

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Διπλωματική Εργασία

**«ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΟΥ ΔΙΑΧΥΤΗ ΔΙΑΘΕΣΗΣ  
ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ»**

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ ΜΑΝΟΥΣΟΥ, ΑΜ 44367340226**

Επιβλέπων

Αριστείδης Μπλούτσος, Ακαδημαϊκός Υπότροφος ΠΑΔΑ

ΑΘΗΝΑ 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: **ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΜΑΝΟΥΣΟΣ**

Τίτλος  
Διπλωματικής Εργασίας:

**ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΟΥ ΔΙΑΧΥΤΗ  
ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ**

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι  
Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή:

**Αριστείδης Μπλούτσος**  
Ακαδημαϊκός Υπότροφος  
Επιβλέπων

**Μάριος - Προκόπιος Βαλαβανίδης**  
Καθηγητής  
Μέλος

**Ιωάννης Συμπέθερος**  
Καθηγητής  
Μέλος

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2021

---

## Δήλωση συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Μανούσος Αλέξανδρος του Παναγιώτη, με αριθμό μητρώου 44367340226 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

A handwritten signature in black ink, consisting of a series of overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Μανούσος Αλέξανδρος  
Δεκέμβριος 2021

## Δήλωση περί μη λογοκλοπής

Η Διπλωματική εργασία αυτή ολοκληρώθηκε με σκοπό απόκτησης του πτυχίου μου εκ του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών που υπάγεται στη Σχολή Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής και παραδόθηκε τον μήνα Δεκέμβριο του έτους 2021. Στο σύνολο της σύνταξης της εργασίας αυτής συγκαταλέγεται η εξ ολοκλήρου μεμονωμένη ατομική προσπάθεια εμού και δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ή εμπλεκόμενο με τρίτους. Οι πηγές που έγιναν «θεμιτή χρήση» και παρουσιάζονται κατά το εύρος της εργασίας περιγράφονται αναλυτικά στην βιβλιογραφία και εμπλεκόμενα σχήματα, φωτογραφίες και εξισώσεις που ορίζονται εκ της άποψης άλλων συγγραφέων αναφέρονται στο εν λόγω σημείο χρήσης με την επιφύλαξη και την αναγνώριση του κύρους της εκάστοτε προσωπικής τους διενέργειας.

Μανούσος Αλέξανδρος  
Αθήνα, Δεκέμβριος 2021

## Πρόλογος

Στις μέρες μας, εξ αιτίας της ολοένα και αυξανόμενης παραγωγής υγρών λυμάτων και διάθεσής τους σε υδάτινους αποδέκτες χρήζει η άμεση αντιμετώπιση του φαινομένου, αφενός από τις Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων και αφετέρου από την διάθεση τους στο υδάτινο περιβάλλον.

Παρακάτω, θα γίνει αναλυτική περιγραφή του τρόπου λειτουργίας ενός έργου που διαθέτει τα υγρά απόβλητα στον πυθμένα της θάλασσας, μέσω ενός φρεατίου φόρτισης, διαμέσου υποβρυχίου αγωγού μεταφοράς λυμάτων και εν τέλει στον πολλαπλό διαχύτη που γίνεται η εκροή μέσω των ακροφυσίων.

Με αυτόν τον τρόπο, θα καταλήξουμε στην κατάλληλη υδραυλική διαστασιολόγηση του πολλαπλού διαχύτη λαμβάνοντας υπόψη διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν τη κατασκευή και λειτουργία του, όπως το περιβάλλον ρευστό, η ταχύτητα του υδάτινου ρεύματος κ.α. Απώτερος σκοπός του διαχύτη είναι να οδηγήσει στην όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αραιώση των λυμάτων.

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στον επιβλέποντα καθηγητή που καθοδηγούσε και συνέβαλλε στην υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας αυτής, κ Δρ. Μπλούτσο Αριστείδη και τον ευχαριστώ θερμά. Επιπλέον, δεν γινόταν να παραλειφθεί η αναφορά στον οικογενειακό και φιλικό περίγυρο που στήριξε όλη την ακαδημαϊκή περίοδο και οδήγησε στο πέρας αυτής.

Τέλος, κατά την πορεία της συγγραφής της διπλωματικής εργασίας αυτής και με την πάροδο του χρόνου η ολοένα και περισσότερη τριβή μου με το αντικείμενο οδήγησε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την μελέτη των υδραυλικών έργων και μελλοντικά ευελπιστώ να έχω την τύχη να ακολουθήσω το Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με τίτλο «*Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων*» για την περαιτέρω εντριβή μου με τον κλάδο αυτό.

## Περίληψη

Στο σύνολο της η διπλωματική εργασία αυτή αποτελείται από τη μεθοδολογία διαστασιολόγησης του πολλαπλού διαχύτη, καθώς αρχικά παρουσιάζονται τα συσχετιζόμενα βιβλιογραφικά στοιχεία και έπειτα ακολουθεί το αναλυτικό τμήμα της εργασίας που μελετά περιπτώσεις συνδυασμού αριθμού ακροφυσίων και διερχόμενης παροχής.

Αρχικά, κατά το πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικές πληροφορίες γύρω από τις ιδιότητες των λυμάτων, όπως για παράδειγμα τα στοιχεία που τα απαρτίζουν, αλλά και οι βλαβερές ουσίες που περιέχουν για τους ζωντανούς οργανισμούς όπως και οι τρόποι που απορρέουν από τις αστικές περιοχές.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται πρώτα οι πολλαπλοί διαχύτες και τα χαρακτηριστικά τους με αναφορές στις ποικίλες διατάξεις τους και διάφορα είδη τους. Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στην αρχική και περαιτέρω αραίωση που υφίστανται τα λύματα με επιμέρους περιγραφή εξαρτώμενη της φύση του αποδέκτη και την ύπαρξη ή μη του υδάτινου ρεύματος, καθώς και περιγράφεται το υλικό κατασκευής των υποθαλάσσιων αγωγών με συνοδευτική συνοπτική παρουσίαση στοιχείων από κείμενες διατάξεις για την εγκατάσταση τους.

Προχωρώντας στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται το θεωρητικό κομμάτι της μεθοδολογίας της υδραυλικής διαστασιολόγησης του διαχυτήρα και η γενικότερη φιλοσοφία του σχεδιασμού. Επίσης παρουσιάζονται οι υπολογισμοί που περιγράφουν τα βασικά υδραυλικά χαρακτηριστικά του αγωγού, του διαχυτήρα, των εκροών και εν τέλει του φρεατίου φόρτισης.

Ύστερα, κατά το τέταρτο κεφάλαιο διατυπώνεται η θεωρία κατά την οποία εγκαθίσταται ένας διαχυτήρας στον πυθμένα της θάλασσας. Αφετηρία αυτού του κεφαλαίου αποτελεί η περιγραφή της διαδικασίας της ερμάτωσης, του βυθίσματος και της καθέλκυσης των αγωγών. Συνδυαστικά έχουμε και την περιγραφή του ορύγματος και της επίχωσης που θα πραγματοποιηθούν στον χώρο, την πρόσθετη προστασία αγωγών με σκυρόδεμα και υπογραμμίζονται οι διάφοροι τρόποι πόντισης του αγωγού και το νομικό καθεστώς που συγκροτείται.

Φτάνοντας στο πέμπτο κεφάλαιο έχουμε την παρουσίαση του αναλυτικού τμήματος της εργασίας, επισημαίνοντας αρχικά όλα των δεδομένα που εμπλέκονται σε όλη την έκταση του κεφαλαίου. Ακόμη, παρουσιάζονται τα βήματα της μεθοδολογίας στη πράξη με κατασκευή λειτουργικού προγράμματος που τοποθετήθηκε σε φύλλο εργασίας εντός περιβάλλοντος Microsoft Excel 2010 και ενσωματώνονται διαγράμματα που περιγράφουν τα αποτελέσματα. Ακόμη, μελετώνται σενάρια συνδυασμού για την αρχική διερχόμενη παροχή και τον αριθμό των ακροφυσίων που διαθέτει ο διαχυτήρας για περιπτώσεις ενιαίας ή μεταβλητής διατομής και πραγματοποιούνται αναλύσεις ευαισθησίας διατηρώντας όλα τα δεδομένα σταθερά και μεταβάλλοντας κάθε φορά την διερχόμενη παροχή ή τον αριθμό ακροφυσίων για να εξεταστεί μέχρι πιο σημείο είναι ορθά τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Εν κατακλείδι, τονίζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν βάση των αποτελεσμάτων, όπως για παράδειγμα ότι η γωνία κλίσης του διαχυτήρα δεν μεταβάλλει σημαντικά τις τιμές παροχών και ταχύτητας στον άξονα και την έξοδο, αλλά μεταβάλλει το βάθος τοποθέτησης του αγωγού. Τελικά, παρουσιάζονται οι προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και ενσωματώνεται η αξιοποιούμενη βιβλιογραφία που συντέλεσε στην εργασία.

Λέξεις κλειδιά: υγρά απόβλητα, πολλαπλός διαχύτης, ακροφύσια, ροή, υδραυλική διαστασιολόγηση

## Abstract

In its entirety, this thesis consists of the methodology of dimensioning the multiple diffuser, as first the relevant bibliographic data are presented and then follows the detailed part of the thesis that studies cases of combination of number of nozzles and flow rate.

Firstly, the first chapter presents general information about the properties of wastewater, such as the elements that make it up, but also the harmful substances they contain for living organisms as well as the ways that flow from urban areas.

The second chapter first describes the multiple diffusers and their characteristics with reference to their various devices and their different types. Next, reference is made to the initial and further dilution of the effluents with a partial description depending on the nature of the recipient and the presence or absence of water current, as well as the construction material of the submarine pipelines with accompanying summary presentation of data from existing provisions for their installation.

Moving on to the third chapter, the theoretical part of the methodology of the hydraulic dimensioning of the diffuser and describe the basic hydraulic characteristics of the pipeline, diffuser, outlets and finally the charging well.

Then, in the fourth chapter, the theory is formulated according to which a diffuser is installed on the seabed. The starting point of this chapter is the description of the process of cementing, sinking and laying of pipes. In combination, we have the description of the trench and the embankment that will be carried out in the area, the additional protection of concrete pipelines and the various ways of laying the pipeline and the legal status that is established.

Arriving at the fifth chapter we have the presentation of the detailed part of the work, first pointing out all the data involved throughout the chapter. In addition, the steps of the methodology are presented in practice by building an operating program that was placed in a worksheet within the Microsoft Excel 2010 environment and incorporating diagrams that describe the results. Also, combination scenarios for the initial flow rate and the number of nozzles available in the diffuser for single or variable cross-section



cases are studied and sensitivity analyzes are performed keeping all data constant and changing the flow rate or the number of nozzles each time to examine to what extent the results obtained are correct.

In conclusion, the conclusions based on the results are emphasized, such as for example that the angle of inclination of the diffuser does not significantly change the values of flow and speed at the shaft and the output, but changes the depth of installation of the pipeline. Finally, the proposals for further research are presented and the utilized bibliography that contributed to the work is incorporated.

**Keywords:** liquid waste, multiple diffuser, nozzles, flow, hydraulic dimensioning

**Πίνακας περιεχομένων**

Δήλωση συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας.....	3
Δήλωση περί μη λογοκλοπής.....	4
Πρόλογος.....	5
Περίληψη.....	6
Abstract.....	8
Κατάλογος σχημάτων.....	12
Κατάλογος πινάκων.....	16
Κεφάλαιο 1: Γενικά στοιχεία για τα λύματα.....	17
1.1 Εισαγωγικά.....	17
1.2 Επίδραση στους ζωντανούς οργανισμούς.....	18
1.3 Χαρακτηριστικά λυμάτων.....	19
Κεφάλαιο 2: Διαχύτες.....	22
2.1 Εισαγωγικά στοιχεία διαχυτών.....	22
2.2 Περιγραφή λειτουργίας μηχανισμού έργου διάθεσης υγρών λυμάτων.....	23
2.2.1 Εκροή και αραίωση στον υδάτινο όγκο μελέτης.....	24
2.2.1.1 Αρχική αραίωση με εκροή από σπή κυλινδρικού σχήματος.....	27
2.2.1.1.1 Ομογενές και μη κινούμενο υδάτινο περιβάλλον.....	27
2.2.1.1.2 Διάθεση σε στρωματοποιημένο και μη κινούμενο αποδέκτη σε βαθιά ύδατα.....	33
2.2.1.1.3 Εκροή με τη παρουσία θαλάσσιου ρεύματος.....	34
2.2.1.2 Γραμμική δέσμη.....	36
2.2.1.3 Εκροή σε ομογενές και ακίνητο περιβάλλον.....	37
2.2.1.4 Εκροή σε γραμμικά στρωματοποιημένο περιβάλλον.....	38
2.2.1.5 Διάλυση στη περίπτωση ύπαρξης θαλασσιών ρευμάτων.....	39
2.3 Περαιτέρω αραίωση λυμάτων.....	41
2.4 Υλικά κατασκευής υποθαλάσσιων αγωγών μεταφοράς λυμάτων.....	46
2.5 Είδη πολλαπλών διαχυτών.....	48
2.6 Νομοθετικό πλαίσιο ασφαλούς λειτουργίας διαχυτών.....	50
Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία υπολογισμών αγωγών διάθεσης λυμάτων.....	51
3.1 Θεμελιώδεις παράγοντες σχεδιασμού.....	51
3.2 Μέθοδοι διαστασιολόγησης διαχυτήρα, αγωγού και εκροών.....	53
3.3 Προσδιορισμός βασικών υδραυλικών στοιχείων του διαχυτήρα.....	55
3.4 Φρεάτιο φόρτισης.....	58
Κεφάλαιο 4: Εγκατάσταση έργου στη θάλασσα.....	63

4.1 Στοιχεία αγωγών κατασκευασμένων από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο.....	63
4.2 Ερμάτωση αγωγών .....	64
4.3 Βύθισμα και καθέλκυση των αγωγών.....	66
4.4 Εγκατάσταση αγωγών στον πυθμένα του θαλάσσιου οικοσυστήματος .....	67
4.5 Όρυγμα και επίχωση.....	67
4.6 Προστασία διαχύτη με την αξιοποίηση σκυροδέματος.....	68
4.7 Διαδικασίες πόντισης υποβρυχίων αγωγών εκροών υγρών αποβλήτων .....	69
4.8 Παράδειγμα μεθόδου εγκατάστασης διαχυτήρα στον θαλάσσιο πυθμένα .....	74
4.9 Κείμενες διατάξεις για την εξασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος περί της εγκατάστασης υποβρυχίων αγωγών. ....	78
Κεφάλαιο 5: Αναλυτικό μέρος υπολογισμών. ....	79
5.1 Εισαγωγικά στοιχεία.....	79
5.2 Βασικές αξιοποιημένες εξισώσεις .....	81
5.2.1 Εξίσωση προσδιορισμού του διαθέσιμου ύψους ενέργειας τοποθετημένο στο τελευταίο ακροφύσιο διάθεσης $E_p(1)$ .....	81
5.3 Μεθοδολογία σχεδιασμού.....	84
5.4 Υδραυλικός σχεδιασμός πολλαπλού διαχύτη υγρών αποβλήτων σε περιβάλλον Microsoft Excel 2010. ....	90
5.4.1 Εισαγωγικά.....	90
5.4.2 Αναλυτική επίλυση του προβλήματος. ....	92
5.4.2.1 Διαχυτήρας με ενιαία διατομή.....	92
5.4.2.2 Διαχυτήρας μεταβλητής διατομής.....	107
5.4.2.3 Ανάλυση ευαισθησίας αρχικής διερχόμενης παροχής. ....	115
Αποτελέσματα .....	124
5.4.2.4 Ανάλυση ευαισθησίας ως προς το πλήθος των ακροφυσίων .....	127
Αποτελέσματα .....	141
Συμπεράσματα.....	142
Προτάσεις μελλοντικής έρευνας.....	144
Βιβλιογραφία .....	145

## Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1.1: Διαδρομή αστικών και βιομηχανικών λυμάτων (πηγή <a href="https://blogs.worldbank.org/water/wastewater-treatment-critical-componentτηςcircular-economy">https://blogs.worldbank.org/water/wastewater-treatment-critical-componentτηςcircular-economy</a> ).....	18
Σχήμα 1.2: Ευτροφισμός στη Βαλτική θάλασσα (πηγή <a href="https://www.wwfβτηcic.org/our-vision-for-the-baltic-sea/reduce-eutrophication/">https://www.wwfβτηcic.org/our-vision-for-the-baltic-sea/reduce-eutrophication/</a> ).....	19
Σχήμα 1.3: Φιάλες μέτρησης BOD 5 ημερών (πηγή <a href="https://www.merusonline.com/bod-biological-oxygen-demand/">https://www.merusonline.com/bod-biological-oxygen-demand/</a> ).....	21
Σχήμα 1.4: Αντιδραστήρια μέτρησης COD (πηγή <a href="https://της.youtube.comτηcηc?v=cGVIKH78uAs&amp;t=278s">https://της.youtube.comτηcηc?v=cGVIKH78uAs&amp;t=278s</a> ).....	21
Σχήμα 2.1: Διάθεση υγρών αποβλήτων στον πυθμένα της θάλασσας από πολλαπλό διαχύτη (πηγή <a href="https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28THΣE%29HY.1943-7900.0000445">https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28THΣE%29HY.1943-7900.0000445</a> ).....	22
Σχήμα 2.2 : Σύστημα θαλάσσιων εκροών (πηγή <a href="https://moam.info/transient-response-of-outfall-diffuser-hydraulics-to_5bb4ebd0097c47d87f8b459e.html">https://moam.info/transient-response-of-outfall-diffuser-hydraulics-to_5bb4ebd0097c47d87f8b459e.html</a> ).....	23
Σχήμα 2.3: Απεικόνιση εκροής λυμάτων από ακροφύσια διαχύτη (πηγή <a href="http://academic.hep.com.cn/fcse/article/2016/2095-0179/2095-0179-10-4-472.shtml">http://academic.hep.com.cn/fcse/article/2016/2095-0179/2095-0179-10-4-472.shtml</a> ).....	25
Σχήμα 2.4: Απεικόνιση κοντινού πεδίου (δεξιά) και μακρινού πεδίου (αριστερά) (πηγή <a href="https://www.semanticscholar.org/paper/Mixing-Zone-Regulations-for-Marine-Outfall-Systems-Bleninger-Jirka/5244bc5fcd11469aad6a9f4ea81294ctης3cab8">https://www.semanticscholar.org/paper/Mixing-Zone-Regulations-for-Marine-Outfall-Systems-Bleninger-Jirka/5244bc5fcd11469aad6a9f4ea81294ctης3cab8</a> ).....	26
Σχήμα 2.5: Απεικόνιση της εκροής των λυμάτων από αγωγό κυκλικής διατομής (πηγή <a href="https://repository.kallipos.gr/handle/11419/2794">https://repository.kallipos.gr/handle/11419/2794</a> ).....	28
Σχήμα 2.6: Κανονική κατανομή ή κατανομή Gauss (πηγή <a href="https://www.matrixlab-examples.com/gaussian-distribution.html">https://www.matrixlab-examples.com/gaussian-distribution.html</a> ).....	29
Σχήμα 2.7: Τρισδιάστατη αραίωση με δεδομένα από πειραματικά δεδομένα από τους Cederwall (1953), Rawn & Palmer (1930) και δεδομένα της εποχής του 1963. (πηγή: Abraham, G., 1963).....	32
Σχήμα 2.8: Εγκλωβισμός όγκου εκκρινόμενων λυμάτων με την επίδραση θαλάσσιου ρεύματος από στόμιο εκροής του υποθαλάσσιου αγωγού .....	34
Σχήμα 2.9: Απεικόνιση επιμήκους αξονοσυμμετρικής ροής διαμορφούμενη από στόμια εκροής διαχύτη .....	36
Σχήμα 2.10: Διάγραμμα ελάχιστης αρχικής διάλυσης του Roberts (1979).....	40
Σχήμα 2.11: Κατευθύνσεις υδάτινων ρευμάτων κατά την περίοδο του χειμώνα στην Ελλάδα (πηγή <a href="https://www.researchgate.net/figure/The-directions-of-surface-currents-during-the-winter-in-Aegean-and-Ionian-Sea-modified_fig19_225284134">https://www.researchgate.net/figure/The-directions-of-surface-currents-during-the-winter-in-Aegean-and-Ionian-Sea-modified_fig19_225284134</a> ).....	41
Σχήμα 2.12: Η γραφική παράσταση της συνάρτησης σφάλματος (πηγή <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Error_function">https://en.wikipedia.org/wiki/Error_function</a> ).....	45
Σχήμα 2.13: Σωλήνες από HDPE διαμέτρου 315mm (πηγή <a href="https://www.indiamart.com/proddetail/315-mm-hdpe-pipes-12455080197.html">https://www.indiamart.com/proddetail/315-mm-hdpe-pipes-12455080197.html</a> ).....	47
Σχήμα 2.14α: Εναλλασσόμενοι διαχύτες (πηγή <a href="http://www.cormix.info/CORMIX2-Alternating.php">http://www.cormix.info/CORMIX2-Alternating.php</a> ).....	49
Σχήμα 2.14β: Διαχύτες με παράλληλη διάταξη ακροφυσίων (πηγή <a href="http://www.cormix.info/CORMIX2-Staged.php">http://www.cormix.info/CORMIX2-Staged.php</a> ).....	49
Σχήμα 2.14γ: Διαχύτες με ακροφύσια μίας κατεύθυνσης (πηγή <a href="http://www.cormix.info/CORMIX2-Unidirectional.php">http://www.cormix.info/CORMIX2-Unidirectional.php</a> ).....	49
Σχήμα 3.1 : Αυτόματο περιστρεφόμενο θυρόφραγμα (πηγή <a href="https://www.indiamart.com/proddetail/automated-butterfly-valves-4316191088.html">https://www.indiamart.com/proddetail/automated-butterfly-valves-4316191088.html</a> ).....	60
Σχήμα 4.1: Ρυμούλκηση αγωγού HDPE από εκσκαφέα με ερπύστριες προς τη θάλασσα στο Qatar (πηγή <a href="https://www.youtube.com/watch?v=M_EjmG7K4aU">https://www.youtube.com/watch?v=M_EjmG7K4aU</a> ).....	64
Σχήμα 4.2: Ερματομένος αγωγός από HDPE μήκους 1.2km στη Αίγυπτο το 2018 (πηγή <a href="https://www.makai.com/pipelines/">https://www.makai.com/pipelines/</a> ).....	65
Σχήμα 4.3: Αγωγός από HDPE με εξωτερική ενίσχυση από οπλισμένο σκυρόδεμα (πηγή <a href="https://www.amconco.com/utility-products/perfect-pipe/">https://www.amconco.com/utility-products/perfect-pipe/</a> ).....	66
Σχήμα 4.4: Τράβηγμα αγωγού στη θάλασσα (πηγή <a href="https://www.aosgm.com/press/photo/crossing-the-volkhov/">https://www.aosgm.com/press/photo/crossing-the-volkhov/</a> ).....	70
Σχήμα 4.5: Ξετύλιγμα γραμμής αγωγών από φορτηγίδα (πηγή <a href="https://www.royalihc.com/en/products/offshore/pipelay/reel-lay-vessels">https://www.royalihc.com/en/products/offshore/pipelay/reel-lay-vessels</a> ).....	70

