεράπετρας λειτουργεί τα τελευταία 3,5 χρόνια και έχει σχεδιαστεί να εξυπηρετεί έως και 27.000 ισοδύναμους κατοίκους (το καλοκαίρι του 2020 σύμφωνα με τον σχεδιασμό). Η μέση παροχή που δέχεται η εγκατάσταση είναι $1500\text{m}^3/\text{day}$, ενώ η μέγιστη ημερήσια είναι $6000\text{m}^3/\text{day}$ και, αν και δεν εξυπηρετούνται ξενοδοχειακές μονάδες και τουριστικές εγκαταστάσεις, επιτυγχάνεται στα μέσα Αυγούστου τις μεσημεριανές ώρες. Η μέγιστη ωριαία παροχή εκείνη την περίοδο είναι $Q_h = 9000\text{m}^3/\text{day}$.

Η εσχάρωση γίνεται με τέσσερις μηχανικές σχάρες, δύο στα λύματα που εισέρχονται από την αποχέτευση και δύο στα βοθρολύματα. Ακολουθούν δύο αεριζόμενοι εξαμμωτές με λιποσυλλέκτη, δεξαμενές αερισμού όπου γίνεται και απονιτροποίηση και οξειδωτικές τάφροι. Μετά την καθίζηση τα λύματα κυκλοφορούν πάλι στην δεξαμενή αερισμού για να ολοκληρωθεί η απονιτροποίηση. Στη συνέχεια τα λύματα διέρχονται για 15sec από συνθήκες χλωρίωσης για

απολύμανση. Στην λάσπη προστίθεται ηλεκτρολύτης και ακολουθεί πάχυνση με βαρύτητα. Δύο ταινιοφιλτρόπρεσσες αφυδατώνουν τη λάσπη που καταλήγει τελικά στον Χ.Υ.Τ.Α.

Οι συγκεντρώσεις που μας απασχολούν στην είσοδο και στην έξοδο των λυμάτων φαίνονται παρακάτω:

<i>mg/l</i>	<i>Είσοδος</i>	<i>Έξοδος</i>
BOD ₅	300	10
COD	800	30
TSS	300	15
N	50	1,5
P	10	2

Αν και τα λύματα διέρχονται από συνθήκες χλωρίωσης, θα θεωρήσουμε, λόγω απουσίας ακριβέστερων στοιχείων, ότι κάτι τέτοιο δεν γίνεται. Ουτως ή άλλως η χλωρίωση οδηγεί σε μια σειρά από προβλήματα (κίνδυνος λόγω υψηλής τοξικότητας, αντίδραση με οργανικά συστατικά των αποβλήτων και δημιουργία οσμών, τοξικότητα για υδρόβια ζωή του αποδέκτη, δεν είναι 100% αποτελεσματική μέθοδος) και ίσως θα ήταν πιο χρήσιμο να αντικατασταθεί με κάποια άλλη μέθοδο απολύμανσης(π.χ. ακτινοβολία)¹¹

Η διάθεση των αποβλήτων γίνεται με δίδυμους υποθαλάσσιους αγωγούς διαμέτρου Φ355mm, οι οποίοι εκβάλουν σε απόσταση 570 μέτρα από το φρεάτιο φόρτισης (500 μέτρα από την ακτή) και σε βάθος 15 μέτρων. Στο τέλος οι δύο αγωγοί χωρίζονται σε οριζόντιους διαχυτήρες που σχηματίζουν ένα “Τ” με τους αγωγούς. Κάθε ένα από τα κομμάτια του διαχυτήρα έχει μήκος 24 μέτρα και τέσσερις ανυψωτήρες, με ελαστική φλάντζα, μήκους 160cm και διαμέτρου Φ90mm. Τα ακροφύσια εκβάλουν σε απόσταση 1 μέτρου από τον πυθμένα της θάλασσας.

3.6.2. Υπολογισμός συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων στον αποδέκτη με

¹¹ Στάμου, 2004

χρήση του υφιστάμενου αγωγού

Ο αγωγός εκβάλει σε απόσταση 500 μέτρων από την ακτή και μελετώντας τον χάρτη της περιοχής βλέπουμε ότι η απόσταση μέχρι το σημείο χρήσης είναι 600 μέτρα.

Για τη μέση ημερήσια παροχή ($Q_{\text{μεσο}} = 1500\text{m}^3/\text{day}$) έχουμε:

$$\frac{X}{U} = \frac{600}{0,2} = 3 * 10^3$$

Από τις εξισώσεις (2.1.1.), (2.1.2.), (2.1.20.), (2.1.23.) προκύπτει ότι η ολική αραιώση είναι $S_{\text{actual}} = 4175,67$.

Η αντίστοιχη συγκέντρωση κολοβακτηριδίων που προκύπτει είναι

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,μεσο}} = 2394,83 \text{ αποικίες}/100\text{ml}$$

Για τη μέγιστη ημερήσια παροχή ($Q_{\text{max}} = 6000\text{m}^3/\text{day}$) είναι:

$$\frac{X}{U} = \frac{600}{0,2} = 3 * 10^3$$

Επομένως για Q_{max} έχω $S_{\text{actual}} = 2008,99$.