Σχήμα 4.6: Σύνδεση αγωγών με φορτηγίδα (πηγή <a href="https://www.vanoord.com/activities/shallow-water-pipe-lay-barge">https://www.vanoord.com/activities/shallow-water-pipe-lay-barge</a> ).....	71
Σχήμα 4.7: Τοποθέτηση κολάρων πλεύσης (πηγή <a href="https://pipefloat.com/pipe-float">https://pipefloat.com/pipe-float</a> ).....	72
Σχήμα 4.8: Βυθισμένη σήραγγα τοποθετημένη κάτω από το επίπεδο του θαλάσσιου πυθμένα (πηγή <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Immersed_tube">https://en.wikipedia.org/wiki/Immersed_tube</a> ).....	73
Σχήμα 4.9: Διαμήκης τομή κεκλιμένου διαχύτη λυμάτων.....	74
Σχήμα 4.10α: Συλλογή και τοποθέτηση μελών σε στοίβες στη πόλη Mostaganem, Algeria (πηγή <a href="https://www.youtube.com/watch?v=LThrQvFgohY">https://www.youtube.com/watch?v=LThrQvFgohY</a> ).....	76
Σχήμα 4.10β: Συγκόλληση και ερμάτωση τεμαχίων στη πόλη Lima, Peru (πηγή <a href="https://www.youtube.com/watch?v=LThrQvFgohY">https://www.youtube.com/watch?v=LThrQvFgohY</a> ).....	76
Σχήμα 4.10γ: Προετοιμασία του αγωγού πριν την πόντιση στη περιοχή Kouidiet, Algeria (πηγή <a href="https://www.youtube.com/watch?v=LThrQvFgohY">https://www.youtube.com/watch?v=LThrQvFgohY</a> ).....	76
Σχήμα 4.10δ: Τράβηγμα του αγωγού στο βυθό της θάλασσας στη πόλη Lima, Peru (πηγή <a href="https://www.youtube.com/watch?v=LThrQvFgohY">https://www.youtube.com/watch?v=LThrQvFgohY</a> ).....	76
Σχήμα 5.1: Διάταξη του συστήματος και η γραμμή ενέργειας.....	79
Σχήμα 5.2: Λεπτομέρεια διαχύτη στα δύο τελευταία κατάντη ακροφύσια.....	80
Σχήμα 5.3: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών ενιαίου διαχυτήρα τεσσάρων ακροφυσίων για παροχή φρεατίου φόρτισης $Q_f = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	94
Σχήμα 5.3.1: Διάγραμμα παροχής λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα ανά διατομή ακροφυσίου για αρχική παροχή $Q_f = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνία $0^\circ$ .....	95
Σχήμα 5.3.2: Τιμές εκρέουσας παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή $Q_f = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνία $0^\circ$ .....	96
Σχήμα 5.3.3: Τιμές ταχύτητας εκκρινόμενων λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή $Q_f = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνία $0^\circ$ .....	96
Σχήμα 5.3.4: Διάγραμμα αξονικής ταχύτητας λυμάτων στο διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή $Q_f = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνία $0^\circ$ .....	97
Σχήμα 5.3.5: Τιμές συντελεστή συστολής $C_d$ ανά διατομή για αρχική παροχή $Q_f = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνία $0^\circ$ .....	97
Σχήμα 5.3.6: Τιμές πυκνομετρικού αριθμού Froude ανά διατομή για αρχική παροχή $Q_f = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνία $0^\circ$ .....	98
Σχήμα 5.4: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών ενιαίου διαχυτήρα τεσσάρων ακροφυσίων για παροχή φρεατίου φόρτισης $Q_f = 0.167 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	99
Σχήμα 5.4.1: Διάγραμμα παροχής λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα ανά διατομή ακροφυσίου για αρχική παροχή $Q_f = 0.167 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνία $0^\circ$ .....	99
Σχήμα 5.4.2: Τιμές εκρέουσας παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή $Q_f = 0.167 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνία $0^\circ$ .....	100
Σχήμα 5.4.3: Τιμές ταχύτητας εκκρινόμενων λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή $Q_f = 0.167 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνία $0^\circ$ .....	100
Σχήμα 5.4.4: Διάγραμμα αξονικής ταχύτητας λυμάτων στο διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή $Q_f = 0.167 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνία $0^\circ$ .....	101
Σχήμα 5.4.5: Τιμές συντελεστή συστολής $C_d$ ανά διατομή για αρχική παροχή $Q_f = 0.167 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνία $0^\circ$ .....	101
Σχήμα 5.4.6: Τιμές πυκνομετρικού αριθμού Froude ανά διατομή για αρχική παροχή $Q_f = 0.167 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνία $0^\circ$ .....	102
Σχήμα 5.5: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών ενιαίου διαχυτήρα τεσσάρων ακροφυσίων για παροχή φρεατίου φόρτισης $Q_f = 0.170 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	103
Σχήμα 5.5.1: Διάγραμμα παροχής λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα ανά διατομή ακροφυσίου για αρχική παροχή $Q_f = 0.170 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνία $0^\circ$ .....	103
Σχήμα 5.5.2: Τιμές εκρέουσας παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή $Q_f = 0.170 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνία $0^\circ$ .....	104
Σχήμα 5.5.3: Τιμές ταχύτητας εκκρινόμενων λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή $Q_f = 0.170 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνία $0^\circ$ .....	104
Σχήμα 5.5.4: Διάγραμμα αξονικής ταχύτητας λυμάτων στο διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή	105

Qφ = 0.170 m <sup>3</sup> /s και γωνία 0 °.....	
Σχήμα 5.5.5: Τιμές συντελεστή συστολής Cd ανά διατομή για αρχική παροχή Qφ = 0.170 m <sup>3</sup> /s και γωνία 0 °.....	105
Σχήμα 5.5.6: Τιμές πυκνομετρικού αριθμού Froude ανά διατομή για αρχική παροχή Qφ = 0.170 m <sup>3</sup> /s και γωνία 0 °.....	106
Σχήμα 5.5.7: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών ενιαίου διαχυτήρα είκοσι ένα ακροφυσίων για παροχή φρεατίου φόρτισης Qφ = 0.810 m <sup>3</sup> /s.....	107
Σχήμα 5.6: Διαμήκης τομή εγκατάστασης διαχυτήρα μεταβλητής διατομής.....	108
Σχήμα 5.7: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα μεταβλητής διατομής με είκοσι ένα ακροφύσια για παροχή φρεατίου φόρτισης Qφ = 0.806 m <sup>3</sup> /s και γωνία β=0°.....	109
Σχήμα 5.7.1: Διάγραμμα παροχής λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι ένα ακροφύσια με διερχόμενη παροχή Qφ = 0.806 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	110
Σχήμα 5.7.2: Τιμές εξερχόμενης παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι ένα στόμια με αρχική παροχή Qφ = 0.806 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	111
Σχήμα 5.7.3: Τιμές εξερχόμενης ταχύτητας λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι ένα στόμια με αρχική παροχή Qφ = 0.806 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	112
Σχήμα 5.7.4: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα με είκοσι ένα στόμια για αρχική παροχή Qφ = 0.806 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	113
Σχήμα 5.7.5: Τιμές συντελεστή συστολής Cd ανά διατομή ακροφυσίου για διαχυτήρα με είκοσι ένα στόμια για αρχική παροχή Qφ = 0.806 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	113
Σχήμα 5.7.6: Τιμές αριθμού Froude ανά διατομή ακροφυσίου για διαχυτήρα με είκοσι ένα στόμια για αρχική παροχή Qφ = 0.806 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	114
Σχήμα 5.7.7: Πρώτη γραμμή υδραυλικών υπολογισμών για απορριπτέα περίπτωση διερχόμενης παροχής Qφ = 0.800 m <sup>3</sup> /s.....	115
Σχήμα 5.7.8: Πρώτες δέκα γραμμές για απορριπτέα περίπτωση διερχόμενης παροχής Qφ = 0.836 m <sup>3</sup> /s.....	116
Σχήμα 5.8: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα με είκοσι ένα στόμια για διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης Qφ = 0.810 m <sup>3</sup> /s.....	116
Σχήμα 5.8.1: Διάγραμμα παροχής λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα με είκοσι ένα στόμια για αρχική παροχή Qφ = 0.810 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	117
Σχήμα 5.8.2: Τιμές εξερχόμενης παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι ένα στόμια με αρχική παροχή Qφ = 0.810 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	117
Σχήμα 5.8.3: Τιμές εξερχόμενης ταχύτητας λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι ένα στόμια με αρχική παροχή Qφ = 0.810 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	118
Σχήμα 5.8.4: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι ένα στόμια με αρχική παροχή Qφ = 0.810 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	118
Σχήμα 5.8.5: Τιμές συντελεστή συστολής Cd ανά διατομή ακροφυσίου για είκοσι ένα στόμια με Qφ = 0.810 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	119
Σχήμα 5.8.6: Τιμές αριθμού Froude ανά διατομή ακροφυσίου για είκοσι ένα στόμια με αρχική παροχή Qφ = 0.810 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	119
Σχήμα 5.9: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι ένα στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης Qφ = 0.826 m <sup>3</sup> /s.....	121
Σχήμα 5.9.1: Διάγραμμα παροχής λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα ανά διατομή ακροφυσίου για είκοσι ένα στόμια με αρχική παροχή Qφ = 0.826 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	121
Σχήμα 5.9.2: Τιμές εξερχόμενης παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι ένα στόμια με αρχική παροχή Qφ = 0.826 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	122
Σχήμα 5.9.3: Τιμές εξερχόμενης ταχύτητας λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι ένα ακροφύσια με αρχική παροχή Qφ = 0.826 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	122
Σχήμα 5.9.4: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι ένα ακροφύσια με αρχική παροχή Qφ = 0.826 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	123
Σχήμα 5.9.5: Τιμές συντελεστή συστολής Cd ανά διατομή ακροφυσίου για είκοσι ένα ακροφύσια με διερχόμενη παροχή Qφ = 0.826 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	123
Σχήμα 5.9.6: Τιμές αριθμού Froude ανά διατομή ακροφυσίου για είκοσι ένα ακροφύσια με αρχική παροχή Qφ = 0.826 m <sup>3</sup> /s και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	124
Σχήμα 5.9.7: Συγκεντρωτικό σχήμα εξερχόμενης παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα ανά διατομή ακροφυσίου με είκοσι ένα στόμια για τις αποδεκτές τιμές του πίνακα 5.3.....	125

Σχήμα 5.9.8: Συγκεντρωτικό διάγραμμα αξονικής ταχύτητας λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα ανά διατομή ακροφυσίου με είκοσι ένα στόμια για τις αποδεκτές τιμές του πίνακα 5.3.....	126
Σχήμα 5.10: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης $Q_f = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	128
Σχήμα 5.10.1: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι ακροφύσια με αρχική παροχή $Q_f = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	129
Σχήμα 5.10.2: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι δύο στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης $Q_f = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	130
Σχήμα 5.10.3: Τιμές εξερχόμενης παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι δύο στόμια με αρχική παροχή $Q_f = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	130
Σχήμα 5.10.4: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι δύο ακροφύσια με αρχική παροχή $Q_f = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	131
Σχήμα 5.10.5: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης $Q_f = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	132
Σχήμα 5.10.6: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι ακροφύσια με αρχική παροχή $Q_f = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	132
Σχήμα 5.10.7: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι δύο στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης $Q_f = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	133
Σχήμα 5.10.8: Τιμές εξερχόμενης παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι δύο στόμια με αρχική παροχή $Q_f = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	134
Σχήμα 5.10.9: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι δύο ακροφύσια με αρχική παροχή $Q_f = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	134
Σχήμα 5.10.10: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης $Q_f = 0.816 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	135
Σχήμα 5.10.11: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι ακροφύσια με αρχική παροχή $Q_f = 0.816 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	135
Σχήμα 5.10.12: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι δύο στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης $Q_f = 0.816 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	136
Σχήμα 5.10.13: Τιμές εξερχόμενης παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι δύο στόμια με αρχική παροχή $Q_f = 0.816 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	137
Σχήμα 5.10.14: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι δύο ακροφύσια με αρχική παροχή $Q_f = 0.816 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	137
Σχήμα 5.10.15: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης $Q_f = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	138
Σχήμα 5.10.16: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι ακροφύσια με αρχική παροχή $Q_f = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	138
Σχήμα 5.10.17: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι δύο στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης $Q_f = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	139
Σχήμα 5.10.18: Τιμές εξερχόμενης παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι δύο στόμια με αρχική παροχή $Q_f = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	140
Σχήμα 5.10.19: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι δύο ακροφύσια με αρχική παροχή $Q_f = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$ και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.....	140

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά αποβλήτων.....	20
Πίνακας 5.1: Δεδομένα υπολογισμών.....	90
Πίνακας 5.2: Όρια τιμών υδραυλικών χαρακτηριστικών διαχυτήρα.....	94
Πίνακας 5.3: Ανάλυση ευαισθησίας διερχόμενης παροχής.....	115
Πίνακας 5.4: Ανάλυση ευαισθησίας ως προς το πλήθος των ακροφυσίων.....	127



## Κεφάλαιο 1: Γενικά στοιχεία για τα λύματα

### 1.1 Εισαγωγικά

Η ανθρώπινη δραστηριότητα κάνοντας χρήση του νερού για συνηθισμένες βιολογικές και οικιακές χρήσεις οδηγεί στην απόρριψη του ως απόκριμα, που δημιουργεί τα λύματα. Ανάλογα με τη φύση τους, στερεή ή υγρή, διαχωρίζονται σε στερεά και υγρά λύματα αντίστοιχα, με συνέπεια την ξεχωριστή διάθεση τους (Φιλιππακοπούλου Θ, 2020).

Εν συντομία, από την ιστορία τοποθετούνται στην Αρχαία Ρώμη και στα Μινωικά ανάκτορα οι πρώτες αποχετεύσεις όμβριων υδάτων, ύστερα στα μέσα του δεκάτου έκτου αιώνα πρωτοεμφανίζεται η διάθεση υγρών αποβλήτων σε καλλιέργειες, ώσπου κατά τα μέσα του δεκάτου ενάτου αιώνα ξεκίνησε η κατασκευή μικτών αποχετευτικών συστημάτων. Ετυμολογικά, με τον όρο λύματα γίνεται αναφορά στα υγρά απόβλητα από τις κατοικίες (οικιακά λύματα), και από αστικές δραστηριότητες προκύπτουν τα υγρά απόβλητα (αστικά λύματα). Εάν τα υγρά απόβλητα μίας πόλης περιέχουν σημαντικές ποσότητες υγρών βιομηχανικών αποβλήτων, αποκαλούνται υγρά αστικά απόβλητα. Τα απόβλητα που απορρέουν από τον πρωτογενή (π.χ. γεωργία) και δευτερογενή τομέα (π.χ. βιομηχανία) καλούνται βιομηχανικά απόβλητα.

Κατά μέσο όρο γίνεται παραγωγή 180-300 λίτρων οικιακών λυμάτων κατά άτομο ημερησίως και υφίσταται πρόβλεψη ποσότητας ανάλογα με τον πληθυσμό, την εποχή και τον τύπο υπηρεσιών. Από την άλλη, υπάρχει δυσκολία στον έλεγχο της ποσότητας των βιομηχανικών αποβλήτων, διότι κυριαρχεί παρανόμως η αλόγιστη και χωρίς ενημέρωση εκροή αποβλήτων στο αποχετευτικό δίκτυο της πόλης. Επί παραδείγματι, ένα εργοστάσιο επεξεργασίας σιδήρου είναι δυνατόν να παράγει 5.700-151.000 λίτρα λυμάτων για κάθε τόνο σιδήρου που παράγεται. Ο νόμος προβλέπει συγκεκριμένη επεξεργασία αυτών των αποβλήτων προτού απορριφθούν στο αποχετευτικό δίκτυο.



Σχήμα 1.1: Διαδρομή αστικών και βιομηχανικών λυμάτων (πηγή <https://blogs.worldbank.org/water/wastewater-treatment-critical-componentτηςcircular-economy>)

Ανωτέρω, στο σχήμα 1.1 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο τα λύματα εξέρχονται από τις αστικές και βιομηχανικές μονάδες και καταλήγουν στις Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων. Συγκεκριμένα αναφέρεται ότι το 80% των υγρών λυμάτων παγκόσμια διατίθενται στο περιβάλλον χωρίς να έχει υποστεί επαρκή επεξεργασία.

## 1.2 Επίδραση στους ζωντανούς οργανισμούς

Με τη διάθεση ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων σε αποδέκτες όπως η θάλασσα, λίμνες και ποτάμια δημιουργούνται αρκετά περιβαλλοντικής φύσης προβλήματα που την προκαλούν ανάγκη για επεξεργασία.

Αρχικώς, η παρουσία αιωρούμενων στερεών υψηλής συγκέντρωσης στα υγρά απόβλητα προκαλεί υποβάθμιση του αποδέκτη αισθητικά και εμποδίζει την εισαγωγή του ηλιακού φωτός, που φέρει αρνητικές επιπτώσεις στη φωτοσύνθεση των φυτών καθώς έχουν οργανικές ουσίες που προκαλούν αρκετά προβλήματα.

Μερικά από αυτά τα προβλήματα που προκύπτουν μέσω της αποσύνθεσης των διαλυτών οργανικών ενώσεων που περιέχουν απόβλητα είναι η δέσμευση του διαλυμένου οξυγόνου με συνέπεια τη παραγωγή δύσσομων αερίων και το θάνατο των ψαριών. Επιπλέον, στα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα συχνά παρατηρούνται πολλοί παθογόνοι μικροοργανισμοί που εντοπίζονται στο παχύ έντερο των ανθρώπων.

Η ύπαρξη αζώτου και φωσφόρου στα υγρά απόβλητα ευνοεί την ανάπτυξη φυκιών που οδηγεί στην αποσύνθεση και δέσμευση οξυγόνου προκαλώντας ευτροφισμό, και πολλά είδη φυκιών είναι τοξικά. Σχετικά με το περιβαλλοντικό

πρόβλημα του ευτροφισμού, παρατηρείται σε λίμνες ή κλειστούς αβαθείς κόλπους υπό ορισμένες συνθήκες. Σε αυτές ανήκουν η μεγάλη συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων που τροφοδοτούν τα βακτήρια και τις άλγες σχηματίζοντας επικάλυμμα στις υδάτινες επιφάνειες δημιουργώντας έτσι σκιά του νερού κάτω από της επιφάνεια. Με αυτόν τον τρόπο, προκαλείται θάνατος στους συνθετικούς οργανισμούς του πυθμένα της θάλασσας ή της λίμνης, καθώς υπάρχει έλλειψη φωτός και συνεπακόλουθα μεγαλώνει η ποσότητα της τροφής σε βακτήρια που ευνοείται έτσι την ανάπτυξή τους. Ο αποδέκτης όλων αυτών καταλήγουν να είναι τα ψάρια και τα βακτήρια σχηματίζοντας ένα νεκρό οικοσύστημα, εφόσον υπάρχει μικρή παραγωγή διαλυμένου οξυγόνου στο νερό και κυριαρχεί η κατανάλωση αυτού, μειώνοντας έτσι το οξυγόνο για τα ψάρια. Συνέπεια αυτού είναι η μεταβολή της χλωρίδας και της πανίδας, η πτώση της ποιότητας του νερού με τις περιορισμένες επιλογές για αναψυχή και η κατακρήμνιση της αισθητικής αξίας του χώρου.



Σχήμα 1.2: Ευτροφισμός στη Βαλτική θάλασσα (πηγή <https://www.wwfbc.org/our-vision-for-the-baltic-sea/reduce-eutrophication/>)

Στο σχήμα 1.2 γίνεται διακριτή η ανάπτυξη των υδρόβιων φυτών ως αποτέλεσμα της μεγάλης ποσότητας θρεπτικών συστατικών στη Βαλτική θάλασσα.