Η συγκέντρωση που προκύπτει είναι

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,max}} = 4977,63 \text{ αποικίες}/100\text{ml}$$

Για την περίπτωση της **μέγιστης ωριαίας παροχής** ($Q_h = 9000 \text{ m}^3/\text{day}$) έχουμε:

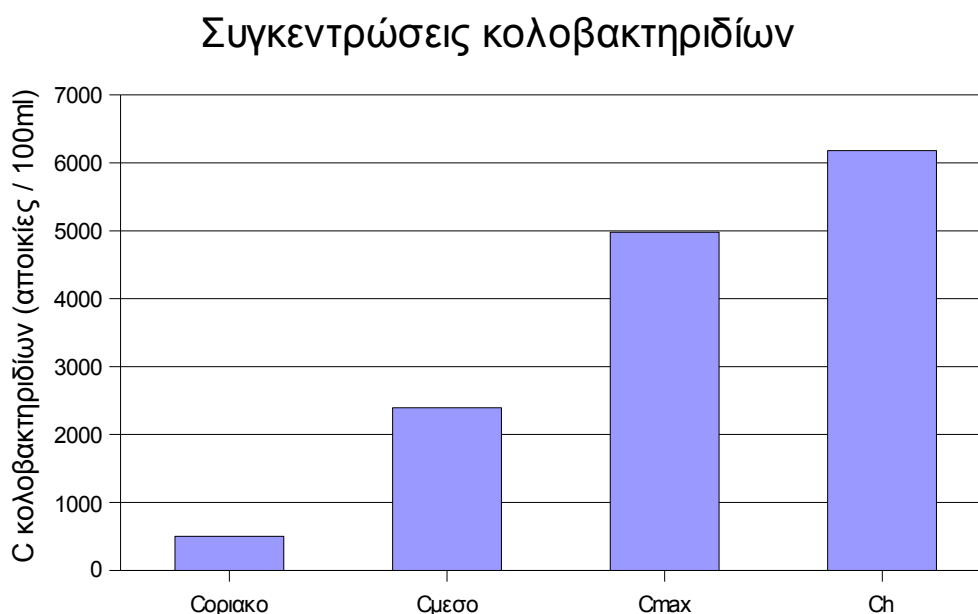
$$\frac{X}{U} = \frac{600}{0,2} = 3 * 10^3$$

Επομένως για Q_h γίνεται $S_{\text{actual}} = 1617,84$.

Η αντίστοιχη συγκέντρωση που προκύπτει είναι

$$C_{\text{κολοβακτηριδία,h}} = 6181,08 \text{ αποικίες/100ml}$$

Παρακάτω φαίνονται συγκεντρωτικά οι συγκεντρώσεις των κολοβακτηριδίων για όλες τις παροχές λυμάτων:



Εικόνα 3.6.2.-1.Γραφική απεικόνιση των συγκεντρώσεων κολοβακτηριδίων που προκύπτουν από την διάθεση αποβλήτων μέσω του υφιστάμενου αγωγού.

3.6.3.Διαστασιοόγηση αγωγού διάθεσης για μέση ημερήσια παροχή ($Q_{\text{μεσο}}$)

Για $Q_{\text{μεσο}} = 1500 \text{ m}^3/\text{day}$ έχουμε:

Ο συντελεστής C είναι

$$C=0,03101 \left[\frac{(1027,07-999)}{(0,025)} \right]^{1/2} = 1,039$$

$$S_{\text{baseline}} = S_{\text{actual}} / C = 20.000 / 1,039 = 19249,29$$

και από νομογράφημα προκύπτει ότι είναι $\frac{X}{U} = 4,3 * 10^3$

τελικά το μήκος του αγωγού πρέπει να είναι $X=860\text{m}$, αλλά από τη χρήση των εξισώσεων (2.1.1.), (2.1.2.), (2.1.20.) και (2.1.23.) και του spreadsheet που προκύπτει έχουμε το παρακάτω πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα:

$$X = 825\text{m}$$

Με το μήκος των 825 μέτρων επτυγχάνουμε αραίωση κοντά στο επιθυμητό των 20000, πιο συγκεκριμένα γίνεται $S_{\text{actual}} = 20103,38$ και η τελική συγκέντρωση κολοβακτηριδίων γίνεται

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,μεσο}} = 497,43 \text{ αποικίες/100ml}$$

Το μήκος του διαχυτήρα είναι $L = 2,5 * 1,5 = 3,75\text{m}$.

Ο συντελεστής b είναι

$$b = 9,81 \text{ m/sec}^2 \frac{28,07 \text{ kg/m}^3}{1027,07 \text{ kg/m}^3} \frac{1500 \text{ m}^3/\text{day}}{3,75 \text{ m}} \frac{1}{86400} \text{ day/sec}$$

$$b = 1,24 * 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{sec}^3$$

και

$$F = \frac{U^3}{b}$$

$$F = \frac{0,2^3}{1,24 * 10^{-3}} = 1,61$$

Αφού λοιπόν είναι $1 \leq F \leq 100$ το βάθος εκβολής του αγωγού διάθεσης υπολογίζεται ως εξής :

$$z_e = 80,61 U^{-1/2} \left[\frac{L}{Q} \right]^{-1/2}$$

$$z_e = 80,61 \frac{1}{\sqrt{0,2 \text{ m/sec}}} \frac{1}{\sqrt{\frac{3,75 \text{ m}}{1500 \text{ m}^3/\text{day}} 86400 \text{ sec/day}}}$$

Το ελάχιστο βάθος εκβολής που προκύπτει είναι

$$z_e = 12,19 \text{ m}$$

Στο σημείο όπου εκβάλει ο αγωγός, σε απόσταση δηλαδή **825 μέτρων** από την ακτή, το βάθος της θάλασσας είναι **34 μέτρα**. Το εκλωβισμένο πλούμιο δεν γίνεται εμφανές αφού διαχέεται πριν φτάσει στην επιφάνεια

3.6.4. Διαστασιολόγηση αγωγού διάθεσης για μέγιστη ημερήσια παροχή (Q_{\max})

Για $Q_{\max} = 6000 \text{ m}^3/\text{day}$ έχουμε:

Ομοίως $S_{\text{baseline}} = 19249,29$ και από νομογράφημα $\frac{X}{U} = 6200$,άρα $X = 1240\text{m}$.

Από το spreadsheet όμως που προκύπτει από τις εξισώσεις έχουμε διαφορετικό αποτέλεσμα.
Το μήκος του αγωγού πρέπει να είναι:

$$X = 1100\text{m}$$

Με το μήκος αυτό του αγωγού φτάνουμε σε ικανοποιητικές τιμές για την αραιώση αφού είναι $S_{\text{actual}} = 20294,25$ και η συγκέντρωση κολοβακτηριδίων που ανιχνεύεται είναι

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,max}} = 492,75 \text{ αποικίες/100ml}$$

Τα b και F και γίνονται $b = 4,96 \cdot 10^{-3}$ και $F = 1,61$

Άρα το ελάχιστο βάθος εκβολής γίνεται

$$z_e = 12,19\text{m}$$

Σχεδιάζοντας με βάση τη μέγιστη ημερήσια παροχή προκύπτει αγωγός που εκβάλει σε απόσταση **1000 μέτρων** από την ακτή και σε βάθος **38 μέτρων**. Το πλούμιο παγιδεύεται και σε αυτήν την περίπτωση και δεν ανέρχεται μέχρι την επιφάνεια της θάλασσας.

3.6.5. Διαστασιολόγηση αγωγού για μέγιστη ωριαία παροχή (Q_h)

Για $Q_h = 9000 \text{ m}^3/\text{day}$ έχουμε:

Ομοίως $S_{\text{baseline}} = 19249,29$ και από νομογράφημα $\frac{X}{U} = 7200$,άρα $X = 1440\text{m}$

Λύνοντας τις εξισώσεις και δοκιμάζοντας τιμές στο βοηθητικό spreadsheet καταλήγουμε σε ένα πιο αξιόπιστο μήκος αγωγού, αυτό των

$$X = 1190\text{m}$$

Με μήκος αγωγού τα 1190 μέτρα, έχουμε ολική αραίωση $S_{\text{actual}} = 20393,85$ και τελική συγκέντρωση κολοβακτηριδίων στον αποδέκτη

$$C_{\text{κολοβακτηρίδια,h}} = 490,34 \text{ αποικίες/100ml}$$

Τα b και F και γίνονται $b = 7,44 \cdot 10^{-3}$ και $F = 1,075$

Άρα το ελάχιστο βάθος εκβολής γίνεται

$$z_e = 29,85\text{m}$$

Για την περίπτωση της μέγιστης ωριαίας παροχής το σημείο εκβολής απέχει **1190 μέτρα** από την ακτή και βρίσκεται σε βάθος **39 μέτρων**. Γίνεται αντιληπτό λοιπόν ότι το βάθος εκβολής είναι μεγαλύτερο από το ύψος ανόδου του πλουμίου και για αυτόν τον λόγο τα λύματα δεν φτάνουν στην ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας.

3.6.6.Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Η εγκατάσταση του βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων της πόλης της Ιεράπετρας, είναι η πιο νέα εγκατάσταση της Κρήτης, λειτουργεί από το 2003. Θα περίμενε κανείς να

λειτουργεί άρτια και να επιτυγχάνονται οι επιθυμητές αραιώσεις, η προκαταρκτική μελέτη όμως μας οδηγεί σε άλλα αποτελέσματα. Σε μια πόλη με τόσο μεγάλη τουριστική δραστηριότητα και με παραλίες σε απόσταση μόλις 600 μέτρων από την εκβολή του βιολογικού καθαρισμού, οι συγκεντρώσεις των κολοβακτηριδίων είναι από τετραπλάσιες μέχρι και δωδεκαπλάσιες από τις επιτρεπτές τιμές που έχουν οριστεί.

Ο μόλις 500 μέτρων αγωγός της μονάδας δεν επαρκεί ούτε για να καλύψει τις ανάγκες διάχυσης πλουμίου για τη μέση ημερήσια παροχή λυμάτων, παρόλο που για τον σχεδιασμό χρησιμοποιείται η μέγιστη ημερήσια παροχή. Η ακραία περίπτωση της μέγιστης ωριαίας παροχής δείχνει ότι ίσως να χρειαζόταν υποθαλάσσιος αγωγός τριπλάσιου μήκους από τον υφιστάμενο. Σχεδιαστικά και για τις τρεις περιπτώσεις (Q_{max} , $Q_{μεσο}$, Q_h) το ύψος ανόδου του πλουμίου είναι μικρότερο από το πραγματικό βάθος εκβολής.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα:

	Q(m ³ /day)	Υφιστάμενος αγωγός			διαστασιολόγηση αγωγού			
		X(m)	Sactual	C _{κολοβακτηρίδια}	X(m)	Sactual	C _{κολοβακτηρίδια}	Z _e
Q _{μεσο}	1500	500	4175,67	2394,83	825	20103,38	497,43	24,37
Q _{max}	6000		2008,99	4977,63	1100	20294,25	492,75	12,19
Q _h	9000		1617,84	6181,08	1190	20393,85	490,34	29,86

Εικόνα 3.6.6.-1. Πίνακας σύγκρισης τιμών αραιώσης και συγκέντρωσης κολοβακτηριδίων για υφιστάμενο αγωγό διάθεσης με σχεδιαστικά πρότυπο αγωγό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

4.1.Εκτίμηση των αποτελεσμάτων και γενικά συμπεράσματα

Βασικό μέρος της παρούσας μελέτης είναι, εκτός από τη διαστασιολόγηση αγωγών διάθεσης για τις έξι πόλεις της Κρήτης, η αξιολόγηση και ο έλεγχος της απόδοσης των υφιστάμενων αγωγών.