### 1.3 Χαρακτηριστικά λυμάτων

Η διάκριση των αστικών υγρών αποβλήτων βάση των χαρακτηριστικών τους έγκειται σε φυσικά, χημικά και βιολογικά, με ταυτόχρονη συσχέτιση μεταξύ αυτών,

όπως λόγου χάριν η θερμοκρασία, όντας φυσική ιδιότητα συσχετίζεται με τη βιολογική δραστηριότητα στο απόβλητο όπως και τη διαλυτότητα αερίων σε αυτό. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικότερα (Λυμπεράτος, 2019).

Χαρακτηριστικά αποβλήτων	Χημικά συστατικά
<b>Φυσικές ιδιότητες</b>	<b>Οργανικά</b>
Χρώμα	Υδρογονάνθρακες
Οσμή	Λίπη και έλαια
Στερεά	Φυτοφάρμακα
Θερμοκρασία	Φαινόλες
Βιολογικά χαρακτηριστικά	Πρωτεΐνες
Ζώα	Επιφανειοδραστικές ενώσεις
Φυτά	Πτητικά οργανικά συστατικά
<b>Πρώτιστα</b>	<b>Ανόργανα</b>
Ευβακτήρια	Αλκαλικότητα
Αρχαιοβακτήρια	Χλωρίδια
Ιοί	Βαρέα μέταλλα
Αζωτο	
	pH
	Φώσφορος
	Θείο
	Αέρια
	Υδροθείο
	Μεθάνιο
	Οξυγόνο

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά αποβλήτων

Στο σύνολο τους οι υπόνομοι, δεδομένου ότι παρέχουν ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών για τον άνθρωπο σε μορφή σπορίων, συχνά συναντιούνται ιοί, βακτήρια, φύκη, μούχλα, πρωτόζωα έως δικοτυλήδονα και θηλαστικά. Ενδεικτικά αναφέρονται μερικοί οργανισμοί που συναντιούνται στα λύματα: *Penicillium*, *B. Coli*, *Pseudomonas*, *Nitrosomonas*, κ.α.. Επίσης, ως δείκτες που συχνά ανιχνεύονται στα λύματα ή σε αποδέκτες που εκτιμάται ότι υπάρχουν λύματα είναι τα κολοβακτηριδιοειδή, οι εντερόκοκκοι και οι σαλμονέλες. Σε αυτό το σημείο αναφέρεται ότι για τον προσδιορισμό του οργανικού περιεχομένου των υγρών αποβλήτων σε εργαστηριακό περιβάλλον γίνεται χρήση των κάτωθι μεθόδων σε χοντρική κλίμακα:

- Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)
- Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

- Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)
- Ολικά απαιτούμενο οξυγόνο (TOD)
- Θεωρητικά απαιτούμενο οξυγόνο (ThOD)



Σχήμα 1.3: Φιάλες μέτρησης BOD 5 ημερών (πηγή <https://www.merusonline.com/bod-biological-oxygen-demand/>)

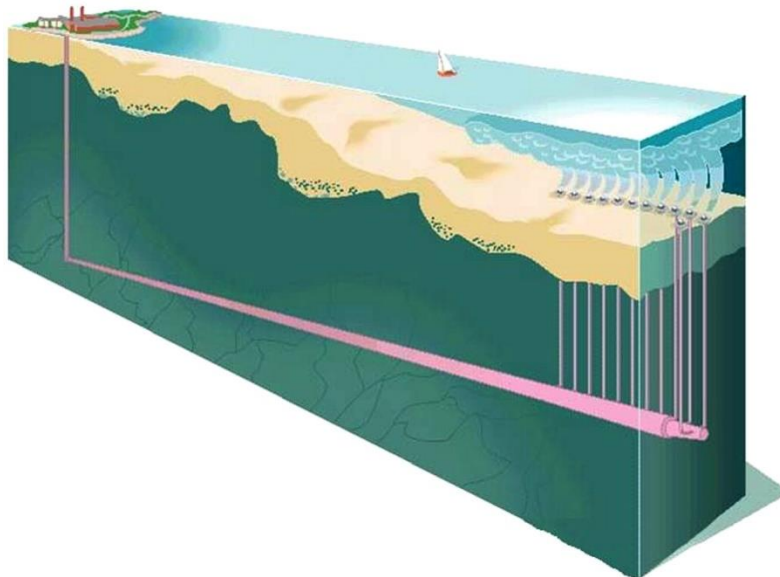


Σχήμα 1.4: Αντιδραστήρια μέτρησης COD (πηγή <https://ης.youtube.com/ctch?v=cGVlKH78uAs&t=278s>)

## Κεφάλαιο 2: Διαχύτες

### 2.1 Εισαγωγικά στοιχεία διαχυτών

Η διάθεση υγρών αποβλήτων προβληματίζει τους ερευνητές και τους μελετητές, αφενός διότι στις Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων δεν πραγματοποιείται εξ ολοκλήρου καθαρισμός των λυμάτων, αφετέρου είναι αναμφίβολη η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την διαρκή παραγωγή υγρών αποβλήτων. Με γνώμονα την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αραίωση (φυσικός-μηχανικός τρόπος μείωσης της συγκέντρωσης ρύπων που περιέχονται στα εκρέοντα υγρά λύματα), γίνεται επιλογή διάθεσης τους σε μεγάλους όγκους υδάτινων αποδεκτών, όπως το θαλάσσιο περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιείται σε παραθαλάσσιες περιοχές και σε μεγάλο βάθος, αρκετά μακριά από την ακτή με τον συνδυασμό δυνατών ρευμάτων. Συνήθως, χρησιμοποιούνται ένας αγωγός προσαρμογής/μεταφοράς που ενώνεται με έναν διαχύτη που φέρει ακροφύσια μέσω των οποίων γίνεται η διάθεση των λυμάτων στον αποδέκτη.



Σχήμα 2.1: Διάθεση υγρών αποβλήτων στον πυθμένα της θάλασσας από πολλαπλό διαχύτη (πηγή <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28THSE%29HY.1943-7900.0000445>)

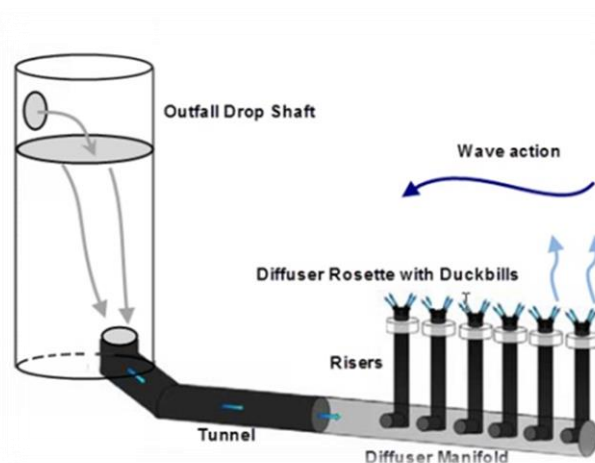
Παραπάνω (Σχήμα 2.1) φαίνεται ο αγωγός προσαρμογής (αριστερά) που συνδέεται με τη Μονάδα Επεξεργασίας Λυμάτων, τοποθετείται υποβρυχίως κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας και σε ικανοποιητικό μήκος μακριά από την ακτή τοποθετείται ο διαχυτήρας (δεξιά).

## 2.2 Περιγραφή λειτουργίας μηχανισμού έργου διάθεσης υγρών λυμάτων

Αρχικά, με σκοπό την προστασία του παράκτιου οικοσυστήματος βάσει των εν ισχύ προδιαγραφών οι υποβρύχιοι αγωγοί οφείλουν να οδηγούν καθαρισμένα ή μη λύματα με χαμηλή τιμή τελικής συγκέντρωσης ρύπων στο τελικό αποδέκτη, δηλαδή το θαλάσσιο περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο, ορίζεται αναγκαία η μέγιστη δυνατή ανάμιξη (*mixing*) του θαλάσσιου νερού με τα υγρά απόβλητα, η οποία προκύπτει κυρίως από την συμπαράσυρση (*entrainment*) του υδάτινου αποδέκτη από τη μάζα των λυμάτων, με την ταυτόχρονη υφιστάμενη διάτμηση (*shear*) στη διεπιφάνεια λυμάτων-περιβάλλοντος.

Έπειτα της ανάμιξης, σειρά έχει η αραιώση (*rarefaction*), ή διάλυση (*dilution*), των λυμάτων που οδηγούνται στη θάλασσα και εκρέουν από κατάλληλα διαμορφωμένου διαχυτήρα (*diffuser*) που εδράζεται στο πέρας του υποβρύχιου αγωγού μεταφοράς κατά το κατάντη του άκρο σε μεγάλο βάθος. Ο διαχύτης αποτελεί τμήμα κλειστού αγωγού με κυκλική διατομή όπου κατά το μήκος του εγκαθιστούμε σε ίσες αποστάσεις στόμια (*nozzles*). Συγκεκριμένα, επάνω στο διαχυτήρα τοποθετούμε κατακόρυφους σωλήνες, τους ανυψωτήρες (*risers*) με διάμετρο αρκετά μικρότερη από αυτή του διαχυτήρα, όπου στο άκρο τους εμφανίζονται οι θυρίδες εκροής/ακροφύσια.

Συνοψίζοντας, συνολικά το έργο διάθεσης υγρών αποβλήτων με υποθαλάσσιο αγωγό απαρτίζεται - από τα ανάντη προς τα κατάντη - με το φρεάτιο φόρτισης στη κεφαλή του αγωγού μεταφοράς, τον αγωγό μεταφοράς (προσαγωγής) και τον διαχυτήρα στο τέλος αυτού.



Σχήμα 2.2 : Σύστημα θαλάσσιων εκροών  
(πηγή <https://moam.info/transient-response-of-outfall-diffuser-hydraulics-to-5bb4ebd0097c47d87f8b459e.html>)

Κατά το σχήμα 2.2 εμφανίζεται ένα τέτοιο έργο όπως αναφέρεται παραπάνω, όπου αριστερά έχουμε το φρεάτιο φόρτισης που ενσωματώνει τα υγρά απόβλητα.

Ύστερα, υπάρχει σύνδεση με τον αγωγό μεταφοράς και τελικά με τον διαχύτη (δεξιά) που μέσω των ανυψωτήρων τα λύματα διατίθενται στον υδάτινο αποδέκτη από τα ακροφύσια.

### 2.2.1 Εκροή και αραίωση στον υδάτινο όγκο μελέτης

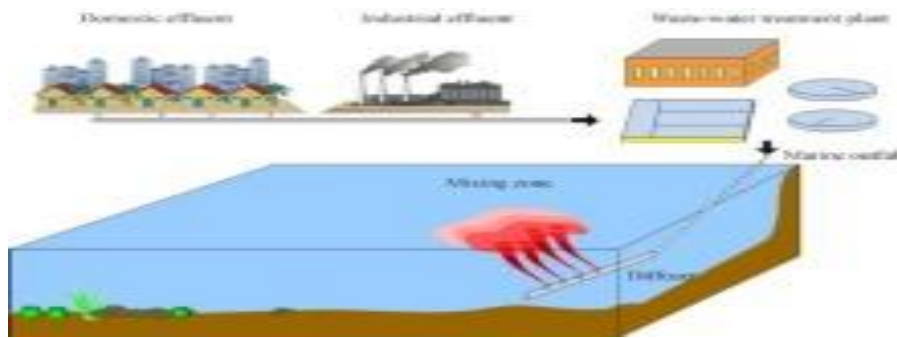
Στόχος του δικτύου διάθεσης είναι να οφείλει η τιμή της συνολικής αραίωσης ( $S_{ολ}$ ) των υγρών αποβλήτων στο σημείο εξόδου του ακροφυσίου να ικανοποιεί την ανίσωση  $S_{ολ} \geq \max(C_i/C_a)$ , με:

- $C_i$ , η συγκέντρωση του ρυπαντή στα λύματα.
- $C_a$ , το προβλεπόμενο όριο της συγκέντρωσης του συγκεκριμένου ρυπαντή στο υδάτινο οικοσύστημα.

Η εν λόγω ανίσωση ενδείκνυται να επαληθεύεται για κάθε ρυπαντή  $\lambda$  που ενσωματώνεται στα προς διάθεση λύματα, με την ενδεχόμενη ύπαρξη νομικά εγκεκριμένου ορίου  $a$  για τον παρακείμενο αποδέκτη. Πραγματολογικά, γίνεται αναφορά στην εκτίμηση της συγκεντρώσεως στα υγρά απόβλητα στο σύνολο των θεσμικά ορισμένων ρυπαντών, με απώτερο στόχο τον προσδιορισμό του κρίσιμου ρυπαντή. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι ότι το όριο του κρίσιμου ρυπαντή οφείλει να διατηρεί σταθερό χαρακτήρα υπό όλες τις συνθήκες (*State of California Water Resources Control Board. 1990 King, 1998*).

Στη συνέχεια, τα υγρή φύσης απορρέοντα από τις αστικές και βιομηχανικές μονάδες, κατά κόρον ακολουθούν μία τροχιά με ανοδική πορεία προς της στάθμη της θάλασσας, έχοντας μικρότερη πυκνότητα από το θαλασσινό νερό και τελώντας θετική άνοση (*positive buoyancy*). Πιο συγκεκριμένα, η ποσότητα της διαφοράς πυκνότητας ανάμεσα στα λύματα και του υδάτινου αποδέκτη, όπως επίσης και η διαφορά της πυκνότητας αυτού από το κατώτερο υψομετρικά σημείο του προς το ανώτερο έχουν καθοριστικό ρόλο για τα λύματα. Αυτό σημαίνει ότι, εξαρτάται από αυτούς τους παράγοντες αν τα απόβλητα θα φτάσουν μέχρι την ελεύθερη επιφάνεια του αποδέκτη ή τελικά μείνουν εγκλωβισμένα εντός της θάλασσας, λόγω μηδενισμού της διαφοράς πυκνότητας.

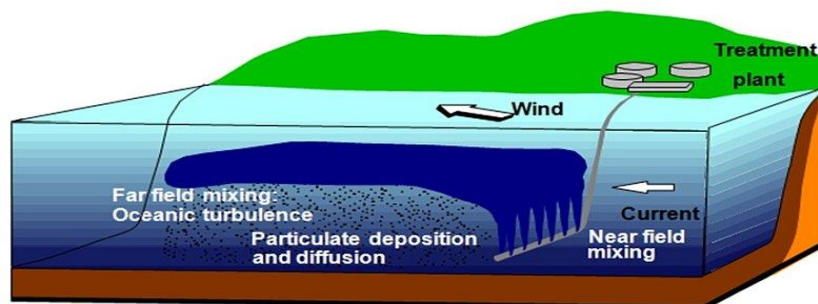




Σχήμα 2.3: Απεικόνιση εκροής λυμάτων από ακροφύσια διαχύτη  
(πηγή <http://academic.hep.com.cn/fcse/article/2016/2095-0179/2095-0179-10-4-472.shtml>)

Στο σχήμα 2.3 απεικονίζεται η πορεία που ακολουθούν τα υγρά λύματα, πρώτιστα εξέρχονται από την αστική και βιομηχανική ζώνη και έπειτα υπόκεινται σε επεξεργασία στις Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων. Από εκεί, οδηγούνται μέσω του υποβρύχιου αγωγού τελικά στη θάλασσα.

Ύστερα, κατά την εκροή των υγρών αποβλήτων στο υδάτινο περιβάλλον υφίσταται κατά το σύνολο της διαδικασίας η διάλυση, η οποία είναι υπεύθυνη για την τελική εναπομένουσα συγκέντρωση του ρύπου που μελετάται. Πιο συγκεκριμένα, με χρονική σειρά αναφέρονται η φάση της ανόδου των αποβλήτων εξερχόμενα από τα στόμια του διαχυτήρα με κατεύθυνση την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας. Κατά μήκος αυτής της πορείας, τελείται η διάλυση των λυμάτων οφειλόμενη στη τυρβώδη διάχυση (*turbulent diffusion*), η οποία λαμβάνει χώρα στο σχηματιζόμενο πεδίο ροής της υγρής φλέβας. Στη συνέχεια, παρατηρείται η επόμενη (δεύτερη) φάση της αραιώσης που περιλαμβάνει το σύνολο ή κάποιες από τις διαδικασίες της μεταφοράς (*transport*), της συναγωγής (*convection*), της μεταγωγής (*advection*) και της διασποράς (*dispersion*). Η μεταφορά των λυμάτων απορρέει από τη κίνηση των θαλάσσιων μαζών. Η τελική φάση της αραιώσης (3<sup>η</sup> φάση) είναι βιοαποδόμηση (*bio-degradation*) του ρύπου, όπου λαμβάνει χώρα η ελάττωση της συγκέντρωσης των ρύπων που δεν έχουν συντηρητικό χαρακτήρα. Επιγραμματικά, κατά την φάση της ανόδου των λυμάτων, ο χώρος στον οποίο γίνεται ορίζεται ως εγγύς πεδίο (*near field*), και για τις επόμενες φάσεις (δεύτερο και τελικό στάδιο αραιώσης), η περιοχή καλείται ως επόμενο ή μακρινό πεδίο (*far field*). Στο κοντινό πεδίο, η διάλυση η οποία προκύπτει καλείται αρχική αραιώση ( $S_{αρχ}$ ) και η διάλυση που επιτυγχάνεται στο μακρινό πεδίο ορίζεται ως περαιτέρω ή επόμενη αραιώση.



Σχήμα 2.4: Απεικόνιση κοντινού πεδίου (δεξιά) και μακρινού πεδίου (αριστερά)  
(πηγή <https://www.semanticscholar.org/paper/Mixing-Zone-Regulations-for-Marine-Outfall-Systems-Bleninger-Jirka/5244bc5fcd11469aad6a9f4ea81294c7η3cab8>)

Συμπληρωματικά με τις διαδικασίες που εφαρμόζονται κατά την ανάδυση των υγρών αποβλήτων, η ροή λαμβάνει τη μορφή τυρβώδους ανωστικής φλέβας (*turbulent buoyant jet*). Σχετικά με την τυρβώδη ανωστική φλέβα, αναφερόμαστε στην προς τα άνω κίνηση των αποβλήτων με πρωτεύοντα χαρακτηριστικά την ταχύτητα εκροής μαζί με το μήκος ανάπτυξης, εντάσσοντας το τελευταίο στο εύρος μεταξύ μερικών έως μερικών δεκάδων μέτρων. Χαρακτηριστικό της τυρβώδους φλέβας είναι ότι η άνωση υπερνικείται από την αρχική ορμή, που οφείλεται στη διαφορά πυκνότητας ανάμεσα στα υγρά απόβλητα και του υδάτινου περιβάλλοντος.

Από την άλλη πλευρά, το τυρβώδες πλούμιο αναφέρεται στην προς τα άνω κίνηση των υγρών αποβλήτων, με την ιδιαιτερότητα ότι εξ αιτίας της διαφοράς πυκνότητας ανάμεσα σε λύματα και υδάτινο στοιχείο, κυριαρχούν οι δυνάμεις βαρύτητας έναντι των δυνάμεων λόγω αρχικής ορμής. Το τυρβώδες πλούμιο φτάνει μέχρι το βάθος όπου ξεκινάει η οριζόντια μεταφορά των λυμάτων. Επίσης, η κατάσταση στην οποία υπάρχει εκροή με ελάχιστη αρχική ταχύτητα και μεγάλη διαφορά πυκνότητας λυμάτων-θάλασσας, αποτελεί οριακή κατάσταση τυρβώδους πλουμίου.

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, συναντάμε αρχική ταχύτητα και διαφορά πυκνότητας ανάμεσα στα απόβλητα και τον αποδέκτη, με αποτέλεσμα κατά την εκροή των λυμάτων να παρατηρείται αρχικώς τυρβώδης φλέβα και μετέπειτα - σε σύντομο χρονικό διάστημα - μετατροπή της σε τυρβώδες πλούμιο. Καθοριστικό ρόλο για τον απαιτούμενο χρόνο που δεσμεύεται προς την ανάπτυξη του πλουμίου, όπως και η θέση της έναρξης του από την οπή εκροής, έχουν η διαφορά πυκνότητας μαζί με την τιμή της αρχικής ταχύτητας. Καθοριστικός παράγοντας για την επιτυχή άφιξη του τυρβώδους πλουμίου στο ανώτατο σημείο της θάλασσας, ορίζοντας το έτσι ως «ελεύθερο πλούμιο», χαρακτηρίζεται η πυκνότητα των αποβλήτων κατά μήκος ολόκληρης της διαδρομής να έχει τιμή μικρότερη από την τιμή της πυκνότητας της θάλασσας.

Αντίθετη της διαδικασίας αυτής, είναι μια περίπτωση όπου το τυρβώδες πλούμιο δεν δύναται να ολοκληρώσει την διαδρομή του έως την στάθμη της θάλασσας, και να παραμείνει σε ένα ορισμένο βάθος, υπό της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας, χαρακτηρίζοντας το έτσι ως «βυθισμένο πλούμιο». Την περίπτωση αυτή τροφοδοτούν οι περίοδοι ύπαρξης στρωματοποίησης κατά την στήλη του νερού, όπως και η διαμόρφωση πυκνοκλινούς στο υδάτινο οικοσύστημα. Το τελευταίο, προκύπτει από τις σημαντικές κατακόρυφες βαθμίδες της θερμοκρασίας, με διαφοροποίηση στις τοποθεσίες όπου συναντάμε σημαντικές βαθμίδες αλατότητας, παραδείγματος χάριν οι εκβολές των ποταμών.