Κατά τη διενέργεια των υπολογισμών στο κεφάλαιο 3, παρατηρεί κανείς ότι οι πέντε από τους έξι αγωγούς διάθεσης που είναι εγκατεστημένοι στις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων είναι μικρότεροι από ότι χρειάζεται για να επιτευχθεί η επιθυμητή αραίωση, και ο έκτος αγωγός, αυτός του Αγίου Νικολάου, είναι σχεδόν στο επιθυμητό μήκος, χωρίς πάλι να μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλος.

Στο διάγραμμα 4.1.2. φαίνεται πιο καθαρά το πρόβλημα των εξεταζόμενων περιοχών. Στην πόλη των Χανίων παρουσιάζεται η πιο μεγάλη δυσαναλογία μεταξύ του μήκους του υφιστάμενου αγωγού και του μήκους που σχεδιαστικά θα έπρεπε να έχει ο αγωγός, ενώ στην περίπτωση του Αγίου Νικολάου η διαφορά αυτή είναι μικρότερη και ο υφιστάμενος αγωγός είναι μόλις 100 μέτρα πιο κοντός από το επιθυμητό.

Πρέπει να αναφέρουμε ότι η μελέτη που έγινε είναι προκαταρκτική (screening study) και, εκτός κάποιες περιπτώσεις, χωρίς πλήρη στοιχεία. Αρχικά έγιναν παραδοχές όσον αφορά στις συνθήκες του υδάτινου περιβάλλοντος και στη γεωγραφία της περιοχής, που μπορεί να οδήγησαν σε προβληματικά αποτελέσματα. Ακόμα και σε σχέση με τα στοιχεία των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων έγιναν παραδοχές, λόγω έλλειψης λοιπών δεδομένων.

Για όλες τις πόλεις θεωρήσαμε ότι η συγκέντρωση κολοβακτηριδίων μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία είναι 10^7 αποικίες σε 100ml δείγματος. Η τιμή αυτή μας δίνεται από τη βιβλιογραφία και θεωρείται ρεαλιστική αλλά δεν αποκλείει το ενδεχόμενο κάποια πόλη να έχει στα λύματά της συγκεντρώσεις μικρότερες ή μεγαλύτερες από αυτή. Αν στα λύματα τα ποσοστά κολοβακτηριδίων είναι πολύ μικρότερα, θα χρειάζεται να επιτευχθεί και μικρότερη αραίωση, άρα ο αγωγός θα μπορεί να έχει μικρότερο μήκος από αυτό που υπολογίσαμε ότι χρειάζεται.

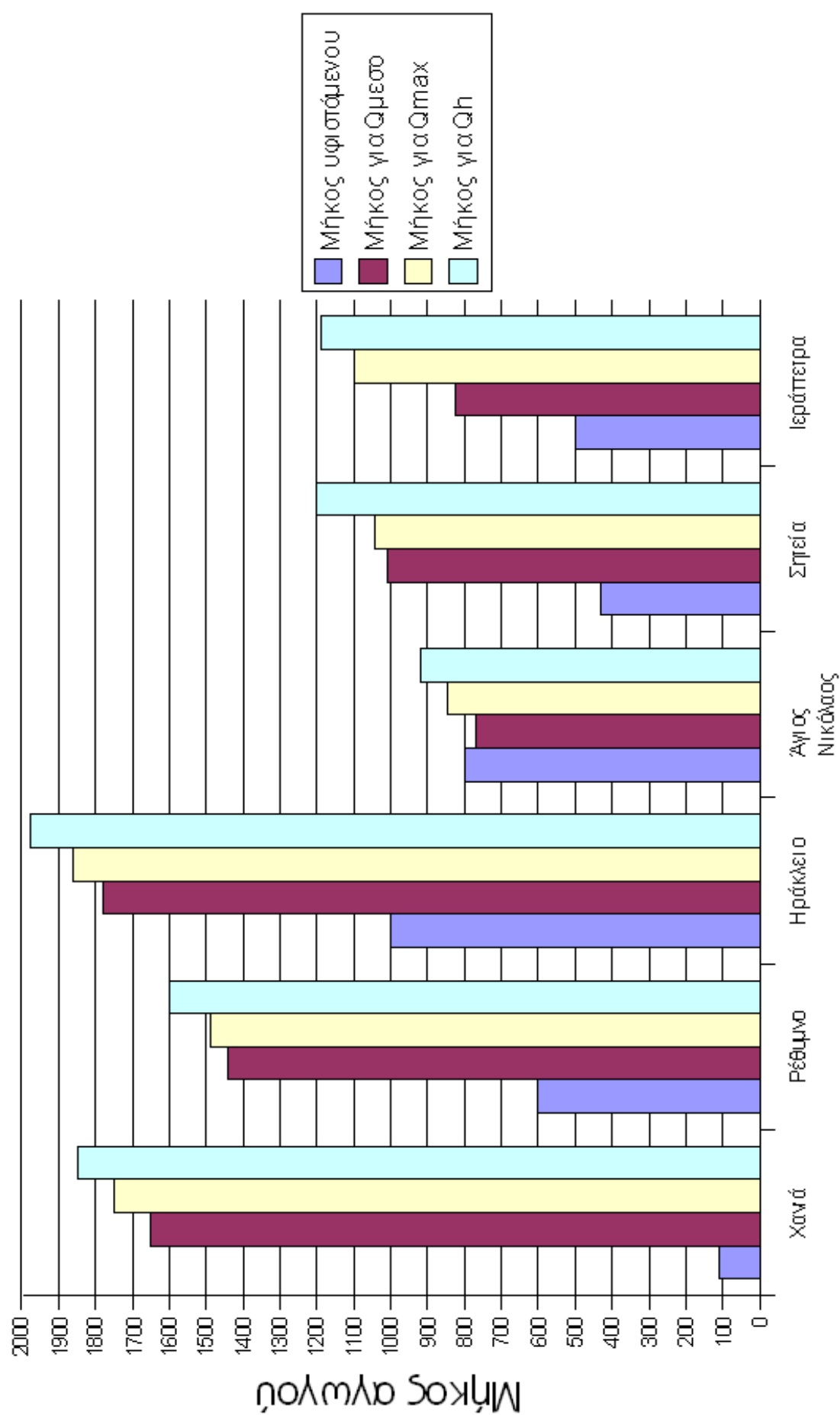
Όσον αφορά στη στρωματοποίηση, τα ελλιπή στοιχεία που είχαμε δεν επέτρεψαν να υπολογιστεί αξιόπιστη τιμή για την ένταση της σε όλες τις πόλεις. Για τα Χανιά υπήρχαν ικανοποιητικές μετρήσεις και καταλήξαμε στην τιμή $dp_a / dp_z = 0,025$. Αν και στη βιβλιογραφία η προτεινόμενη τιμή για τη Μεσόγειο τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι $dp_a / dp_z = 0,027$, θεωρήσαμε ότι η περίπτωση του κόλπου των Χανίων μπορεί να είναι ενδεικτική για όλη την Κρήτη. Η πραγματική ένταση της στρωματοποίησης μπορεί να αποκλίνει από αυτήν που χρησιμοποιήσαμε στους υπολογισμούς μας, θεωρητικά όμως όχι τόσο πολύ ώστε να επηρεάσει σημαντικά τα αποτελέσματα της μελέτης.

Μια μεγάλη ενότητα παραδοχών σχετίζεται με τα ρεύματα κοντά στην ακτή, αυτά δηλαδή που επηρεάζουν έντονα την διάχυση του πλουμίου. Αρχικά ,με βάση κάποιες μετρήσεις στην παραλιακή περιοχή των Χανίων, θεωρούμε ότι μια αρκετά μεγάλη ταχύτητα για τις βόρειες ακτές της Κρήτης είναι της τάξης των 0,2m/sec. Τα ρεύματα της θάλασσας και οι κυματισμοί που επηρεάζουν την διάχυση και την διασπορά των ρύπων ποικίλουν σε ταχύτητα και ένταση ανάλογα με την εποχή του χρόνου, την ένταση των ανέμων, την κίνηση πλοίων κ.ά..

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας που παίζει σημαντικό ρόλο στην μεταφορά και διάχυση των ρύπων είναι η διεύθυνση των ρευμάτων. Για να χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο, έπρεπε να δεχτούμε ότι τα θαλάσσια ρεύματα είναι κάθετα προς τον διαχυτήρα του αγωγού διάθεσης και σταθερής διεύθυνσης. Φυσικά αυτό αλλάζει χωρικά και χρονικά, αλλά επειδή αυτή είναι η «δυσμενέστερη» κατάσταση, τη δεχόμαστε σαν μόνιμη για τους υπολογισμούς μας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν αυτά τα ρεύματα με κατεύθυνση προς την ακτή. Πρέπει ακόμα να σημειωθεί ότι επειδή το πλούμιο κινείται σε περιοχές κοντά στην ακτογραμμή, η διασπορά είναι μειωμένης έντασης. Ακόμα και αν δεν το λαμβάνουμε υπ'όψη στους υπολογισμούς μας, το γεγονός αυτό επηρεάζει τα αποτελέσματα της ολικής αραίωσης και παίζει σημαντικό ρόλο στη διαστασιολόγηση του αγωγού διάθεσης.

Παρ' όλες τις παραδοχές που έγιναν κατά τη διαδικασία της μελέτης, τα τελικά αποτελέσματα δεν παύουν να είναι ενδεικτικά και τα συμπεράσματα ανησυχητικά. Διατηρώντας τις προαναφερθείσες επιφυλάξεις, μπορεί κανείς να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι οι αγωγοί διάθεσης των μονάδων επεξεργασίας αστικών λυμάτων στην Κρήτη είναι υποδιαστασιολογημένοι και δημιουργούν συνθήκες αυξημένης ρύπανσης σε τουριστικές περιοχές. Οι συγκεντρώσεις κολοβακτηριδίων είναι κατά κανόνα πολύ μεγαλύτερες από τις επιτρεπτές και μάλιστα σε περιοχές που δέχονται επισκέπτες το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου. Το αδιαμφισβήτητο συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι περεταίρω μετρήσεις και μελέτες είναι ζωτικής σημασίας για τα παράλια της Κρήτης. Η αυξανόμενη τουριστική και βιομηχανική δραστηριότητα σε συνδυασμό με την δραματική αύξηση του πληθυσμού επιδεινώνουν το πρόβλημα και αν δεν αλλάξει σύντομα ο τρόπος επεξεργασίας ή ο τρόπος διάθεσης, θα έχουμε σημαντικές επιπτώσεις σε πολλούς τομείς της ζωής των ανθρώπων στην Κρήτη.