Συναντάμε το πυκνοκλινές σε τοποθεσίες κυρίως ανάλογα την εποχή, με την εμφάνισή του σε Μεσογειακές παραθαλάσσιες τοποθεσίες σε βάθος της τάξης των δέκα μέχρι σαράντα μέτρων υπό την στάθμη της θάλασσας. Συμπερασματικά, για επιτευχθεί δέσμευση των αποβλήτων από το πυκνοκλινές, οφείλει να πραγματοποιηθεί η εκροή σε περιβάλλον με βάθος ανώτερο των είκοσι μέτρων.

### 2.2.1.1 Αρχική αραιώση με εκροή από οπή κυλινδρικού σχήματος

#### 2.2.1.1.1 Ομογενές και μη κινούμενο υδάτινο περιβάλλον

Φαινόμενα όπως οι άνεμοι, η αστρονομική παλίρροια, η χωροχρονική μεταβολή της πίεσης, μαζί με τις βαθμίδες πυκνότητας της θάλασσας, στο σύνολο τους συμβάλλουν στο να προσδίδουν τρισδιάστατη δομή στην υδροδυναμική κυκλοφορία του θαλασσινού οικοσυστήματος. Οι εξισώσεις *Navier-Stokes*, αποτελούν τη μαθηματική έκφραση της υδροδυναμικής κυκλοφορίας λαμβάνοντας υπόψη στις σωστές αρχικές και οριακές συνθήκες.

Στην πιο απλουστευμένη των περιπτώσεων, έχουμε την διάθεση υγρών αποβλήτων σε θαλάσσιο περιβάλλον μέσω κυλινδρικού σωλήνα, τοποθετημένος υπό γωνία  $\theta_0$  με τον οριζόντιο άξονα, με εκροή σε ομογενές περιβάλλον ( $\partial\rho_a/\partial z = 0$ ) έχοντας πυκνότητα  $\rho_a$ . Με αυτόν τον τρόπο, παρατηρείται ότι η εκκρινόμενη φλέβα από το στόμιο του διαχυτήρα αποκτά αξονοσυμμετρική κατανομή ταχύτητας  $u$  και συγκέντρωση  $C$  ακολουθώντας την κατανομή τύπου *Gauss* (Σχήμα 2.5).

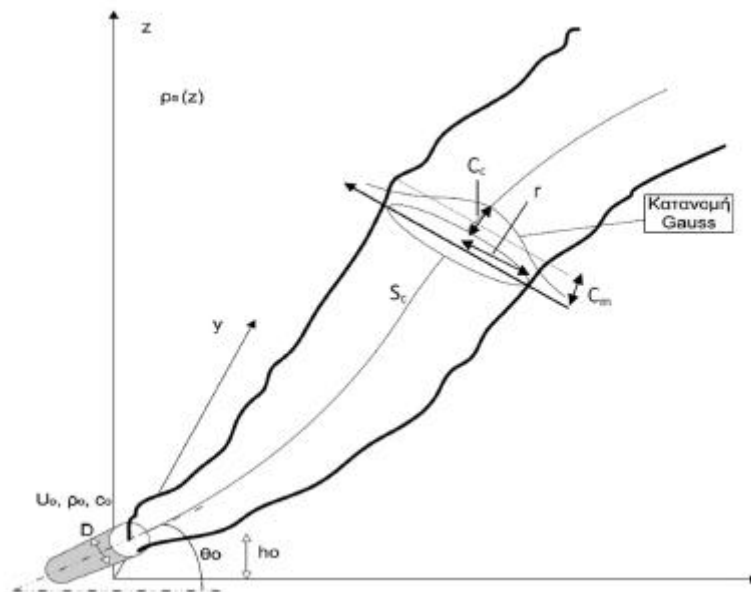
Ισχύουν οι τύποι από τους *Fischer et al.*, 1979:

$$u(x, r) = u_c(x) e^{(-ar/x)} \quad (2.1)$$

$$C(x, r) = C_c(x) e^{(-br/x)} \quad (2.2)$$

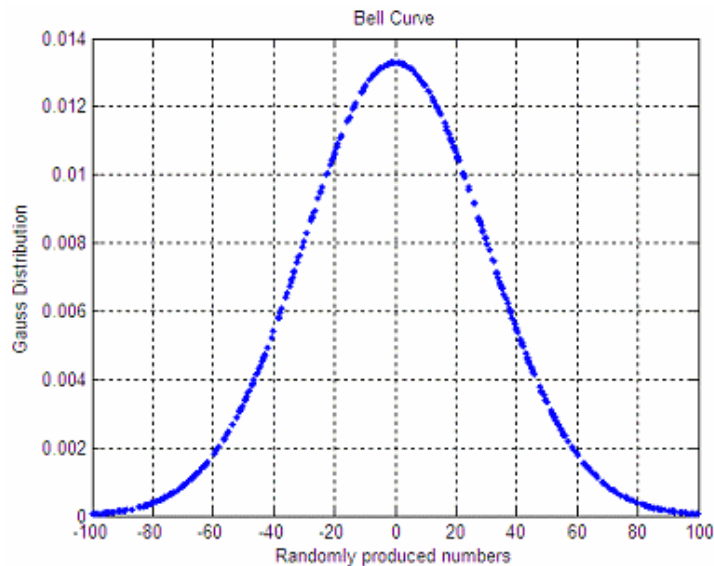
Όπου:

- $u(x, r)$ , η ταχύτητα σε απόσταση  $x$  μετρούμενη κατά μήκος του άξονα της φλέβας και σε απόσταση  $r$  κάθετα προς τον άξονα της φλέβας.
- $C(x, r)$ , η συγκέντρωση σε απόσταση  $x$  μετρούμενη κατά μήκος του άξονα της φλέβας και σε απόσταση  $r$  κάθετα προς τον άξονα της φλέβας.
- Ο δείκτης  $c$  αναπαριστά τις ποσότητες των μεγεθών στον άξονα του πλουμίου.
- Οι όροι  $a, b$  είναι εμπειρικοί συντελεστές κατά *Fischer et al. (1979)*. Λαμβάνουν τιμές  $a = 87$  και  $b = 62$ , σε περίπτωση φλέβας, και  $a = 100$  και  $b = 69$  σε περίπτωση πλουμίου.
- $e = 2.71828$  μαθηματική σταθερά.



Σχήμα 2.5: Απεικόνιση της εκροής των λυμάτων από αγωγό κυκλικής διατομής (πηγή <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/2794>)

Παραπάνω, (σχήμα 2.5) φαίνεται η εκρέουσα φλέβα πλουμίου από κυλινδρικό αγωγό, κατά τους άξονες  $z$  (βάθος) και  $x$  (μήκος). Ο άξονας  $y$  είναι κάθετος στους άλλους δύο άξονες. Ο αγωγός έχει διάμετρο  $D$  και στο σημείο εξόδου έχει ταχύτητα  $u_0$ , πυκνότητα  $\rho_0$  και συγκέντρωση  $c_0$ . Ακόμη διαγράφεται γωνία  $\theta_0$  με τον οριζόντιο άξονα σε σημείο  $h_0$ . Ως  $\rho_a(z)$  έχουμε τη πυκνότητα της θάλασσας σε ύψος  $z$ .



Σχήμα 2.6: Κανονική κατανομή ή κατανομή Gauss  
(πηγή <https://www.matrixlab-examples.com/gaussian-distribution.html>)

Παραπάνω (σχήμα 2.6) έχουμε τη γραφική παράσταση της κανονικής (Gauss) κατανομής που έχει ως άξονα συμμετρίας την ευθεία  $y=0$ .

Η ελάχιστη αρχική αραίωση σε απόσταση  $x$  από το σημείο εκροής ορίζεται ως  $S_c(x) = C_o/C_c(x)$ , με  $C_o$  τη συγκέντρωση του ρυπαίνοντα στοιχείου στον σωλήνα εκροής.

Για μία διατομή, η ροικά σταθμισμένη μέση αραίωση  $S_m$  εκφράζεται ως (Κρεσενίτης *I.*, 2015):

$$\frac{S_m}{S_c} \approx \frac{C_c}{C_m} = \frac{Q(x)}{Q_o} = 1.4 \pm 0.1 \quad (2.3)$$

Με:

- $Q$ , την παροχή της ροής του πλουμίου.
- $m$ , δείκτης που αναφέρεται σε μεσοσταθμισμένες τιμές.
- δείκτης  $o$ , αναφερόμενος στις αρχικές τιμές στον διαχύτη.

Στη συνέχεια, η ποσότητα των υγρών αποβλήτων κινείται με φορά προς τα πάνω, έχοντας ως σημείο έναρξης το ακροφύσιο εκροής, έχοντας βάθος  $H$ , καταλήγουν στην στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας ή στον τελικό χώρο εκείνο που δεσμεύεται το πλούμιο. Αιτία αυτού είναι η άνωση, που υφίσταται χάριν της διαφοράς πυκνότητας

και προσδιορίζεται από την ποσότητα της ανηγμένης ελαττωμένης επιτάχυνσης της βαρύτητας (φαινόμενη επιτάχυνση της βαρύτητας) ως (Κρεστενίτης I, 2015):

$$g' = g \Delta\rho/\rho_a = g(\rho_a - \rho_o)/\rho_a \quad (2.4)$$

Με τους όρους:

- $\rho_o$ , η πυκνότητα των υγρών αποβλήτων στη θέση εξόδου
- $\rho_a$ , η πυκνότητα του υδάτινου αποδέκτη
- $g$ , η επιτάχυνση βαρύτητας

Οι δύο παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την τιμή της συγκέντρωσης στο σύνολο της δέσμης των απορρεόντων υγρών αποβλήτων σε κατακόρυφη απόσταση  $z$  από το σημείο διάθεσης προς το περιβάλλον, είναι αφενός ο πυκνομετρικός αριθμός *Froude* ( $Fr_o$ ) στην έξοδο του ακροφυσίου:  $Fr_o = U_o/\sqrt{g'd_o}$  και αφετέρου η αδιάστατη κατακόρυφη απόσταση εκ του στομίου διάθεσης, οριζόμενη από το κλάσμα  $z/d_o$ , όπου  $d_o$  είναι η διάμετρος του ακροφυσίου εκροής και η  $U_o$  αναφέρεται στην ταχύτητα εκροής. Ύστερα, σε περιπτώσεις όπου ο αριθμός *Froude* λαμβάνει τιμές  $Fr_o \approx 1$ , υιοθετείται καθεστώς τυρβώδους πλουμίου, ενώ από την άλλη, για μεγαλύτερες τιμές του αριθμού *Froude* ενοείται το καθεστώς διαμόρφωσης τυρβώδους ανωστικής φλέβας. Στη συνέχεια, καθώς η φλέβα των λυμάτων θα φτάσει στην επιφάνεια της θάλασσας/λίμνης, έπειτα εξαπλώνεται κυκλικά γύρω από τη θέση εκροής. Για να έχουμε ευστάθεια, δηλαδή να μην εμφανίζονται περιπτώσεις επανακυκλοφορίας προς το βάθος των λυμάτων που έχουν φτάσει στην στάθμη της θάλασσας/λίμνης, ισχύει από τους *Lee and Jirka, 1981*:

$$\frac{H}{d_o} = 0.22 Fr_o \quad (2.5)$$

Επομένως η διάθεση των λυμάτων χαρακτηρίζεται ως εκροή σε περιοχή βαθέων υδάτων. Σε περιπτώσεις διάθεσης υγρών λυμάτων από κατακόρυφο ακροφύσιο ( $\theta_o=90^\circ$ ) σε περιβάλλον βαθέων υδάτων, με ισχύουσα την προηγούμενη εξίσωση, ορίζεται από τους *Rouse et al., 1952*:

$$S_c = 0.11(z/d_o)^{5/3} Fr_o^{-2/3} = 0.11J^{1/3} \frac{z^{5/3}}{Q} \quad (2.6)$$

Όπου:

- $S_c$ , η αραίωση στη θέση του άξονα της φλέβας.
- $z$ , η κατακόρυφη απόσταση από το ακροφύσιο εκροής.
- $Q$ , η παροχή εκροής.
- $J$ , η κινηματική ανωστική ροή, με  $J=g'Q=g'U_o(\pi d_o^2/4)$ .

Επιπλέον, ισχύει για την αραίωση στον άξονα της φλέβας ότι  $S_c = C_o/C_c$ , με:

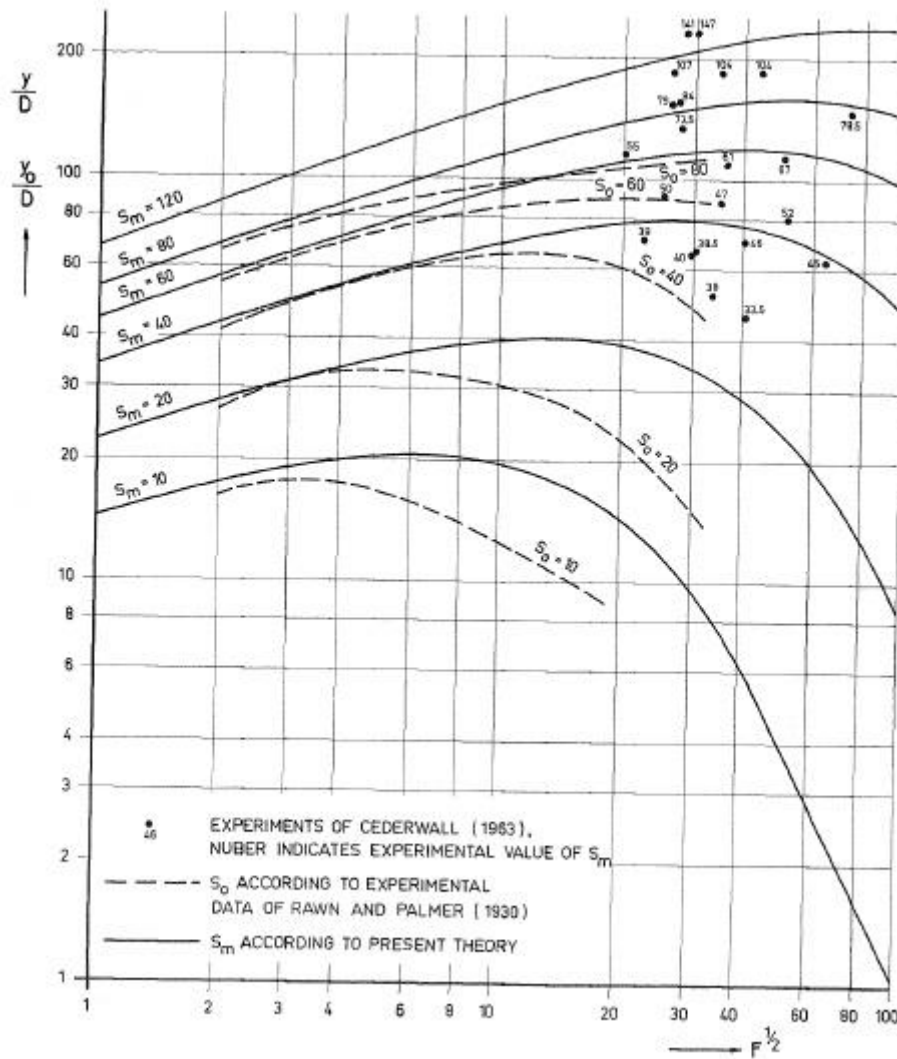
- $C_o$ , η αρχική συγκέντρωση του ρύπου (ιχνηθέτη) στην θέση εκροής, ταυτιζόμενη με την συγκέντρωση αυτού κατά το σημείο έναρξης του υποθαλάσσιου αγωγού, και
- $C_c$ , η συγκέντρωση του ρύπου (ιχνηθέτη) στον φορέα της φλέβας λαμβάνοντας θέση  $z$  από το στόμιο εκροής.

Υπό άλλες συνθήκες, σε περιπτώσεις διάθεσης των λυμάτων σε βαθιά ύδατα αλλά με οριζόντια διεύθυνση εκροής ( $\theta_o=0^\circ$ ), γίνεται χρήση των εξισώσεων περιγραφής της διάλυσης του *Cederwall (1968)* εκφραζόμενες από τους *Lee and Chu (2003)*:

$$S_c = 0.54Fr_o \left( 0.38 \frac{z}{D Fr_o} + 0.66 \right)^{5/3}, \text{ όταν ισχύει } z/d_o \geq 0.5Fr_o \quad (2.7\alpha)$$

$$S_c = 0.54Fr_o^{9/16} \left( \frac{z}{D} \right)^{7/16}, \text{ όταν ισχύει } z/d_o < 0.5Fr_o \quad (2.7\beta)$$

Εκτός των άλλων, σε περιπτώσεις υπολογισμού της αραίωσης στην ελεύθερη επιφάνεια του αποδέκτη, εφόσον ισχύει ότι  $z = H$ , η έκφραση των ανωτέρω εξισώσεων αναπαριστάται από το γράφημα  $H/d_o - Fr_o$  του *Abraham (1963)* όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.7: Τρισδιάστατη αραίωση με δεδομένα από πειραματικά δεδομένα από τους *Cederwall* (1953), *Rawn & Palmer* (1930) και δεδομένα της εποχής του 1963.  
(πηγή: *Abraham, G., 1963*)

Παραπάνω (σχήμα 2.7), περιγράφεται για διάθεση υγρών αποβλήτων από κυλινδρικό αγωγό εντός ομογενούς και μη κινούμενου υδάτινου αποδέκτη η τιμή της αραίωσης  $S_c$  βάσει των ανάλογων συνδυασμών  $H/d_0$  και αριθμού *Froude*. Γενικά ισχύει ότι το εύρος της φλέβας των λυμάτων υπό την στάθμη της θάλασσας προκύπτει από:  $d_{plume} = 0.1 \sim 0.15H$ , και η αραίωση στη στάθμη του υδάτινου αποδέκτη ορίζεται από τις σχέσεις 2.7 με  $z = 0.85 \sim 0.9H$ . Σε περιπτώσεις όπου η εκροή πραγματοποιείται σε συνθήκες ρηχών νερών, η διάλυση που επιτυγχάνεται σε συνθήκες επανακυκλοφορίας για κατακόρυφο αγωγό, από τους *Jirka and Lee* (1994) είναι:

$$S_c = 0.9 \left( \frac{H}{d_0} \right)^{5/3} Fr_0^{-2/3} \quad (2.8)$$



### 2.2.1.1.2 Διάθεση σε στρωματοποιημένο και μη κινούμενο αποδέκτη σε βαθιά ύδατα

Σε τοποθεσίες κοντά σε ακτές τα ύδατα εμφανίζουν αρκετά συχνά στρωμάτωση, δηλαδή έχουμε απότομες βαθμίδες στην κατακόρυφη κατανομή πυκνότητας - βάθους στα ύδατα. Η ύπαρξή τους οφείλεται στην κατακόρυφη διαφορά της θερμοκρασίας, όπως λόγου χάριν υφίσταται αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων κατά τους πιο θερμούς μήνες του έτους, αλλά και ενδεχομένως να οφείλεται και σε στις εναλλαγές τις αλατότητας, με την τελευταία να εμφανίζεται κατά βάση σε τοποθεσίες πλησίον εκβολών ποταμών. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, με το πυκνοκλινές να εμφανίζει ελάττωση, δηλαδή οι κατακόρυφες βαθμίδες του ειδικού βάρους του υδάτινου όγκου να μειώνονται, η κατανομή της πυκνότητας στο σημείο  $\rho_a(z)$  προβλέπεται να λάβει γραμμική μορφή, επομένως να ισχύει ότι  $d\rho_a(z) = \text{σταθερό}$ .

Παρατηρείται έντονα το φαινόμενο του «εγκλωβισμού» των πλουμιών των υγρών αποβλήτων σε κατά κύριο λόγο περιβάλλον έντονης στρωματοποίησης, και κατά δεύτερον σε περιβάλλον γραμμικής στρωματοποίησης. Το σημείο αυτό απέχει απόσταση  $h_{max}$  από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού, ορίζοντας το ως βάθος παγίδευσης, με συνέπεια να εξισώνεται με το τερματικό ύψος παγίδευσης  $z_{max}$  του πλουμίου που εκρέει εκ του πυθμένα ή του στομίου διάθεσης, ώστε να ισχύει  $z_{max} < H$ .

Από τους *Morton et al., 1956* και *Brooks, 1972*, ισχύει ότι:

$$z_{max} = 3.98 J^{1/4} \left( -\frac{g}{\rho_1} \times \frac{d\rho_a}{dz} \right)^{-3/8} \quad (2.9)$$

με:

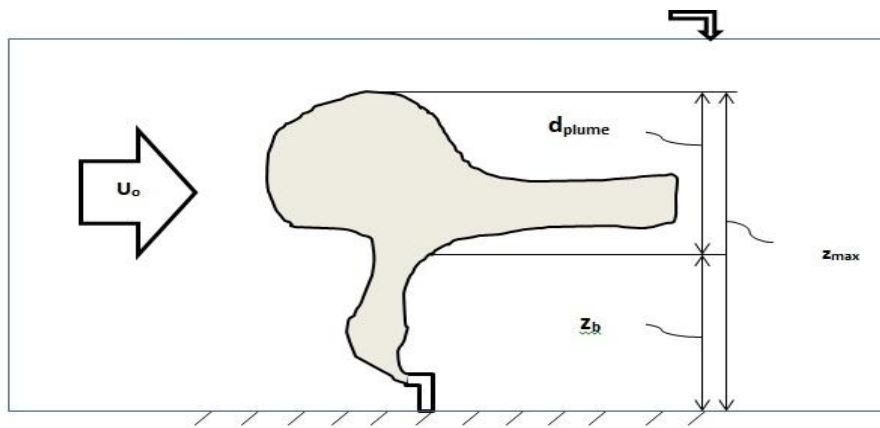
- $z_{max}$ , το ύψος παγίδευσης, εκτιμώμενο εκ του στομίου διάθεσης προς την στάθμη του υδάτινου αποδέκτη.
- $\rho_1$ , η πυκνότητα του υδάτινου στοιχείου στο σημείο εκροής και ισχύει ότι  $\rho_1 = \rho_a(z=0)$ .

Καθώς και η ελάχιστη αραίωση στο βάθος εγκλωβισμού  $z_{max}$  προκύπτει από:

$$S_{c \min} = 0.071 \frac{J^{1/3} z_{max}}{Q} \quad (2.10)$$

### 2.2.1.1.3 Εκροή με τη παρουσία θαλάσσιου ρεύματος

Η συμβολή των θαλάσσιων ρευμάτων στο πεδίο μελέτης, έχοντας ταχύτητα  $u_o$  θέτει νέες παραμέτρους στις μεθόδους υπολογισμού των βασικών χαρακτηριστικών της εκροής. Εμφανίζεται έτσι η ένταση του θαλάσσιου ρεύματος  $u_o$  να εμπλέκεται ενδιάμεσα στο φαινόμενο της διάλυσης, μαζί με τα γενικά χαρακτηριστικά της εκροής και τη διαφορά πυκνότητας. Παρακάτω προβάλλεται η παγίδευση υγρών αποβλήτων κατά την φάση αραίωσης με την θέση του ανωστικού πλουμίου  $z_b$  σε ένα τελικό σημείο κατά  $z_{max}$  εκτιμώμενο από το στόμιο εκροής των λυμάτων ενώ παράλληλα επιδρά το υδάτινο ρεύμα (current).



Σχήμα 2.8: Εγκλωβισμός όγκου εκκρινόμενων λυμάτων με την επίδραση θαλάσσιου ρεύματος από στόμιο εκροής του υποθαλάσσιου αγωγού

Για την εκτίμηση του πάχους της φλέβας με διάθεση σε στρωματωμένο περιβάλλον με την συμβολή θαλάσσιων ρευμάτων, ισχύει από τους *Brooks (1972)*, *Baumgartner et al. (1994)* και *Jirka and Lee (1994)*:

$$d_{plume} = z_{max} \left[ \frac{QS/(u_a B z_{max})}{1+(QS/(u_a B z_{max}))} \right] \quad (2.11)$$

με:

- $d_{plume}$ , το πάχος της δέσμης.
- $Q$ , η συνολική παροχή των υγρών αποβλήτων.
- $z_{max}$ , το σημείο που γίνεται ο εγκλωβισμός των λυμάτων.
- $S = S_m \sqrt{2}$ , η μέση διάλυση στον χώρο εγκλωβισμού.
- $S_m$ , η μικρότερη τιμή της διάλυσης στο εν προκειμένω σημείο.

Σημαντικός παράγοντας για την ορθότητα της ανωτέρω εξίσωσης είναι να ικανοποιείται η ανισότητα:  $QS/(u_a L_D z_{max}) \leq 2$

Ακόμη, όταν παρατηρείται κατακόρυφη διάθεση λυμάτων σε ομογενή αποδέκτη, από τους *Wright, 1977* και *Fischer et al., 1979*, ισχύει:

$$S_c = 0.27 \frac{J^{1/3} z^{5/3}}{Q}, \text{ με κριτήριο } \frac{z u_a^3}{J} \leq 1, \text{ και} \quad (2.12\alpha)$$

$$S_c = 0.40 \frac{u_a z^2}{Q}, \text{ με κριτήριο } \frac{z u_a^3}{J} > 1 \quad (2.12\beta)$$

Όπου:

- $u_a$ , η ταχύτητα του υδάτινου ρεύματος με την παραδοχή ότι διατηρείται σταθερή στον υδάτινο όγκο από το στόμιο εκροής έως τη στάθμη της θάλασσας.
- $z$ , το σημείο στο οποίο καταλήγει ο όγκος των ρύπων και για  $z = z_{max}$  προκύπτει η διάλυση στο σημείο εγκλωβισμού.

Από την άλλη πλευρά, όταν συναντάμε οριζόντια διάθεση υγρών αποβλήτων από στόμιο με διάταξη ίδια με την στάθμη της θάλασσας ή του πυθμένα εντός ομογενούς υδάτινου όγκου, από τους *Lee and Neville-Jones, 1987* και *Fischer et al., 1979*, ισχύει:

$$S_m = 0.31 \frac{J^{1/3} H^{5/3}}{Q}, \text{ όταν ισχύει } \frac{H u_a^3}{J} \leq 5, \text{ και} \quad (2.13\alpha)$$

$$S_m = 0.32 \frac{u_a H^2}{Q}, \text{ όταν ισχύει } \frac{H u_a^3}{J} > 5 \quad (2.13\beta)$$

Όπου:

- $S_m$ , η μικρότερη δυνατή τιμή της μεσοσταθμισμένης διάλυσης κατά τον όγκο των ρύπων στη στάθμη της θάλασσας, όπου έχουμε  $z = H$ .

Σε ενδεχόμενα εμφάνισης διάθεσης αποβλήτων με κατακόρυφη διεύθυνση σε γραμμικά στρωματωμένο υδάτινο αποδέκτη, από τους *Wright, 1977* και *Fischer et al., 1979*, έχουμε ότι:

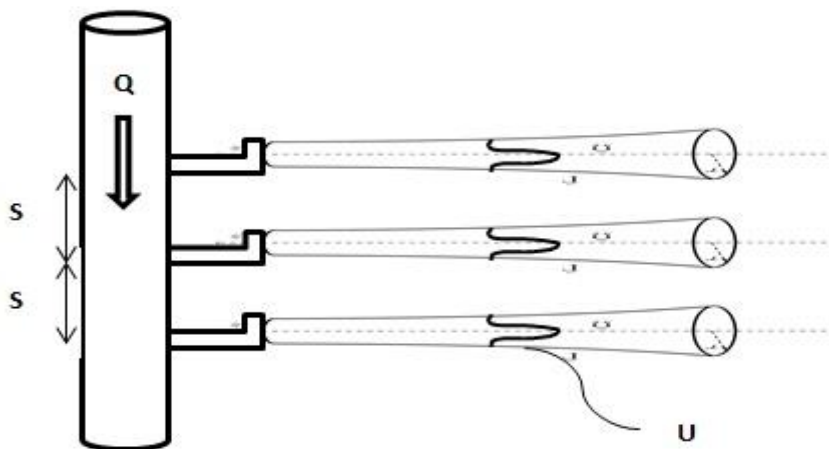
$$z_{max} = 1.8 \left( \frac{u_a}{\varepsilon^{1/2}} \right)^{2/3} \left( \frac{J}{u_a^3} \right)^{1/3}, \quad (2.14)$$

Όπου:

- $z_{max}$ , το τελικό ύψος εγκλωβισμού των ρύπων.
- $\varepsilon = -\frac{g}{\rho_1} \frac{d\rho_a}{dz}$ , η παράμετρος που αναφέρεται στη στρωμάτωση.

### 2.2.1.2 Γραμμική δέσμη

Κατά βάση, παρατηρείται στα έργα διάθεσης λυμάτων σε υδάτινους αποδέκτες η έξοδος τους από πολλαπλά στόμια εκροής αντί του ενός - τοποθετημένα στο πέρας του διαχύτηρα - μέσα από ανυψωτήρες, όπου οι ίδιοι παρατάσσονται με ίσες αποστάσεις ανάμεσά τους. Για την αποτροπή της εισχώρησης φερτών υλικών στον υποθαλάσσιο σωλήνα χρήζει η εγκατάσταση ανυψωτήρων σε αγωγούς με διάμετρο μικρότερη της τάξης του ενός μέτρου, ενώ σε ενδεχόμενα μεγαλύτερης διαμέτρου προτιμάται η διάθεση των λυμάτων από οπές τοποθετημένες πάνω στο τοίχωμα του διαχύτη, υπό την προϋπόθεση ο τελευταίος να εδράζεται πάνω στον υδάτινο πυθμένα. Πρόσθετα, οι θυρίδες εκροής ποικίλουν ως προς την διεύθυνση κατά τον φορέα τους και ενδέχεται να είναι μία ή το πολύ έως δύο – κατά κύριο λόγο - ανά μέλος ανυψωτήρα. Έπειτα από έρευνα, παρατηρήθηκε ότι τα εκκρινόμενα υγρά παραπροϊόντα καθώς ελευθερώνονται από τις θυρίδες εκροής διαμορφώνουν επιμήκη αξονοσυμμετρική ροή με κατεύθυνση προς την στάθμη του υδάτινου αποδέκτη, όπως παρακάτω.



Σχήμα 2.9: Απεικόνιση επιμήκους αξονοσυμμετρικής ροής διαμορφούμενη από στόμια εκροής διαχύτη

Συγκεκριμένα, στο ανωτέρω (σχήμα 2.9) φαίνεται η απόσταση  $S$  ανάμεσα στα διαδοχικά ταγμένα στόμια εκροής, όπως και ταχύτητα  $U$  ακολουθώντας γκαουσιανή (ή κανονική) κατανομή σε κάθε εμφανιζόμενη φλέβα εκροής.

Ακόμη, επί του παρόντος υφίσταται η διάθεση των λυμάτων από μία γραμμική πηγή με μήκος  $L_D$  όμοιο με αυτό του διαχύτη και παροχή εκτιμώμενη στο μέσον του μήκους μελέτης εκφραζόμενη ως  $q=Q/L_D$ . Επιπροσθέτως, για τη περιγραφή του

μήκους του διαχυτήρα  $L_D$  - που εξισώνεται με το μήκος της γραμμικής διάθεσης λυμάτων – εφαρμόζεται ο τύπος  $L_D=N \times s$ , με:

- $N$ , ο αριθμός που αντιπροσωπεύει την αθροιστική ποσότητα των ανυψωτήρων είτε με ένα είτε με δύο στόμια εκροής, και
- $s$ , το χωρικό διάστημα ανάμεσα τους με την προϋπόθεση να είναι  $s \geq H/4$ , όπου  $H$  το βάθος διάθεσης, προς αποφυγή υπερκάλυψης των φλεβών αναμεταξύ τους πλησίον των θυρίδων διάθεσης.

### 2.2.1.3 Εκροή σε ομογενές και ακίνητο περιβάλλον

Λόγω του απλού της υπόθεσης ότι απουσιάζουν τα υδάτινα ρεύματα η μεθοδολογία υπολογισμού της διάλυσης στη στάθμη του υδάτινου ομογενή αποδέκτη βασίζεται στο κριτήριο αστάθειας για εκτίμηση της επανακυκλοφορίας λυμάτων, που περιγράφηκε από τους *Jirka and Lee (1994)*:

$$\frac{m}{j^{2/3}H} = \frac{0.54}{(1+\cos^2\theta_o)} \quad (2.15)$$

με τους όρους:

- $m=j \times u_o$ , όπου αναφέρεται στη ροή της ορμής.
- $j= g' \times q$ , η κινηματική ανωστική ροή αναφερόμενη σε γραμμική εκροή.
- $q=Q/L_D$ , η παροχή του διαχυτήρα εκφραζόμενη ανά μέτρο μήκους για γραμμική εκροή.
- $g'$ , η ανηγμένη επιτάχυνση βαρύτητας.
- $u_o$ , η ταχύτητα με την οποία εξέρχονται τα λύματα από τις εκάστοτε θυρίδες εκροής, με θεωρητική εκτίμηση ταύτισης για όλες τις θυρίδες.
- $H$ , το συνολικό βάθος διάθεσης υγρών αποβλήτων.
- $\theta_o$ , η εμπλεκόμενη γωνία μεταξύ οριζοντίου επιπέδου - άξονα θυρίδας διάθεσης.

Βάσει τελεσμένων δοκιμών, το κριτήριο ευστάθειας επαληθεύεται στις περισσότερες των περιπτώσεων που υπάγονται σε έργα διάθεσης λυμάτων στη θάλασσα, με την εξαίρεση τα έργα διάθεσης θερμών υγρών, όπως εγκαταστάσεις θερμοηλεκτρικών σταθμών ή μονάδες ψύξης και άλλα.

Από τους *Rouse et al., 1952* και *Jirka and Lee, 1994* ο υπολογισμός της ελάχιστης διάλυσης των παραπροϊόντων που απορρέει από την ισχύ του κριτηρίου ευστάθειας, ορίζεται ως:

$$S_c = 0.38 \frac{j^{1/3} H}{q} \quad (2.16)$$

Δύναται να αποφανθεί κανείς πως με βάση την προηγούμενη εξίσωση (2.16) μαζί με την  $q=Q/L_D$ , προκύπτει ότι σε περιβάλλον μελέτης με ομογενείς συνθήκες άνωσης (δηλαδή ισχύει ότι  $\Delta\rho/\rho_o = \text{σταθερό}$  για όλους τους ανυψωτήρες) με τιμές για τη συνολική παροχή  $Q$  και του βάθους διάθεσης  $H$ , όσο αυξάνει το μήκος του διαχύτη ( $L_D$ ) τόσο αυξάνει και η τιμή της διάλυσης. Στη συνέχεια, προκειμένου να προσδιοριστεί η μέση εμφανιζόμενη διάλυση στην στάθμη των υδάτων, αρκεί η ελάχιστη επιφανειακή διάλυση να αποκτήσει συντελεστή  $\sqrt{2}$ , επομένως να προκύπτει ότι  $S_m = \sqrt{2} S_c$ .

#### 2.2.1.4 Εκροή σε γραμμικά στρωματοποιημένο περιβάλλον

Συχνά παρατηρείται η συσσώρευση πλουμίου σε υδάτινο αποδέκτη όπου παρατηρείται μεταβολή της πυκνότητας ανάλογα με το βάθος μελέτης. Εδώ, το σημείο μετρούμενο κατακόρυφα από το σημείο εκροής με φορά προς την στάθμη της θάλασσας κατά το οποίο λαμβάνει χώρα το φαινόμενο του εγκλωβισμού λυμάτων ( $z_{max}$ ) σε αυτή τη περίπτωση με βάση τη παραδοχή της γραμμικής στρωματοποίησης περιγράφεται από:

$$z_{max} = 2.84 \times j^{1/3} / \sqrt{-\frac{g}{\rho_1} \times \frac{d\rho_a}{dz}} \quad (2.17)$$

όπου:

- $\rho_1$ , η υπάρχουσα πυκνότητα του υδάτινου αποδέκτη στο μελετώμενο σημείο εκροής εφόσον τοποθετούνται σε αυτό το επίπεδο οι ανυψωτήρες, δηλαδή  $\rho_1 = \rho_a(z_o=0)$ .
- Βάσει των εισηγήσεων άλλων ερευνητών από εργαστηριακά δεδομένα, αντικαθιστάται ο συντελεστής 2.84 με τη τιμή 3.6 για μεγαλύτερη ακρίβεια.

Ύστερα, για εκτίμηση της ελάχιστης τιμής της διάλυσης στο ανώτατο σημείο που θα ανέλθει η γραμμική εκκρινόμενη δέσμη, έχουμε από τους *Jirka and Lee, 1994*:

$$S_c = 0.31 \frac{j^{1/3} z_{max}}{q} \quad (2.18)$$

- Ομοίως, για τον ίδιο λόγο με παραπάνω (σχέση 2.17) δύναται να αντικατασταθεί το 0.31 με το 0.24.

Τελικώς, ισχύει ότι το πάχος του στρώματος που δεσμεύουν τα διαλυμένα υγρά απόβλητα ανερχόμενα στη στάθμη της θάλασσας ή στο σημείο εγκλωβισμού στην περίπτωση που δεν φτάσουν στο ανώτατο σημείο της θάλασσας εξ αιτίας της στρωματοποίησης, αποτελεί το σαράντα με πενήντα τοις εκατό του συνολικού βάρους του αποδέκτη ή του βάρους παγίδευσης αντίστοιχα, ήτοι:

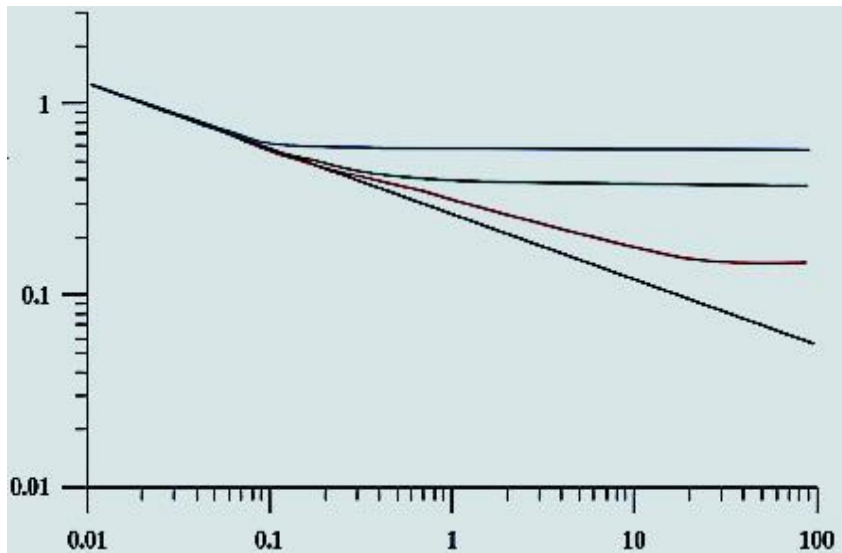
$$d_{plume} = (0.4 \sim 0.5) z_{max} \quad (2.19)$$

### 2.2.1.5 Διάλυση στη περίπτωση ύπαρξης θαλασσίων ρευμάτων

Κατά την μέθοδο μελέτης της διάλυσης λυμάτων σε υδάτινο αποδέκτη με συνθήκες συμβολής θαλάσσιων ρευμάτων με σταθερή ταχύτητα  $u_a$  κατά το πλήρες εύρος της θαλάσσιας στήλης, σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση της διάλυσης καταλαμβάνει η παράμετρος  $A = u_a^3/j$ . Επομένως, στο ενδεχόμενο ομογενούς υδάτινου αποδέκτη για τον προσδιορισμό της ελάχιστης επιφανειακής διάλυσης δεν λαμβάνεται υπόψη η ταχύτητα του ρεύματος και από τον *Baumgartner et al. (1994)* ισχύει:

$$S_m = 0.27 \frac{j^{1/3} H}{q}, \text{ για } A < 0.1 \quad (2.20)$$

Όσον αφορά την εκτίμηση της ελάχιστης διάλυσης στην υδάτινη επιφάνεια για τιμές του  $A > 0.1$  μονόδρομος αποτελεί η χρήση του διαγράμματος του *Roberts (1979)*, όπου η τιμή της επηρεάζεται από την ταχύτητα του θαλάσσιου ρεύματος  $u_a$  και από την εμφανιζόμενη γωνία  $\gamma$  μεταξύ της διεύθυνσης ρεύματος - άξονα διαχύτη με εύρος αυτής  $0 \leq \gamma \leq 90^\circ$ , δηλαδή ισχύει ότι  $S_m = f(u_a, A, \gamma)$ .



Σχήμα 2.10: Διάγραμμα ελάχιστης αρχικής διάλυσης του Roberts (1979)

Περιγραφικά, ανωτέρω (σχήμα 2.10) έχουμε τον κατακόρυφο άξονα ως τις τιμές προκύπτουσες από το κλάσμα  $\frac{S_m Q}{U_\alpha z_{max} L_D}$  και τον οριζόντιο άξονα να αντιπροσωπεύει τις τιμές του  $F = \frac{U_\alpha^3 L_D}{g' Q}$ , με τις εκάστοτε περιπτώσεις για τις διάφορες τιμές του  $A > 0.1$  και του  $0 \leq \gamma \leq 90^\circ$ .

Ακόμη, σε περίπτωση μελέτης όπου έχουμε κινούμενο και στρωματωμένο υδάτινο αποδέκτη υγρών αποβλήτων συχνά παρατηρείται μια ανικανότητα πλήρους ώθησης των λυμάτων μέχρι την στάθμη καθώς και το υδάτινο ρεύμα είναι ασθενές - προκειμένου να ικανοποιείται η ανισότητα  $A < 0.1$  - επομένως το σημείο μετρούμενο εκ του σημείου εκροής εκείνου στο οποίο εγκλωβίζονται τα λύματα μαζί με την ελάχιστη πραγματοποιούμενη διάλυση, είναι ανεξάρτητα τις έντασης του θαλάσσιου ρεύματος και της σχηματιζόμενης γωνίας ανάμεσα του διαχύτη και του ρεύματος, με την περιγραφή αυτών από τους Jirka and Lee (1994), ως εξής:

$$z_{max} = 2.6 j^{1/3} / \sqrt{-\frac{g}{\rho_1} \frac{d\rho_\alpha}{dz}}, \text{ και} \quad (2.21)$$

$$S_m = 0.37 \frac{j^{1/3} z_{max}}{q} \quad (2.22)$$

Από την άλλη πλευρά, εάν παρατηρηθεί αξιοσημείωτη ένταση υδάτινου ρεύματος και ισχύει ότι  $0.1 < A < 100$ , κρίνεται σκόπιμο να ισχυριστεί κανείς ότι το βάθος εγκλωβισμού των λυμάτων μαζί με την τιμή της ελάχιστης διάλυσης στο εν λόγω



σημείο επηρεάζονται από την ένταση του ρεύματος αλλά και από τη γωνία του φορέα του διαχύτη με το ρεύμα. Δεδομένου ότι κατά την φάση εγκατάστασης δημιουργήθηκε γωνία  $\gamma=90^\circ$  μεταξύ του άξονα του διαχύτη και της διεύθυνσης του υδάτινου ρεύματος από τους *Jirka and Lee (1994)*, έχουμε:

$$\text{Βάθος εγκλωβισμού: } z_{max} = 2.5 \times \sqrt{j / \left[ u_a \left( -\frac{g}{\rho_1} \frac{d\rho_a}{dz} \right) \right]} \quad (2.23)$$

$$\text{Ελάχιστη διάλυση: } S_m = 0.4 \frac{j^{1/3} z_{max} \Lambda^{1/6}}{q} (2.19 \times \Lambda^{1/6} - 0.52) \quad (2.24)$$



Σχήμα 2.11: Κατευθύνσεις υδάτινων ρευμάτων κατά την περίοδο του χειμώνα στην Ελλάδα (πηγή [https://www.researchgate.net/figure/The-directions-of-surface-currents-during-the-winter-in-Aegean-and-Ionian-Sea-modified\\_fig19\\_225284134](https://www.researchgate.net/figure/The-directions-of-surface-currents-during-the-winter-in-Aegean-and-Ionian-Sea-modified_fig19_225284134))

### 2.3 Περαιτέρω αραίωση λυμάτων

Κατά την φάση μελέτης αφού ολοκληρωθεί η αρχική αραίωση των λυμάτων, σειρά έχει η περαιτέρω αραίωση όπου έχουμε ένα πλούμιο με πλάτος  $B$  και πάχος  $d_{plume}$ . Αναλυτικότερα, βάση της μεθόδου αυτής καθώς η εκροή λυμάτων συμβαίνει με την ύπαρξη διαχύτη, αποτελεί η εξίσωση:

$$B = L_D + (0.3 \sim 0.4) z_{max} \quad (2.25)$$

με:

- $B$ , το σχηματιζόμενο πλάτος των αποβλήτων κατά την επιφάνεια του αποδέκτη ή κατά το βάθος εγκλωβισμού αυτών σε επικείμενη περίπτωση.
- $L_D$ , το μήκος του διαχύτη.
- $z_{max}$ , το βάθος στο οποίο παγιδεύεται το πλούμιο, όπου για  $z_{max} \ll L_D$  ισχύει ότι  $B \approx L_D$ .