Σύγκριση μήκους υφιστάμενου αγωγού με μήκος σχεδιασμού



Βιβλιογραφία

- Αναστάσιος Ι.Στάμου , 2004, Βιολογικός Καθαρισμός Αστικών λυμάτων με παρατεταμένο αερισμό και βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών, β'έκδοση,εκδ.Παπασωτηρίου
- Brooks,N.H.(1960).Diffusion of sewage effluent in an ocean current. Proc.,1st Int.Conf. On Waste Disposal in the Marine Env. , University of California, Berkeley, Pergamon Press, N.Y.
- Κοινοτική οδηγία 98/15/ΕΟΚ του 1998
- Κοινοτική οδηγία 76/106/ΕΟΚ του 1975 για νερά κολύμβησης
- Κοινοτική οδηγία 78/659/ΕΟΚ του 1979 για νερά για οστακοειδή
- Κοινοτική οδηγία 91/271/ΕΟΚ του 1991για απαιτούμενη επεξεργασία
- Κρεστενίτης Γιάννης, 1997, Σημειώσεις για το Μάθημα “Παράκτια Τεχνικά Έργα” Τεύχος Α', Διάθεση Υγρών στη Θάλασσα, Υποβρύχιοι Αγωγοί,, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη
- Μέμος Κωνσταντίνος, 2000, Ειδικά Θέματα Λιμενικών Έργων, Υποθαλάσσιοι Αγωγοί Διάθεσης Λυμάτων, Ε.Μ.Π., Αθήνα
- Οδηγία του Συμβουλίου της 21ης Μαΐου 1991 για την επεξεργασία στικών λυμάτων
- Οικονομάκη Ε.Θ. και Χρηστίδης Κ.Ε., Διπλωματική Εργασία με θέμα: “Αριθμητικές μέθοδοι Υπολογισμού μη Μόνιμων Ροών σε Υποβρυχιο Αγωγό Λυμάτων”
- Economopoulou Maria and Economopoulos Alexander P. , 2001, Graphical Sizing And Analysis Of ocean Outfalls With Bouoyant plumes
- Economopoulou Maria A. and Economopoulos Alexander P., 1998, Rapid Sizing And Performance Evaluations Of Submarine Outfalls With Line Diffusers
- Economopoulou Maria A. and Economopoulos Alexander P., 1999, Potential Use fo Natural Systems For Treating Munucipal Effluents In Greece
- Economopoulou Maria A. and Economopoulos Alexander P., 2002, Expert System For Municipal Wastewater Management With Emphasis In Reuse
- Οικονομόπουλος Αλέξανδρος και Οικονομοπούλου Μαρία, 2005, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις του μαθήματος «Ρύπανση και Έλεγχος Ρύπανσης Νερών» , Πολυτεχνείο Κρήτης, 2005
- Roberts, P.J.W., Snyder, W.H., and D.J.Baumgartner (1989a). Ocean outfalls. I: submerged wastefield formation. J. Hydr. Engrg. ASCE
- Roberts, P.J.W., Snyder, W.H., and D.J.Baumgartner (1989b). Ocean outfalls. II: spatial evolution of submerged wastefield. J. Hydr. Engrg. ASCE
- Τσώνης Στυλιανός, 2004, Επεξεργασία Λυμάτων, εκδ.Παπασωτηρίου

Παράρτημα

COUNCIL DIRECTIVE 76/160/EEC (quality of bathing water)

COUNCIL DIRECTIVE of 8 December 1975 concerning the quality of bathing water (76/160/EEC)

THE COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES,

Having regard to the Treaty establishing the European Economic Community, and in particular Articles 100 and 235 thereof,

Having regard to the proposal from the Commission,

Having regard to the opinion of the European Parliament (1),

Having regard to the opinion of the Economic and Social Committee (2),

Whereas, in order to protect the environment and public health, it is necessary to reduce the pollution of bathing water and to protect such water against further deterioration;

Whereas surveillance of bathing water is necessary in order to attain, within the framework of the operation of the common market, the Community's objectives as regards the improvement of living conditions, the harmonious development of economic activities throughout the Community and continuous and balanced expansion;

Whereas there exist in this area certain laws, regulations or administrative provisions in Member States which directly affect the functioning of the common market ; whereas, however, not all the powers needed to act in this way have been provided for in the Treaty;

Whereas the programme of action of the European Communities on the environment (3) provides that quality objectives are to be jointly drawn up fixing the various requirements which an environment must meet inter alia the definition of parameters for water, including bathing water;

Whereas, in order to attain these quality objectives, the Member States must lay down limit values corresponding to certain parameters ; whereas bathing water must be made to conform to these values within 10 years following the notification of this Directive;

Whereas it should be provided that bathing water will, under certain conditions, be deemed to conform to the relevant parametric values even if a certain percentage of samples taken during the bathing season does not comply with the limits specified in the Annex;

Whereas, to achieve a certain degree of flexibility in the application of this Directive, the Member States must have the power to provide for derogations ; whereas such derogations must not, however, (1)OJ No C 128, 9.6.1975, p. 13. (2)OJ No C 286, 15.12.1975, p. 5. (3)OJ No C 112, 20.12.1973, p. 3. disregard requirements essential for the protection of public health;

Whereas technical progress necessitates rapid adaptation of the technical requirements laid down in the Annex ; whereas, in order to facilitate the introduction of the measures required for this purpose, a procedure should be provided for whereby close cooperation would be established between the Member States and the Commission within a Committee on Adaptation to Technical Progress;

Whereas public interest in the environment and in the improvement of its quality is increasing ; whereas the public should therefore receive objective information on the quality

of bathing water,
HAS ADOPTED THIS DIRECTIVE:

Article 1

1. This Directive concerns the quality of bathing water, with the exception of water intended for therapeutic purposes and water used in swimming pools.