Ύστερα, προς εκτίμηση του πάχους της δέσμης του πλουμίου σε περιβάλλον διάθεσης με υπάρχουσα στρωμάτωση και ταυτόχρονη συμβολή θαλάσσιων ρευμάτων, γίνεται χρήση της παρακάτω σχέσης από τους *Brooks (1972)*, *Baumgartner et al. (1994)*, *Jirka and Lee (1994)*:

$$d_{plume} = z_{max} \times \left[ \frac{QS/(u_a B z_{max})}{1+(QS/u_a B z_{max})} \right] \quad (2.26)$$

Όπου:

- $Q$ , η αθροιστική παροχή των υγρών αποβλήτων.
- $u_a$ , η ένταση του θαλάσσιου ρεύματος.
- $L_D$ , το μήκος του διαχύτη.
- $z_{max}$ , το μέγιστο ύψος εγκλωβισμού του πλουμίου, όπου στην περίπτωση που έχουμε ύψωση του πλουμίου έως τη στάθμη της θάλασσας ισχύει ότι  $z_{max} = H$ , δηλαδή ταυτίζεται με το συνολικό βάθος του αποδέκτη.
- $S = \sqrt{2} S_m$ , η μέση διάλυση στο σημείο κατά το οποίο συμβαίνει ο εγκλωβισμός του πλουμίου ή αναλόγως την στάθμη της θάλασσας.
- $S_m$ , η κατ' ελάχιστον διάλυση στο μελετώμενο ύψος.

Η παραπάνω εξίσωση για το πάχος  $d_{plume}$  δύναται να χρησιμοποιείται μόνο όταν επαληθεύεται η ανίσωση  $QS / (u_a L_D z_{max}) \leq 2$ . Στο εξής, ύστερα από την ανοδική κατεύθυνση του πλουμίου και αφού περατωθεί η αρχική αραίωση, τα υδάτινα ρεύματα παρασύρουν το πλούμιο. Σύμφωνα με αυτό το φαινόμενο, είναι πιθανό να συμβεί διασπορά των υγρών αποβλήτων, πηγάζουσα αφενός από τη αλλαγή κατευθυντικότητας των ρευμάτων και αφετέρου από τη χρονική διάρκεια ισχύς τους.

Με αυτόν τον τρόπο, με σκοπό να εκτιμήσουμε την διασπορά αυτή ποσοτικά, χρησιμοποιούμε τους συντελεστές διάχυσης κατά τον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα του μελετώμενου υδάτινου αποδέκτη. Ιδιαίτερα, όταν δεν έχει παρουσιαστεί στρωματοποίηση στη θάλασσα και έχουμε ανέγερση των υγρών αποβλήτων έως ότου και το ανώτερο της πιεζομετρικό σημείο, παρατηρείται ότι τα φορτία του ανέμου προκαλούν διακριτές κατακόρυφες τροποποιήσεις στο πεδίο ταχυτήτων, με αποτέλεσμα αυτού να προσδίδεται πρόσφορο έδαφος στη κατακόρυφη διάχυση λυμάτων.

Σε αυτή τη περίπτωση ισχύει:

$$K_V = 0.1 \times u^* \times H \quad (2.27)$$

με:

- $K_V$ , ο συντελεστής κατακόρυφης διάχυσης.
- $u^* = (\tau/\rho)^{1/2}$ , η ταχύτητα τριβής στο όριο.
- $\tau/\rho \approx 10^{-6} \times W^2$ , η ανηγμένη διατμητική τάση στην επιφάνεια του υδάτινου αποδέκτη, οφειλόμενη στην επίδραση του ανέμου με ταχύτητα  $W$ .

Κατά κόρον, ενδεικτικά γίνεται χρήση της τιμής  $K_V = 100 \text{ cm}^2/\text{sec}$  για τον συντελεστή κατακόρυφης διάχυσης. Επίσης, όταν έχουμε βάθος  $H$ , ο απαιτούμενος χρόνος που διατίθεται για να ολοκληρωθεί η κατακόρυφη διάχυση είναι  $t_v = H^2/(8K_V)$ . Σημαντικό σημείο της διαδικασίας είναι ότι για την εκτίμηση της κατακόρυφης διάχυσης οφείλουμε να συμπεριλάβουμε την διευθέτηση ορίων, όπως ο πυθμένας της θάλασσας και το πυκνοκλινές για να έχουμε αληθοφανή αποτελέσματα. Προς τεκμηρίωση αυτού, εάν έχουμε περιβάλλον με έντονο πυκνοκλινές, το πλούμιο κινείται χάριν στη οριζόντια συνιστώσα του υδάτινου ρεύματος με την ανικανότητα του ίδιου να εισχωρήσει εντός της ζώνης πυκνοκλινούς.

Κατά δεύτερο λόγο, αφότου ολοκληρωθεί η αρχική αραίωση, σειρά έχει η διάλυση στο μακρινό πεδίο μελέτης. Αυτή στηρίζεται στην ύπαρξη της στην μεταφορά κατά τον οριζόντιο άξονα και την διασπορά που δημιουργούν τα υδάτινα ρεύματα όπως και στη ανάμιξη που λαμβάνει χώρα κατά την εγκάρσια διεύθυνση από τον άξονα του εκκρινόμενου πλουμίου. Με σκοπό να περιγραφεί η διάλυση που προκύπτει κατά το μακρινό πεδίο  $S'$  και σε σημείο εδρασμένο τον άξονα του πλουμίου που απέχει απόσταση  $x$  εκ του ακροφυσίου εκροής, υπό την προϋπόθεση ύπαρξης στρωματομένου υδάτινου αποδέκτη με ταυτόχρονη συμβολή ομογενούς και σταθερού σε ένταση

υδάτινου ρεύματος, χρησιμοποιούμε την σχέση του *Brooks, 1960 (Baumgartner et al., 1994, Fischer et al, 1979, Jirka and Lee, 1994)*:

$$S'_c(x) = \frac{C(x)}{C_{αρχ}} = \sqrt{\operatorname{erf} \left[ \frac{3/2}{\left(1 + \frac{8K_h t}{B^2}\right)^3 - 1} \right]} \times e^{\lambda t} \quad (2.28)$$

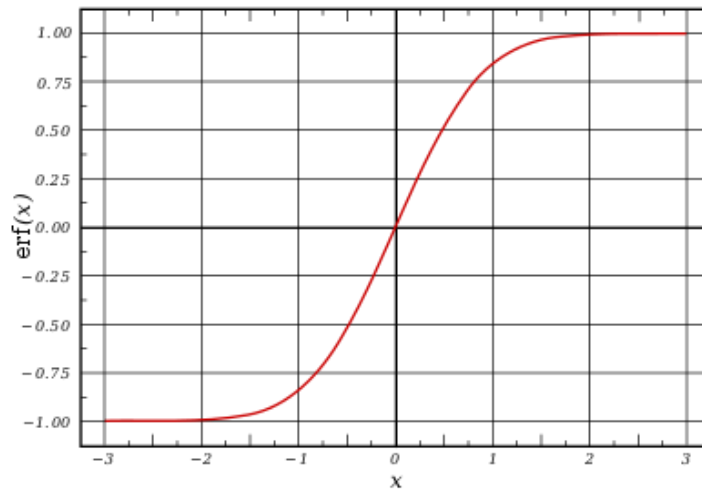
Εκ των οποίων:

- $C(x)$ , η τιμή της συγκέντρωσης σε απόσταση  $x$  από το ακροφύσιο του διαχυτήρα.
- $C_{αρχ}$ , η τιμή της συγκέντρωσης μελετώμενη στη στάθμη της θάλασσας ή στο παραγόμενο βάθος εγκλωβισμού χάριν της αρχικής αραίωσης.
- $K_h = 0.01 B^{4/3}$ , η αρχική τιμή του συντελεστή τυρβώδους διάχυσης κατά την οριζόντια διεύθυνση που συγκαταλέγεται στο πλάτος της εκροής, προτιμάται στα προβλήματα να γίνεται χρήση της τιμής  $K_h = 300 \text{ cm}^2/\text{sec}$ .
- $t$ , το απαιτούμενο χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να φτάσει η δέσμη του πλουμίου την απόσταση  $x$ , που περιγράφεται από τη σχέση:  $t = \frac{x}{u_a}$ .
- $u_a$ , η ένταση του εμπλεκόμενου υδάτινου ρεύματος.
- $B$ , ορίζουμε το πλάτος του πλουμίου που προκύπτει σε εκατοστά και για περιπτώσεις όπου έχουμε μικρό βάθος εγκλωβισμό λυμάτων ( $z_{max}$ ) το  $B = L_D$ , όπου  $L_D$  το μήκος του διαχύτη.
- $\lambda$ , ο συντελεστής βιολογικής αποδόμησης των μη συντηρητικών ρύπων, όπου σε περιβάλλον με συντηρητικούς ρύπους έχουμε  $e^{\lambda t} = 1$ .
- $\operatorname{erf}(\bullet)$ , η ονομαζόμενη error function, ή συνάρτηση σφάλματος, όπου περιγράφεται για ένα μέγεθος  $\delta$  από:

$$\operatorname{erf}(\delta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left( \delta - \frac{\delta^3}{3 \times 1!} + \frac{\delta^5}{5 \times 2!} - \frac{\delta^7}{7 \times 3!} + \frac{\delta^9}{9 \times 4!} - \dots \right), \text{ ή αλλιώς} \quad (2.29\alpha)$$

$$\operatorname{erf}(\delta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\delta e^{-w^2} dw \quad (2.29\beta)$$

Σημειώνεται ότι στην σχέση 2.29α στον παρανομαστή των κλασμάτων ο όρος «!» αναφέρεται στον όρο «παραγοντικό», όπου ισχύει  $n! = 1 \times 2 \times 3 \times \dots \times n$ .



Σχήμα 2.12: Η γραφική παράσταση της συνάρτησης σφάλματος  
(πηγή [https://en.wikipedia.org/wiki/Error\\_function](https://en.wikipedia.org/wiki/Error_function))

Ύστερα, για τον προσδιορισμό του πλάτους κατά το οποίο θα έχει το πλούμιο υπολογιζόμενο από την θέση της αρχικής διάθεσης εκ του ακροφυσίου σε απόσταση  $x$  υπολογίζεται από:

$$\frac{Lx}{B} = \left(1 + \frac{2\beta x}{3B}\right)^{3/2} \quad (2.30)$$

όπου,  $\beta = 12 K_h/(u_\alpha B)$ .

Επίσης, στην Σχ. 2.28 ο όρος  $e^{\lambda t}$  χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο σε ενδεχόμενα που εμπλέκουν υπολογισμό συγκέντρωσης μη συντηρητικού τύπου. Τυτέστιν, υφίσταται μεταβολή της συγκέντρωσης του ρύπου αναλόγως τις χρονικές διάρκειες των αναπτυσσόμενων βιολογικών εργασιών που συμμετέχουν σε αυτές μικρόβια, βακτηρίδια και άλλοι μικροοργανισμοί. Επι τούτου, ο συντελεστής βιολογικής αποδόμησης  $\lambda$  απορρέει από:

$$\lambda = \frac{\ln 10}{T_{90}} \approx \frac{2.3}{T_{90}} \quad (2.31)$$

όπου:

- $T_{90}$ , το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί για τον βιολογικό θάνατο του 90% της μάζας του χρησιμοποιούμενου μη συντηρητικού μελετώμενου ρύπου.

Σχετικά με αυτό, η τιμή του όρου  $T_{90}$  επηρεάζεται βάσει των υφιστάμενων περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν στη περιοχή μελέτης, ενδεικτικά λαμβάνει

μικρότερες τιμές σε θερμό περιβάλλον σε σχέση με ένα ψυχρότερο περιβάλλον, καθώς και σε περιοχές με ηλιοφάνεια - κατά τη διάρκεια της ημέρας δηλαδή - έχει μικρότερη τιμή από ότι θα είχε εάν είχε εκτιμηθεί σε χρονικό διάστημα νύχτας.

Επι παραδείγματι, από τους *Wood et al. (1993)* έχουμε σαν χρόνους για κολοβακτηρίδια  $T_{90} = (1.5 \sim 2.5) \text{ hrs}$  και  $T_{90} = (2.5 \sim 3.5) \text{ hrs}$  για στρεπτόκοκκους.

Είναι σημαντικό να υπογραμμισθεί ότι, ως παραδοχές των υπολογισμών μας θεωρούμε ότι η εκτίμηση της αραίωσης χάριν της μεταφερόμενης διασποράς γίνεται με μεγάλη προσεγγιστική μέθοδο, εφόσον κατά τη χρήση του συντελεστή οριζόντιας διάχυσης αξιοποιούμε με έμεσσο τρόπο εν γένει την χωροχρονική μεταβολή των υδάτινων ρευμάτων. Κατά επέκταση, παραδεχόμαστε ότι έχουμε απλουστευμένη περίπτωση μελέτης, καθώς η διάρκεια του υδάτινου ρεύματος, με σταθερή ταχύτητα  $u_a$ , είναι τόση ώστε να μας καλύπτει ακριβώς όσο χρειάζονται τα υγρά απόβλητα να μετατοπιστούν εκ του σημείου εκροής στο ευαίσθητο σημείο του αποδέκτη. Ρεαλιστικά, δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο, διότι η φύση των υδάτινων ρευμάτων είναι να μεταβάλλονται συνεχώς κατά θέση και χρόνο, με αποτέλεσμα να καταλήγουμε στη εικόνα ενός διάσπαρτου αποδέκτη με διαφοροποιημένες τοπικές συγκεντρώσεις των λυμάτων σε έναν συγκεκριμένο όγκο μελέτης. Για αυτόν τον λόγο, για πιο αληθοφανή αποτελέσματα δύναται να χρησιμοποιηθούν μαθηματικά ομοιώματα μεταφοράς ρυπαντών και παράκτιας κυκλοφορίας.

Εν κατακλείδι, ένα φαινόμενο που παρατηρείται καθώς συμβαίνει συνεχόμενη εκροή υγρών αποβλήτων είναι η εμπλεκόμενη αραίωση των λυμάτων με νερό το οποίο κατά το παρελθόν έχει ήδη ρυπανθεί από λύματα όπου έγιναν εκροή και δεδομένων των περιβαλλοντικών συνθηκών δεν κατάφεραν να απομακρυνθούν ή λόγω των ρευμάτων κατέληξαν πάλι στο ίδιο σημείο. Σε αυτό, η τελική μειωμένη αραίωση που καταλήγουν να έχουν τα λύματα μπορεί να εκφραστεί από μαθηματικό μοντέλο που ενσωματώνει τη συμπεριφορά των υγρών αποβλήτων στο κοντινό πεδίο μαζί με το μακρινό πεδίο.

## 2.4 Υλικά κατασκευής υποθαλάσσιων αγωγών μεταφοράς λυμάτων

Κατά κύριο λόγο, γίνεται χρήση πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (HDPE), χάλυβα, σκυροδέματος και πλαστικού με ενίσχυση ινών υάλου. Για τον Ελληνικό χώρο, κατά κόρον η διάμετρος του υποβρύχιου αγωγού είναι έως και  $1 \text{ m}$  με επιλογή πολυαιθυλενίου HDPE κλάσεως  $10 \text{ atm}$  (Κωτσοβίνος, 2004). Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται συνεχόμενος αγωγός με κατάλληλες συγκολλήσεις που ευνοεί τη χρήση

μεθόδων πόντισης, για παράδειγμα τη ρυμούλκηση και τη φορτηγίδα για αγωγούς διάθεσης εκροών.

Στα χαρακτηριστικά του HDPE πυκνότητας  $0.945 - 0.965 \text{ gr/cm}^3$  ανήκουν η μεγάλη αντοχή σε χημική διάβρωση, η μεγάλη αρχική αντοχή σε μηχανική καταπόνηση, με κύρια χαρακτηριστικά την μεγάλη αντίσταση στη διάβρωση και την ευλυγισία. Γενικά, δεν παρατηρείται οξείδωση, διάβρωση, και κατά την είσοδο του στο υδάτινο περιβάλλον ή στα λύματα διατηρεί το πάχος του κατά τη διάρκεια των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων χωρίς να εμφανίζονται οπές στα τοιχώματα του.

Ακόμη, η λεία επιφάνεια του αγωγού φιλοξενεί θαλάσσια χλωρίδα και πανίδα χωρίς να επηρεάζει την λειτουργία αυτού. Επιπλέον, γίνεται χρήση αγωγού αντοχής  $10 \text{ atm}$  με σκοπό την παραπάνω αξιοπιστία σε περιβάλλον μεγάλων μηχανικών καταπονήσεων, με υδραυλική διαστασιολόγηση υποβρυχίου αγωγού και διαχυτήρα σύμφωνα με τη μέση σημερινή ωριαία παροχή, τη σημερινή μέγιστη ωριαία και τη κατά πρόβλεψη μέγιστη ωριαία του έτους.



Σχήμα 2.13: Σωλήνες από HDPE διαμέτρου 315mm  
(πηγή <https://www.indiamart.com/proddetail/315-mm-hdpe-pipes-12455080197.html>)

Στην ανωτέρω εικόνα παρατηρούμε ότι η ειδοποιός διαφορά των σωλήνων από HDPE είναι η μπλε γραμμή κατά μήκος τους, ενδεχομένως για την επισήμανση πως προορίζονται για μεταφορά νερού.

## 2.5 Είδη πολλαπλών διαχυτών

Με διαφορές ως προς τη γεωμετρία τους, και συγκεκριμένα (Μπλούτσος, 2005):

- i. Τη γωνία προσανατολισμού ( $\beta$ ) των ακροφυσίων συγκριτικά με τον άξονα του διαχύτη.
- ii. Τη γωνία ( $\theta$ ) που σχηματίζει η κατακόρυφος με την εκροή.
- iii. Την οριζόντια γωνία εκροής ( $\sigma$ ) συγκριτικά με το ρεύμα του περιβάλλοντος υγρού.
- iv. Τη γωνία ( $\gamma$ ) που εμφανίζεται μεταξύ του άξονα του διαχύτη και κατεύθυνσης ροής του περιβάλλοντος υγρού.

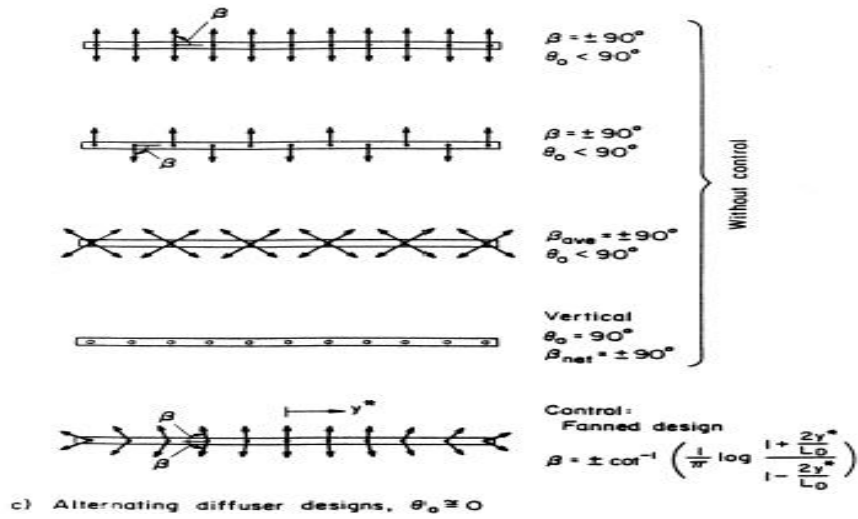
υπάρχουν οι εξής γενικευμένες κατηγορίες πολλαπλών διαχυτών:

α) Εναλλασσόμενοι διαχύτες (*alternating diffusers*), με την εκροή φλεβών και από τις δύο πλευρές του άξονα του διαχύτη ( $\beta = \pm 90^\circ$ ), με την παρουσία τους σε αντίθετα παλιρροϊκά ρεύματα για καλύτερη απόδοση του διαχύτη σε οποιαδήποτε κίνηση του νερού.

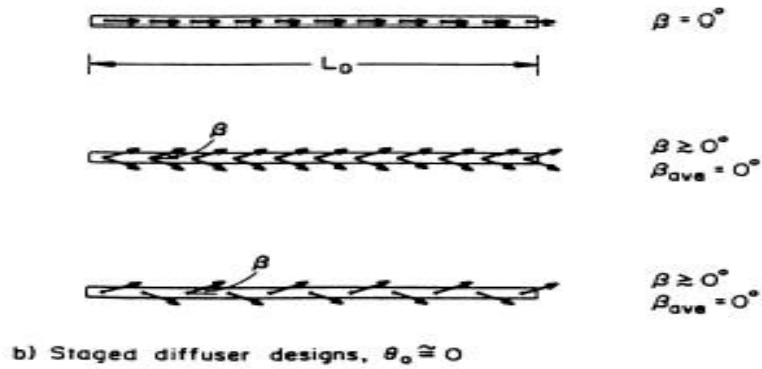
β) Διαχύτες των οποίων τα ακροφύσια εγκαθίστανται παράλληλα με τον άξονα του διαχύτη, προς την ίδια κατεύθυνση ( $\beta = 0^\circ$ ) (*staged diffusers*)

γ) Διαχύτες μίας κατεύθυνσης (*unidirectional diffusers*) με κάθετη στον άξονα του διαχύτη έδραση των ακροφυσίων ( $\beta = 90^\circ$ ) και προς την ίδια κατεύθυνση, με κατεύθυνση ροής παράλληλη στα περιβάλλοντα υδάτινα ρεύματα. Επιλέγονται συνήθως σε συνθήκες ανυπαρξίας αντίθετων παλιρροϊκών ρευμάτων, ακόμη και σε λίμνες και ποτάμια. Παρακάτω (Σχήμα 2.14) παρουσιάζονται σχηματικά οι προαναφερόμενες κατηγορίες διαχυτών.

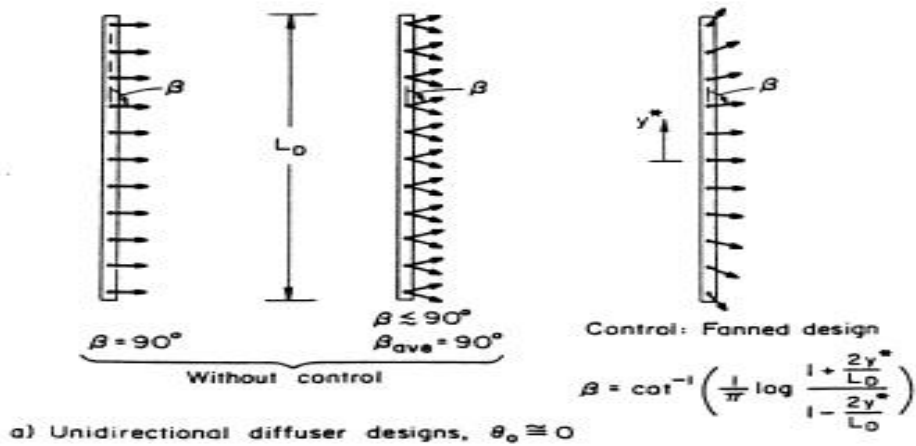




Σχήμα 2.14α: Εναλλασσόμενοι διαχύτες  
(πηγή <http://www.cormix.info/CORMIX2-Alternating.php>)



Σχήμα 2.14β: Διαχύτες με παράλληλη διάταξη ακροφυσίων  
(πηγή <http://www.cormix.info/CORMIX2-Staged.php>)



Σχήμα 2.14γ: Διαχύτες με ακροφύσια μίας κατεύθυνσης  
(πηγή <http://www.cormix.info/CORMIX2-Unidirectional.php>)

## 2.6 Νομοθετικό πλαίσιο ασφαλούς λειτουργίας διαχυτών

Βάσει του *Σχεδίου Κοινής Υπουργικής Απόφασης του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας*, για τη *Διάθεση Υγρών Αποβλήτων*, παρακάτω γίνεται μία συνόψιση των κύριων πυλώνων του *Άρθρου 05 – ‘Καθορισμός όρων διάθεσης υγρών αποβλήτων’*.

- α) Με σκοπό να μην προκαλούνται σηπτικές, αντιαισθητικές ή οχληρές καταστάσεις στην εγγύς περιοχή της εκβολής, ο τρόπος και η θέση διάθεσης υγρών αποβλήτων θα πρέπει να παρέχουν ταχεία και καλή ανάμιξη τους με τα επιφανειακά ύδατα.
- β) Για την διατήρηση του αλώβητου της ποιότητας του νερού των σημείων υδροληψίας πόσιμου νερού που ίσως τοποθετούνται στην περιοχή, η διάθεση των υγρών αποβλήτων θα πρέπει να λαμβάνει χώρα σε τέτοια θέση και με κατάλληλες συνθήκες, με την ταυτόχρονη εφαρμογή των προβλεπόμενων διαδικασιών βάσει των εκάστοτε *Σχεδίων Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών και Υδατικών Διαμερισμάτων* της χώρας.
- γ) Όσον αφορά τις αποστάσεις εκβολής των υγρών αποβλήτων από τα όρια περιοχών αξιοποιήσιμων για αλιεία εδάδιμων οστρακόδερμων, προβλέπονται τουλάχιστον τριακόσια μέτρα, και διακόσια μέτρα από τα όρια περιοχών που αξιοποιούνται για κολύμβηση.
- δ) Πραγματοποιείται έλεγχος οριακών τιμών εκπομπών ρύπων στο τελικό φρεάτιο εξόδου για τα προς διάθεση υγρά απόβλητα.

### Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία υπολογισμών αγωγών διάθεσης λυμάτων

#### 3.1 Θεμελιώδεις παράγοντες σχεδιασμού

Προσδοκώντας την μακροβιότητα του έργου αλλά και την επαρκή διασπορά των λυμάτων, κρίνεται σκόπιμο να προηγηθεί καλή υδραυλική λειτουργία του υποβρύχιου αγωγού. Για το κριτήριο αυτό, παρακάτω παραθέτονται τα στοιχεία που πρέπει να απαρτίζουν τον χαρακτήρα του έργου.

α) Λιτή λειτουργία

Στα σημεία που τοποθετούνται τα έργα κεφαλής, το φρεάτιο φόρτισης και κατά μήκος του αγωγού ο μηχανικός οφείλει να παραβλέπει υδραυλικές συσκευές όπως βαλβίδες εξαέρωσης/διακοπής κ.α., διότι αχρηστεύονται από τις διαβρώσεις του θαλασσινού νερού και από την δυσχέρεια του συνεχούς ελέγχου.

β) Σταθερή κλίση αγωγού στη θάλασσα

Για την αποφυγή συσσώρευσης αέρα και φερτών υλών και μετέπειτα ελάττωση της υδραυλικής ικανότητας του αγωγού, αποφεύγουμε τα τοπικά υψηλά και τοπικά χαμηλά σημεία κατά τη διεύθυνση του αγωγού.

γ) Καθολική παρουσία του αγωγού υπό το ελάχιστο πιεζομετρικό φορτίο της θάλασσας. Με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιούμε το ενδεχόμενο εισαγωγής αέρα, που συνεπάγεται μείωση της υδραυλικής ικανότητας.

δ) Ύπαρξη ελάχιστης τιμής της ταχύτητας ροής στον αγωγό.

Προς αποφυγήν επικαθήσεων φερτού υλικού μεταφερόμενο με τα λύματα.

Ιδανικά θέλουμε:

$$0.5-1 \leq U_d \leq 2 \text{ m/sec} \quad (3.1)$$

ε) Αποτροπή εισαγωγής θαλάσσιου νερού εντός του αγωγού.

Δημιουργείται μια στάσιμη αλμυρή σφήνα (*saline wedge*) με την είσοδο του θαλάσσιου νερού στον αγωγό και ως βαρύτερο των λυμάτων κατακάθεται με την ταυτόχρονη

συγκράτηση στερεών, ούτως ώστε να περνάνε από πάνω του τα λύματα και να παρατηρείται μείωση της παροχетеυτικής ικανότητας του αγωγού.

στ) Αδιάκοπη λειτουργία του αγωγού

Ενδείκνυται για να μην εισέλθει νερό στον αγωγό, παρουσιάζοντας δυσκολία στην υλοποίησή της, ειδικά σε μικρά αποχετευτικά συστήματα όπως μικρές αστικές περιοχές, εγκαταστάσεις βιομηχανικού ή τουριστικού ενδιαφέροντος εξ αιτίας της μεγάλης διακύμανσης της ημερήσιας παροχής ακαθάρτων νερών.

ζ) Εξασφάλιση διαμέτρου των ανυψωτήρων από  $100\text{ mm}$  και πάνω ( $0.1\text{ m} \leq d_0 \leq 0.2\text{ m}$ ).

Με σκοπό την διενέργεια του καθαρισμού τους και να μην φράσσονται από την χλωρίδα και την πανίδα του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Ακόμη, έτσι αποτρέπεται η εισαγωγή αδρομερούς υλικού στον διαχυτήρα με την επικείμενη απόφραξη των ανυψωτήρων. Κατάντη μίας τυχαίας διατομής του διαχυτήρα, η συνολική διατομή των ανυψωτήρων κυμαίνεται μεταξύ  $0.5-0.7$  της διατομής του διαχυτήρα. Σκοπός μας είναι να πετύχουμε την ομοιομορφία στις παροχές εκροής από τα στόμια των ανυψωτήρων.

Ισχύει ότι:

$$0.5 \leq \frac{\sum_i^n d_0^2}{D_d^2} \leq 0.7 \quad (3.2)$$

όπου:

- $d_0$ , η διάμετρος του ανυψωτήρα (παντού η ίδια για όλους τους ανυψωτήρες)
- $D_d$ , η διάμετρος του διαχυτήρα ακριβώς ανάντη από τον  $n$  ανυψωτήρα

Σημειώνεται ότι για την αρίθμηση των ανυψωτήρων, πραγματοποιείται από το κατάντη άκρο του διαχυτήρα.

η) Ευλαβική προσέγγιση του σχεδιασμού του φρεατίου φόρτισης στη κεφαλή του αγωγού. Σε αυτό πρέπει να διασφαλίζεται:

- Η ήπια καθοδήγηση της ροής στον υποβρύχιο αγωγό και η εκμηδένιση της ενέργειας του αγωγού προσαγωγής.
- Υπό όλες τις συνθήκες να μην υπάρξει εισαγωγή αέρα στον αγωγό
- Ικανό φορτίο αυτοκαθαρισμού

Χρησιμοποιούμε θάλαμο στροβιλισμού (*vortex drop*) προς εξουδετέρωση της ενέργειας των αποβλήτων στον αγωγό προσαρμογής που οδηγεί σε χαλύβδινο σωλήνα επενδεδυμένο εσωτερικά και εξωτερικά με εποξειδικό υλικό. Για θωράκιση του σκυροδέματος στο πυθμένα του φρεατίου που υποδέχεται την εισροή τοποθετούμε μαντεμένα πλάκα πάχους έστω τριών εκατοστών.

Επίσης, για να επιτύχουμε βέλτιστη πρόσφυση στο σκυρόδεμα του φρεατίου, στη σύνδεση του φρεατίου με τον υποβρύχιο αγωγό τοποθετούμε τεμάχιο από χάλυβα μήκους - το λιγότερο - ενάμιση μέτρου.

Σε περίπτωση ασυνεχούς λειτουργίας του αγωγού εξ αιτίας των διακυμάνσεων του φορτίου των λυμάτων παρατηρείται αναπότρεπτη εισαγωγή υδάτινου στοιχείου στον αγωγό. Προς αντιμετώπιση του φαινομένου, με την αξιοποίηση ηλεκτροκίνητου περιστρεφόμενου θυροφράγματος, ελαττώνουμε την ποσότητα του νερού που εισέρχεται στον αγωγό, τοποθετώντας το στην κεφαλή του αγωγού στο φρεάτιο φόρτισης.

Κατά την λειτουργία αυτή, το θυρόφραγμα κλείνει αεροστεγώς με το που η στάθμη του φρεατίου περάσει κάτω από ένα δεδομένο σημείο, πολύ πάνω από την άντυγα του αγωγού, και τη χρονική στιγμή που η στάθμη στο φρεάτιο εισέλθει στο μέγιστο σημείο, ανοίγει το θυρόφραγμα ούτως ώστε να υφίσταται αυτοκαθαρισμός ο αγωγός από το αυξημένο υδραυλικό φορτίο και να γίνεται απομάκρυνση του νερού.

### 3.2 Μέθοδοι διαστασιολόγησης διαχυτήρα, αγωγού και εκροών

Για να επιτύχουμε την αυξημένη αραίωση στα λύματα, θετικά συμβάλλει στο έργο μας η ύπαρξη στο διαχυτήρα αρκετών οπών (στομίων) εκροής μικρής σχετικά διαμέτρου. Στο πέρας του αγωγού, δηλαδή στον διαχυτήρα, τοποθετούνται οι εκροές αυτές έχοντας όλες την ίδια διάμετρο. Εάν ορίσουμε  $H$  το μέσο βάθος στη θέση του διαχυτήρα, τότε ως  $H/4$  καλούμε την απόσταση μεταξύ των ανυψωτήρων, η οποία καθορίζει την πορεία της διάθεσης των λυμάτων από τον διαχυτήρα. Για λόγους οριοθέτησης της συνολικής εκροής διαμορφώνοντας έτσι επιμήκη αξονοσυμμετρική ροή, η απόσταση ανάμεσα από τους ανυψωτήρες παραθέτει την απαιτούμενη επικάλυψη ενδιάμεσα των γειτονικών δεσμών που εκρέουν από τα στόμια του διαχυτήρα.

Για υδραυλικούς λόγους, τα χαρακτηριστικά που πρέπει να διέπουν τον διαχυτήρα, τον αγωγό και τους ανυψωτήρες ορίζονται όπως παρακάτω:

α) Προς αντιμετώπιση της εναπόθεσης των αιωρούμενων φερτών περιεχομένων στα υγρά απόβλητα, το εύρος της ταχύτητας στον αγωγό και το διαχυτήρα είναι  $0.75 < U_d < 1 \text{ m/s}$ , με ελάχιστη τιμή  $U_{d,min} = 0.5 \text{ m/s}$  και με αρκετή συχνότητα, ενώ ως μέγιστη τιμή της ταχύτητας ορίζουμε τα  $2 \text{ m/s}$ .

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, έχουμε μεταβολές στην παροχή των ακαθάρτων, με αποτέλεσμα να μην έχουμε σταθερές τιμές για τις ταχύτητες σε αγωγό και διαχυτήρα κατά τη λειτουργία του έργου διάθεσης, λαμβάνοντας υπόψη και τη μεταβλητότητα των εποχικών αλλαγών, έχοντας αντίκτυπο στην εναλλασσόμενη λειτουργία του φρεατίου φόρτισης.

β) Παρέχοντας σταθερή κλίση στον διαχυτήρα και συνάμα ίση απόσταση ανάμεσα στους ανυψωτήρες, αποσκοπούμε η εκροή από τις οπές να είναι ομοιόμορφη. Σχετικά με την οπή, επιλέγουμε διάμετρο ανώτερη των  $0.10 \text{ m}$ , με συνήθη χρήση των αγωγών διαμέτρου  $0.15$  έως  $0.20 \text{ m}$ , καθώς και η επιφάνεια της διατομής του διαχυτήρα να καλύπτει την συνολική επιφάνεια των οπών.

Σε αυτό το σημείο αναφέρεται ότι, για την εύρεση των διατομών του διαχυτήρα ανάμεσα στους διαδοχικούς ανυψωτήρες γίνεται χρήση της σχέσης 3.2 διατηρώντας όσο το δυνατόν πιο σταθερή διατομή γίνεται.

γ) Για την αποφυγή εισαγωγής θαλάσσιου νερού εντός του διαχυτήρα που προκαλεί μία ακίνητη στρώση, έγινε υπολογισμός του πυκνομετρικού αριθμού *Froude* ( $F_o$ ), λαμβάνοντας τιμές άνω του  $0.59$  και κατά τα συνηθισμένα χρησιμοποιείται ως ελάχιστη τιμή  $F_o = 1$ .

δ) Ο σχεδιασμός των οπών εκροής γίνεται προκειμένου να παρέχουν μόνιμη εκροή των αποβλήτων στο υδάτινο περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο, οι οπές τοποθετούνται σε σωλήνες που συνδέονται με τον διαχυτήρα που καλούνται ανυψωτήρες έχοντας ελάχιστο ύψος περίπου  $1 \text{ m}$ , αναλόγως της μεθόδου τοποθέτησης του διαχυτήρα πάνω στον θαλάσσιο πυθμένα ή σε εκσκαφή.

### 3.3 Προσδιορισμός βασικών υδραυλικών στοιχείων του διαχυτήρα

Η αρχή των υδραυλικών υπολογισμών του υποθαλάσσιου αγωγού, του διαχυτήρα και των οπών εκροής τοποθετείται στο κατάντη άκρο του διαχυτήρα στην πιο απόμακρη οπή και κατευθύνεται προς τα ανάντη. Ύστερα, θεωρούμε ότι από κάθε ανυψωτήρα εκρέει μία δέσμη αποβλήτων, τουτέστιν υφίσταται μια οπή εκροής η οποία φέρει την ίδια διάμετρο με τον ανυψωτήρα.

Υπό την συνθήκη ότι η ροή μιας οπής δεν μεταβάλλει την ροή στις όμορες οπές και αντιστρόφως, η εκτίμηση της παροχής από κάθε οπή γίνεται με ξεχωριστό χαρακτήρα. Βαρυσήμαντο ρόλο στην διαδικασία κατέχει η απόσταση ενδιάμεσα στις οπές και πρέπει να είναι μεγαλύτερη από  $10 d_0$ . Στο μεγαλύτερο μέρος των περιπτώσεων, λαμβάνεται απόσταση ανάμεσα στους ανυψωτήρες περίπου ίση με το  $\frac{1}{4}$  του βάθους στη θέση του διαχυτήρα, παίρνοντας υπόψη το πλήθος των τεμαχίων του σωλήνα που θα αξιοποιηθούν προς υλοποίηση του διαχυτήρα.

Ξεκινώντας την μέτρηση από το κατάντη άκρο του διαχυτήρα, ανάμεσα σε δύο συνεχόμενους ανυψωτήρες  $n$  και  $n+1$  η εξίσωση διατήρησης της ενέργειας (*Bernoulli*) ορίζεται ως εξής:

$$E_{n+1} = E_n + \Delta H_{fn} + \Delta p / \rho_o \Delta z_n, \quad (3.3)$$

με:

- $\Delta H_{fn} = f s U_d^2 / (2gD)$ , οι γραμμικές απώλειες στον διαχυτήρα ανάμεσα στα σημεία  $n$  και  $n+1$  (από *Prandtl-Colebrook*).
- $E_n$ , το ολικό ύψος της ενέργειας στη θέση  $n$  του διαχυτήρα.
- $\Delta p$ , η διαφορά της πυκνότητας σε λύματα και θαλασσινό νερό.
- $\rho_o$ , η πυκνότητα των λυμάτων.
- $\Delta z$ , η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα δύο συνεχόμενα σημεία του διαχύτη.
- $s = H/4$ , η απόσταση ανάμεσα στα δύο σημεία.
- $f$ , ο συντελεστής τριβών του *Darcy*.
- $D$ , η διάμετρος του διαχυτήρα στο χώρο ανάμεσα στους δύο συνεχόμενους ανυψωτήρες  $n$  και  $n+1$ .
- $U_d$ , η ταχύτητα ροής στο τμήμα του διαχυτήρα .

Για τη διάμετρο του αγωγού, υπολογιζόμενη βάσει της περιόδου επαναφοράς της τάξης των σαράντα ετών και παροχή σχεδιασμού την μέγιστη ωριαία παροχή της

σαρανταετίας, προς εκτίμηση των γραμμικών απωλειών χρησιμοποιείται ο τύπος του *Chen (1979)*:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[ \frac{k_s/D}{3.7065} - \frac{5.0452}{Re} \log A_4 \right] \quad (3.4)$$

με:

- $k_s$ , η απόλυτη τραχύτητα του διαχύτη (εξαρτώμενη ανάλογα το υλικό κατασκευής του αγωγού).
- $D$ , η διάμετρος του αγωγού.
- $A_4 = \frac{k/D^{1.1098}}{2.8257} + \left( \frac{7.149^{0.8981}}{Re} \right)$
- $R = \frac{UD}{\nu}$ , ο αριθμός *Reynolds*.