2. For the purposes of this Directive: (a) "bathing water" means all running or still fresh waters or parts thereof and sea water, in which: - bathing is explicitly authorized by the competent authorities of each member State, or
- bathing is not prohibited and is traditionally practised by a large number of bathers;

(b) "bathing area" means any place where bathing water is found;

(c) "bathing season" means the period during which a large number of bathers can be expected, in the light of local custom, and any local rules which may exist concerning bathing and weather conditions.

Article 2

The physical, chemical and microbiological parameters applicable to bathing water are indicated in the Annex which forms an integral part of this Directive.

Article 3

1. Member States shall set, for all bathing areas or for each individual bathing area, the values applicable to bathing water for the parameters given in the Annex.

In the case of the parameters for which no values are given in the Annex, Member States may decide not to fix any values pursuant to the first subparagraph, until such time as figures have been determined.

2. The values set pursuant to paragraph 1 may not be less stringent than those given in column I of the Annex.

3. Where values appear in column G of the Annex, whether or not there is a corresponding value in column I of the Annex, Member States shall endeavour, subject to Article 7, to observe them as guidelines.

Article 4

1. Member States shall take all necessary measures to ensure that, within 10 years following the notification of this Directive, the quality of bathing water conforms to the limit values set in accordance with Article 3.

2. Member States shall ensure that, in bathing areas specially equipped for bathing to be created by the competent authorities of the Member States after the notification of this Directive, the "I values" laid down in the Annex are observed from the time when bathing is first permitted. However, for bathing areas created during the two years following the notification of this Directive, these values need not be observed until the end of that period.

3. In exceptional circumstances Member States may grant derogations in respect of the 10-year time limit laid down in paragraph 1. Justifications for any such derogations based on plans for the management of water within the area concerned must be communicated to the Commission as soon as possible and not later than six years following the notification of this Directive. The Commission shall examine these justifications in detail and, where necessary, make appropriate proposals concerning them to the Council.

4. As regards sea water in the vicinity of frontiers and water crossing frontiers which affect the quality of the bathing water of another Member State, the consequences for the common quality objectives for bathing areas so affected shall be determined in collaboration by the riparian Member States concerned.

The Commission may participate in these deliberations.

Article 5

1. For the purposes of Article 4, bathing water shall be deemed to conform to the relevant parameters:

if samples of that water, taken at the same sampling point and at the intervals specified in the Annex, show that it conforms to the parametric values for the quality of the water concerned, in the case of: - 95 % of the samples for parameters corresponding to those specified in column I of the Annex;

- 90 % of the samples in all other cases with the exception of the "total coliform" and "faecal coliform" parameters where the percentage may be 80 %

and if, in the case of the 5, 10 or 20 % of the samples which do not comply:

- the water does not deviate from the parametric values in question by more than 50 %, except for microbiological parameters, pH and dissolved oxygen;

- consecutive water samples taken at statistically suitable intervals do not deviate from the relevant parametric values.

2. Deviations from the values referred to in Article 3 shall not be taken into consideration in the calculation of the percentage referred to in paragraph 1 when they are the result of floods, other natural disasters or abnormal weather conditions.

Article 6

1. The competent authorities in the Member States shall carry out sampling operations, the minimum frequency of which is laid down in the Annex.

2. Samples should be taken at places where the daily average density of bathers is highest. Samples should preferably be taken 30 cm below the surface of the water except for mineral oil samples which shall be taken at surface level. Sampling should begin two weeks before the start of the bathing season.

3. Local investigation of the conditions prevailing upstream in the case of fresh running water, and of the ambient conditions in the case of fresh still water and sea water should be carried out scrupulously and repeated periodically in order to obtain geographical and topographical data and to determine the volume and nature of all polluting and potentially polluting discharges and their effects according to the distance from the bathing area.

4. Should inspection by a competent authority or sampling operations reveal that there is a discharge or a probable discharge of substances likely to lower the quality of the bathing water, additional sampling must take place. Such additional sampling must also take place if there are any other grounds for suspecting that there is a decrease in water quality.

5. Reference methods of analysis for the parameters concerned are set out in the Annex. Laboratories which employ other methods must ensure that the results obtained are equivalent or comparable to those specified in the Annex.

Article 7

1. Implementation of the measures taken pursuant to this Directive may under no circumstances lead either directly or indirectly to deterioration of the current quality of bathing water.
2. Member States may at any time fix more stringent values for bathing water than those laid down in this Directive.

Article 8

This Directive may be waived: (a) in the case of certain parameters marked (0) in the Annex, because of exceptional weather or geographical conditions;
(b) when bathing water undergoes natural enrichment in certain substances causing a deviation from the values prescribed in the Annex.

Natural enrichment means the process whereby, without human intervention, a given body of water receives from the soil certain substances contained therein.

In no case may the exceptions provided for in this Article disregard the requirements essential for public health protection.

Where a Member State waives the provisions of this Directive, it shall forthwith notify the Commission thereof, stating its reasons and the periods anticipated.

Article 9

Such amendments as are necessary for adapting this Directive to technical progress shall relate to: - the methods of analysis
- the G and I parameter values set out in the Annex.

They shall be adopted in accordance with the procedure laid down in Article 11.

Article 10

1. A Committee on Adaptation to Technical Progress (hereinafter called "the committee") is hereby set up. It shall consist of representatives of the Member States and be chaired by a representative of the Commission.
2. The committee shall draw up its own rules of procedure.

Article 11

1. Where the procedure laid down in this Article is to be followed, matters shall be referred to the committee by the chairman, either on his own initiative or at the request of the representative of a Member State.
2. The representative of the Commission shall submit to the committee a draft of the measures to be adopted. The committee shall deliver its opinion on the draft within a time limit set by the chairman having regard to the urgency of the matter. Opinions shall be adopted by a majority of 41 votes, the votes of the Member States being weighted as provided in Article 148 (2) of the Treaty. The chairman shall not vote.
3. (a) The Commission shall adopt the measures envisaged where they are in accordance with the opinion of the committee.
(b) Where the measures envisaged are not in accordance with the opinion of the committee, or if no opinion is adopted, the Commission shall without delay propose to the Council the measures to be adopted. The Council shall act by a qualified majority.

(c) If, within three months of the proposal being submitted to it, the Council has not acted, the proposed measures shall be adopted by the Commission.

Article 12

1. Member States shall bring into force the laws, regulations and administrative provisions necessary to comply with this Directive within two years of its notification. They shall forthwith inform the Commission thereof.

2. Member States will communicate to the Commission the texts of the main provisions of national law which they adopt in the field covered by this Directive.

Article 13

Member States shall, four years following the notification of this Directive and at regular intervals thereafter, submit a comprehensive report to the Commission on their bathing water and the most significant characteristics thereof.

After prior consent has been obtained from the Member State concerned the Commission may publish the information obtained.

Article 14

This Directive is addressed to the Member States.

Done at Brussels, 8 December 1975.

For the Council

The President

M. PEDINI

ANNEX.

Quality requirements for bathing water

	Parameters	G	I	Minimum sampling frequency	Method of analysis and inspection
Microbiological:					
1	Total coliforms /100ml	500	10000	Fortnightly 1	Fermentation on multiple tubes. Subculturing of the positive tubes on a confirmation medium.Count according to MPN (most probable number) or membrane filtration and culture on an appropriate medium such as Tergitol lactose agar, endo agar, 0.4% Teepol broth, subculturing and identification of the suspect colonies.

2	Faecal coliforms /100ml	100	2000	Fortnightly 1	In the case of 1 and 2, the incubation temperature is variable according to whether total or faecal coliforms are being investigated.
3	Faecal streptococci /100ml	100	-	2	Litsky method.Count according to MPN (most probable number) or filtration on membrane. Culture on an appropriate medium.
4	Salmonella /1 litre	-	0	2	Concentration by membrane filtration. Inoculation on a standard medium.Enrichment- subculturing on isolating agar- identification.
5	Enteroviruses PFU/10litres	-	0	2	Concentration by filtration, flocculation or centrifuging and confirmation.
Physico-chemical:					
6	pH	–	6 to 9	2	Electrometry with calibration at pH 7 and 9.
7	Colour	-	No abnormal change in colour ^o	Fortnightly 1	Visual inspection or photometry with standards on the Pt.Co scale.
		-	-	2	
8	Mineral Oils mg/litre	-	No film visible on the surface of the water and no odour	Fortnightly 1	Visual and olfactory inspection or extraction using an adequate volume and weighing the dry residue.
		-		2	
9	Surface-active substances (lauryl-sulfate) reacting with methylene blue mg/litre	–	No lasting foam	Fortnightly 1	Visual inspection or absorption spectrophotometry with methylene blue.
		≤0.3	–	2	
10	Phenols (phenol indices) mg/litre C ₆ H ₅ OH	–	No specific odour	Fortnightly 1	Verification of the absence of specific odour due to phenol or absorption spectrophotometry 4-aminoantipyrine (4 AAP) method.
		≤0.005	≤0.005	2	

11	Transparency m	2	1 ⁰	Fortnightly 1	Secchis disc
12	Dissolved oxygen %saturation O ₂	80 to 120	–	2	Winkler's method or electrometric method (oxygen meter)
13	Tarry residues and floating materials such as wood, plastic articles, bottles, containers of glass, plastic, rubber or any other substance.. Waste or splinters	Absence		Fortnightly 1	Visual inspection.
14	Ammonia mg/litre NH ₄			3	Absorption spectrophotometry, Nessler's method, or indophenol blue method.
15	Nitrogen Kjeldahl mg/litre N			3	Kjeldahl method.
Other substances regarded as indications of pollution					
16	Pesticides mg/litre (parathion, HCH, deldrin)			2	Extraction with appropriate solvents and chromatographic determination.
17	Heavy metals such as: - arsenic mg/litreAs -cadmium Cd -chromeVI CrVI -Lead Pb -mercury Hg			2	Atomic absorption possibly preceded by extraction.
18	Cyanides mg/litre Cn.			2	Absorption spectrophotometry using a specific reagent
19	Nitrate mg/litre NO ₃ phosphates PO ₄			2	Absorption spectrophotometry using a specific reagent.

G = guide.

I = mandatory

0 = Provision exists for exceeding the limits in the event of geographical or meteorological conditions.

1 = When a sampling taken in the previous years produced results which are appreciably better than those in this Annex and when no new factor likely to lower the quality of the water has appeared, the competent authorities may reduce the sampling frequency by factor of 2

2 = Concentration to be checked by the competent authorities when an inspection in the bathing area shows that the substance may be present or that the quality of the water has deteriorated.

3 = These parameters must be checked by the competent authorities when there is a tendency towards the eutrophication of the water.