Καθώς και ο συντελεστής τριβών συσχετίζεται με τον συντελεστή *Manning (n)*, ως εξής (*Κρεστενίτης I., 2015*):

$$f = n^2 8g/R^{1/3} = 124.58 n^2 / D^{1/3} \quad (3.5)$$

όπου:

- $g$ , η επιτάχυνση βαρύτητας
- $R$ , η υδραυλική ακτίνα του αγωγού με τιμή  $R=D/4$

Ακόμη, η παροχή ( $q_p$ ) εκροής από τον ανυψωτήρα στη θέση  $n$  προκύπτει από (*Κρεστενίτης I., 2015*):

$$q_p = C_D (\pi D^2/4) [2gE_n]^{1/2} \quad (3.6)$$

με:

- $C_D$ , ο συντελεστής παροχής, που για ομαλά προσαρμοσμένο ανυψωτήρα (*bell-mounted port*) ισχύει, (*McNown, 1954*)

$$C_D = 0.975(1 - V_n^2/2gE_n)^{3/8} \quad (3.7)$$

Και για απότομα προσαρμοσμένο ανυψωτήρα (*sharp edged port*) ισχύει, (*Fisher et al., 1979*)



$$C_D = 0.63 - 0.58(V_n^2/2gE_n) \quad (3.8)$$

Μείζονα ρόλο στην διαδικασία διαστασιολόγησης για να αποφύγουμε το αντλιοστάσιο, είναι το απαιτούμενο πιεζομετρικό ύψος στο φρεάτιο φόρτισης - για την παροχή σχεδιασμού και με μέση στάθμη θάλασσας - να μην υπερνικά το υψόμετρο του εδάφους προ της ακτής, καθώς σημαντικά είναι τα παρακάτω κριτήρια:

α) Ο πυκνομετρικός αριθμός *Froude*,  $F_o = U_o/(gd_o)^{1/2}$  για κάθε στόμιο θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος του 1, επίσης σε συνθήκες διακοπτόμενης λειτουργίας του φρεατίου φόρτισης χρίζει η ανάγκη για εκτόπιση του θαλασσινού νερού από τον διαχυτήρα που εισήλθε κατά τη παύση λειτουργίας του φρεατίου, ούτως ώστε θα πρέπει να προκύπτει το απαραίτητο φορτίο που ο πυκνομετρικός αριθμός *Froude* στον πιο μακρινό ανυψωτήρα να είναι ανώτερος της τιμής:

$$F_o^2 = \frac{2h}{d_o} \left[ 1 + \frac{fh}{d_o} + \left( \frac{d}{D} \right)^4 (2\alpha_m + k - 1) \right]^{-1} \quad (3.9)$$

όπου:

- $d_o$ , η διάμετρος του ανυψωτήρα
- $D$ , η διάμετρος του διαχυτή στο σημείο ακριβώς ανάντη του εν μελέτη ανυψωτήρα
- $h$ , το ύψος του ανυψωτήρα πάνω από τον διαχυτή
- $f$ , ο συντελεστής τριβών *Darcy* αναφερόμενος στη ροή του ανυψωτήρα λαμβάνοντας τιμές:  $f = 0.051 \pm 0.005$ , για  $h/d_o = 0.64$ ,  
και  $f = 0.037 \pm 0.005$ , για  $h/d_o = 27.7$
- $\alpha_m$ , ο συντελεστής ορμής, με εύρος τιμών  $\alpha_m = 1.18 \pm 0.06$
- $k$ , ο συντελεστής τοπικών απωλειών με εύρος τιμών  $k = 2.69 \pm 0.16$

β) Για αντιμετώπιση της εναπόθεσης αιωρούμενου υλικού καθώς συνυπάρχει με τα λύματα, σημαντικό είναι η ταχύτητα στον διαχυτήρα να είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη ταχύτητα  $U_{d, min}$ . Από τον *Ackers (1991)* ή τους *Wood et al (1993)*, ισχύουν τα παρακάτω:

$$U_{d, min} = 0.465 D^{0.078} + 193 D^{0.593} C_V^{0.515}, \text{ για } d_{50} = 1.0 \text{ mm} \quad (3.10\alpha)$$

$$U_{d, min} = 0.381 D^{0.061} + 68.9 D^{0.511} C_V^{0.450}, \text{ για } d_{50} = 0.5 \text{ mm} \quad (3.10\beta)$$

$$U_{d, min} = 0.327 D^{0.050} + 29.1 D^{0.442} C_V^{0.390}, \text{ για } d_{50} = 0.3 \text{ mm} \quad (3.10\gamma)$$

$$U_{d, \min} = 0.293 D^{0.039} + 13.9 D^{0.368} C_V^{0.329}, \text{ για } d_{50} = 0.2 \text{ mm} \quad (3.10\delta)$$

$$U_{d, \min} = 0.240 D^{0.022} + 4.00 D^{0.249} C_V^{0.227}, \text{ για } d_{50} = 0.1 \text{ mm} \quad (3.10\epsilon)$$

με τους εμφανιζόμενους όρους:

- $C_V$ , η συγκέντρωση των στερεών, ως όγκο στερεών προς όγκο υγρού.
- $d_{50}$ , η διάμετρος των φερτών.
- $D$ , η διάμετρος του αγωγού.

Επιπρόσθετα, ένας ακόμη τύπος υπολογισμού της ταχύτητας από την εισήγηση του *Bagnold (1966)* ορίζει:

$$U_d > \frac{w}{125 \sqrt{\frac{f}{8}}} = 2.2 f^{0.5} w \quad (3.11)$$

όπου:

- $w$ , η ταχύτητα καθίζησης του σωματιδίου.
- $f$ , ο συντελεστής τριβής, και εάν  $f = 0.01$ , προκύπτει ότι  $U_d > 22.6w$ .

γ) Προκειμένου να επιτευχθεί ομοιόμορφη ροή από τους ανυψωτήρες, από τον *Grace (1978)*, το κλάσμα με αριθμητή τη συνολική διατομή των στομιών των ανυψωτήρων κατάντη μίας διατομής αγωγού και παρανομαστή τη διατομή του αγωγού να κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 0.7.

### 3.4 Φρεάτιο φόρτισης

Κατά συνέπεια, από τους υπολογισμούς που προηγήθηκαν, για τη λειτουργία του διαχύτη και τη παροχή σχεδιασμού το απαιτούμενο φορτίο του φρεατίου φόρτισης (*charging well*) προκύπτει από τη σχέση:

$$H_w = H_\phi = E_T + \Delta\rho/\rho_w z_T + \Delta H \quad (3.12)$$

όπου έχουμε:

- $E_T$ , η ενέργεια στη θέση του τελευταίου ανυψωτήρα στα ανάντη.

- $z_T$ , το βάθος στην έξοδο του τελευταίου ανυψωτήρα από τη στάθμη της μεγαλύτερης πλήμμης. Με τον όρο «πλήμμη» καλείται το μέγιστο υψομετρικά σημείο κατά το οποίο φτάνει το χειμερινό κύμα.
- $\Delta H$ , οι απώλειες στον αγωγό από τον τελευταίο ανυψωτήρα έως ότου το φρεάτιο φόρτισης, οριζόμενες από:

$$\Delta H = 1.1 (f L/D V^2/2g) = 1.1 (n^2 V^2 L/R^{4/3}) \quad (3.13)$$

και:

- $f = n^2 \delta g/R^{1/3}$ , ο συντελεστής τριβών

Σημειώνεται ότι ο συντελεστής  $1.1$  αναφέρεται σε ποσοστό ενίσχυσης  $10\%$  των γραμμικών απωλειών για εξασφάλιση και των τοπικών απωλειών.

Η μέθοδος η οποία ορίζει ελάχιστη στάθμη λειτουργίας του φρεατίου φόρτισης εκμηδενίζει την πιθανότητα εισαγωγής αέρα εντός του αγωγού, τοποθετημένη σε σημείο μεγαλύτερο από την άντυγα του αγωγού η οποία με τη σειρά της εγκαθίσταται υπό της στάθμης της κατώτατης ρηχίας. Ως «Ρηχία» επικαλείται το χαμηλότερο υψομετρικά σημείο στο οποίο φτάνει η επιφάνεια της θάλασσας στη διάρκεια ενός πλήρους κύκλου παλίρροιας.

Εξ αιτίας των μεγάλων διακυμάνσεων του υδραυλικού φορτίου, προκαλείται μη συνεχόμενη λειτουργία του αγωγού που οδηγεί στην είσοδο του νερού εντός αυτού. Προς αντιμετώπιση του φαινομένου, εγκαθιστούμε ηλεκτροκίνητο περιστρεφόμενο θυρόφραγμα (*automated butterfly valve*) με επίσης μη συνεχόμενη λειτουργία, κατά την κεφαλή του αγωγού στο φρεάτιο φόρτισης, που επιτυγχάνει ελάττωση της ποσότητας του υδάτινου όγκου που επιβάλλει στον αγωγό έπειτα από παύση της παροχής.



Σχήμα 3.1 : Αυτόματο περιστρεφόμενο θυρόφραγμα  
(πηγή <https://www.indiamart.com/proddetail/automated-butterfly-valves-4316191088.html>)

Μετά το πέρας της στάθμης του φρεατίου πιο χαμηλά από ένα συγκεκριμένο σημείο σηματοδοτημένο - ικανοποιητικά πιο πάνω από την άντυγα του αγωγού – κλείνει αεροστεγώς το θυρόφραγμα, που με τη σειρά του ανοίγει πάλι τη χρονική στιγμή που η στάθμη εντός του φρεατίου επαρθεί στο μεγαλύτερο υψομετρικά σημείο προτρέποντας το αυξημένο φορτίο να τροφοδοτεί τον αυτοκαθαρισμό του αγωγού και να αφαιρεί το νερό (*saline water intrusion removal*).

Σχετικά με τη λειτουργία του φρεατίου φόρτισης κρίνεται σκόπιμο να πληρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις:

α) Δυνατότητα ικανής χωρητικότητας του φρεατίου φόρτισης, με συνέπεια να είναι εφικτό η ηλεκτροκίνητη βάννα να κλείνει αεροστεγώς σε χρονικό διάστημα *45-60 sec*, και σε περιπτώσεις ευμεγεθών αγωγών για μεγαλύτερο χρόνο, με την ταυτόχρονη αντιμετώπιση ύπαρξης υδραυλικού πλήγματος το οποίο ενδεχομένως να ρίξει τον αγωγό.

Με τον όρο «υδραυλικό πλήγμα» (*water hammer*) ορίζουμε το φαινόμενο κατά το οποίο σε έναν αγωγό συμβαίνει απότομη αύξηση της πίεσης που προκαλεί έντονες εναλλαγές κατευθύνσεων του υγρού οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχία του υδραυλικού συστήματος.

Σε περίπτωση ακαριαίου κλεισίματος της βάννας, η επιπρόσθετη πίεση που προκύπτει αντιστοιχεί σε  $\Delta H = c\Delta V/g$  και ο απαιτούμενος χρόνος που δεσμεύει μία διαταραχή – όπως μια μεταβολή της πίεσης ή μια αλλαγή της παροχής – εντοπισμένη

στη κεφαλή του αγωγού προκειμένου να τον διασχίσει φτάνοντας στο πέρας του και να γυρίσει έπειτα στο αρχικό του σημείο, ορίζεται ως  $T = 2L/c$ ,

με παράγοντες:

- $\Delta V$ , η μεταβολή της ταχύτητας του νερού στη βάννα τη χρονική στιγμή το κλεισίματος.
- $L$ , το ολικό μήκος του αγωγού μαζί με τον διαχυτήρα.
- $c$ , η ταχύτητα διάδοσης των πιεστικών κυμάτων του αγωγού που απορρέει από:

$$c = [\rho (1/k + D/Es)]^{-1/2} \quad (3.14)$$

με:

- $E$ , η ενέργεια του κύματος με τιμή  $9000 \text{ kp/cm}^2$ .
- $k$ , ο κυματαριθμός λαμβάνοντάς τον  $2 \times 10^8 \text{ kp/cm}^2$ .
- $D$ , η εσωτερική διάμετρος του αγωγού.
- $s$ , το πάχος του τοιχώματος του αγωγού ( $mm$ ).

β) Ικανή χωρητικότητα του φρεατίου φόρτισης με στόχο την ελάχιστη χρήση της βάννας. Έτσι, στοχεύουμε την αποφυγή βραχυπρόθεσμων φθορών και εξ αιτίας της ενσωμάτωσης στερεών και άλλων σωματιδίων, την μικρότερη πιθανότητα εμφάνισης μη αεροστεγούς κλεισίματος. Ακόμη, για την εγγύηση της απουσίας των δυσσομιών, τα οργανικά στοιχεία πρέπει να φιλοξενούνται εντός του αγωγού για χρονικό διάστημα μικρότερο της τάξης των δέκα λεπτών, που συνεπάγεται ότι ο όγκος του φρεατίου δεν πρέπει να είναι ευμεγέθης.

Για φρεάτιο με διατομή  $A$ , το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να μειωθεί η στάθμη από το  $h_{max}$  στο  $h_{min}$  εκτιμάται από τη σχέση (Κρεστενίτης, 2015):

$$\begin{aligned} t &= -\int_{h_{max}}^{h_{min}} Adh/Q(h) = \int_{h_{min}}^{h_{max}} \frac{A}{\frac{\pi D_{pipe}^2}{4} \sqrt{2g}} \frac{1}{\sqrt{h}} dh = \frac{4A}{\pi D_{pipe}^2 \sqrt{2g}} \int_{h_{min}}^{h_{max}} \frac{1}{\sqrt{h}} dh = \\ &= \frac{4A}{\pi D_{pipe}^2 \sqrt{2g}} [2(\sqrt{h_{max}} - \sqrt{h_{min}})] \end{aligned} \quad (3.15)$$

Έπειτα από ένα διάστημα αιχμής, θεωρείται πως η παροχή προς το φρεάτιο προερχόμενη από τις μονάδες επεξεργασίας εκμηδενίζεται, με αποτέλεσμα η προαναφερόμενη  $Q(h)$  να αντιπροσωπεύει την παροχή προς τον αγωγό εκφραζόμενη σε σχέση με την στάθμη  $h$  των αποβλήτων εντός του φρεατίου.

Στις περισσότερες των περιπτώσεων έχουμε ότι:

$$Q(h) = A_{pipe} u(h) = \frac{\pi D_{pipe}^2}{4} \sqrt{2gh} \quad (3.16)$$

Συμπληρωματικά με τα προλεγόμενα, κατά το φαινόμενο της εναλλασσόμενης λειτουργίας του αγωγού παρατηρείται δεδομένη εισχώρηση νερού εντός του συμπλέγματος του διαχύτη συγκεκριμένα στο σημείο που λαμβάνει χώρα η διακοπή της παροχής με ακολουθούμενο το κλείσιμο του θυροφράγματος. Μία μέθοδος που έχει ευεργετικό χαρακτήρα στο φαινόμενο αυτό είναι για το διάστημα που το θυρόφραγμα παραμένει ανοικτό ο πυκνομετρικός αριθμός *Froude* να λαμβάνει τιμές ανώτερες της τιμής  $I$ , για υλοποίηση της ύπαρξης ελάχιστης παροχής λειτουργίας συνοδευόμενη με την ελάχιστη στάθμη λειτουργίας του φρεατίου. Συμπερασματικά, για την αφαίρεση του ακίνητου νερού το οποίο ενσωματώθηκε κατά την παύση λειτουργίας του φρεατίου φόρτισης με την ταυτόχρονη ενεργοποίηση του αυτοκαθαρισμού του αγωγού από ενδεχόμενες επικαθήσεις, το θυρόφραγμα θα λάβει την ανοιγμένη φάση του αφότου το φρεάτιο φόρτισης επαρθεί στην μεγαλύτερη στάθμη λειτουργίας του.

## Κεφάλαιο 4: Εγκατάσταση έργου στη θάλασσα

### 4.1 Στοιχεία αγωγών κατασκευασμένων από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο

Η χρήση HDPE είναι στοχευόμενη για το έργο καθώς πλεονεκτεί έναντι άλλων αγωγών του εμπορίου που θα ήταν υποψήφιοι προς αξιοποίηση, για τους εξής λόγους:

- Εντός και εκτός του αγωγού εμφανίζεται ικανοποιητική προστασία έναντι της οξείδωσης αποτρέποντας έτσι την αλλοίωσή του.
- Φέρει εσωτερικά αρκετά λείο τοίχωμα που συνεπάγεται μικρές υδραυλικές απώλειες λόγω ιξωδών τριβών καθώς και αποτρέπει την προσκόλληση βιολογικών οργανισμών.
- Το υλικό διέπεται από μεγάλη αντοχή σε κάμψη, κάτι που είναι χρήσιμο κατά την διαδικασία της τοποθέτησης του αγωγού καθώς απουσιάζουν σημαντικές καταπονήσεις, επίσης σε περίπτωση απρόβλεπτων πρόσθετων φορτίων η αντοχή σε κάμψη προσδίδει την ικανότητα να δέχεται ο αγωγός τα φορτία και να διατηρεί ταυτόχρονα τη γεωμετρία του.
- Η εργασία συνένωσης των μεμονωμένων τεμαχίων του αγωγού συμβαίνει στη ξηρά πριν την εισαγωγή του στη θάλασσα προκειμένου να μηδενίσουμε την πιθανότητα κατασκευαστικών αστοχιών.
- Ο αγωγός διαθέτει μικρότερο βάρος από το θαλάσσιο νερό, επομένως ευνοείται η διαδικασία πόντισης του αγωγού με πρακτικότητα ελέγχου της θέσης του.
- Λόγω του μικρού του βάρους, είναι πιο πρακτική η επιδιόρθωσή ενδεχομένων βλαβών του οδηγώντας τον στην επιφάνεια της θάλασσας μέσω της άνωσης πληρώνοντας τον με αέρα.

Βάσει προηγηθέντων εγκαταστάσεων αγωγών από HDPE στο πυθμένα της θάλασσας, έχει αποδειχθεί ότι διατηρούν σταθερό χαρακτήρα κατά την πάροδο του χρόνου και οι εν λόγω δυσλειτουργίες που προκύπτουν ανά περιόδους οφείλονται σε

λανθασμένες τεχνικές τοποθέτησης, για παράδειγμα οι συγκρούσεις με λίθους πλήρωσης ή οι επαφές με αιχμηρά αντικείμενα.



Σχήμα 4.1: Ρυμούλκηση αγωγού HDPE από εκσκαφέα με ερπύστριες προς τη θάλασσα στο Qatar (πηγή [https://www.youtube.com/watch?v=M\\_EjmG7K4aU](https://www.youtube.com/watch?v=M_EjmG7K4aU))

Παραπάνω, (σχήμα 4.1) απεικονίζεται στιγμιότυπο από βίντεο ρυμούλκησης αγωγού που θα τοποθετηθεί εντός θαλάσσιου περιβάλλοντος, με τη βοήθεια δομικού μηχανήματος (εκσκαφέα). Γίνεται πρόσδεση του κάδου του μηχανήματος με τον αγωγό μέσω ενός ιμάντα και με αυτόν τον τρόπο μετακινείται ο αγωγός. Ακόμη στον χώρο υπάρχει προσωπικό που κατευθύνει το έργο κάνοντας χρήση σήμανσης (σημαία), ενώ οι προϊστάμενοι επιβλέπουν τη διαδικασία.

#### 4.2 Ερμάτωση αγωγών

Η διαδικασία της ερμάτωσης αγωγών από HDPE αποσκοπεί να προσδώσει σε αυτούς ικανό βάρος, για να έχουν την ικανότητα να είναι πιο βαριοί από το θαλασσινό νερό κατά τον εμπλουτισμό τους με αέρα. Σε παλαιότερες κατασκευές έχει γίνει χρήση ατομικών τετραγωνικών ή κυλινδρικών ερμάτων με βάση το οπλισμένο σκυρόδεμα, όπου σε αυτήν την περίπτωση διατηρούμε χαμηλό το κόστος του συνόλου της κατασκευής, όμως πρακτικά παρουσιάζονται ατέλειες, όπως λόγω χάριν αστοχία του αγωγού εξ αιτίας του μη κατανεμημένου φορτίου που δέχεται, όπως επίσης και η ανικανότητα των ατομικών ερμάτων να διατηρήσουν την προσκολλημένη θέση τους και να μετατοπιστούν κατά μήκος του αγωγού.





Σχήμα 4.2: Ερματωμένος αγωγός από HDPE μήκους 1.2 km στη Αίγυπτο το 2018  
(πηγή <https://www.makai.com/pipelines/>)

Στο σχήμα 4.2 έχουμε έναν υποβρύχιο αγωγό μεταφοράς λυμάτων που για τον οποίο έχει προτιμηθεί ερμάτωση με μεμονωμένα τεμάχια από οπλισμένο σκυρόδεμα. Εν γένει, έχει επικρατήσει η χρήση ενιαίας ερμάτωσης του αγωγού αποτελούμενο από δομικό πλέγμα και έγχυση σκυροδέματος. Οι λόγοι που αυτή η μέθοδος συμβάλλει στην καλύτερη απόδοση και λειτουργία του έργου, αναλύονται παρακάτω:

- Επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή των φορτίων του έρματος κατά μήκος του αγωγού και μειώνεται έτσι η πιθανότητα εμφάνισης κάμψης σε σημείο του αγωγού από πρόσθετο σημειακό φορτίο εξ αιτίας του βάρους του τεμαχίου.
- Θωρακίζεται εν συνόλω ο αγωγός από τυχόν αλληλεπιδράσεις με αιχμηρά αντικείμενα στη φάση της εγκατάστασης, όπως και προστατεύεται κατά την φάση λειτουργίας του έργου από παραδείγματα χάριν άγκυρες πλοίων, εάν για κάποιο λόγο φθαρεί η επίχωση στη διάρκεια ζωής του έργου.

Τελικώς, η ερμάτωση πραγματοποιείται από οπλισμένο σκυρόδεμα και με διαδικασία κατά την οποία περιτυλίγεται ο αγωγός με συρματόπλεγμα το οποίο υφίσταται ηλεκτροσυγκόλληση, με ύπαρξη τετραγωνικών βρόγχων και έγχυση σκυροδέματος κατηγορίας B300, με πάχος τέτοιο που να χαρίζει στον αγωγό βάρος της τάξης των 20 kρ/m για να ομαλοποιείται η εγκατάστασή του στον πυθμένα της θάλασσας και να αποφεύγονται πρόσθετες καταπονήσεις.



Σχήμα 4.3: Αγωγός από HDPE με εξωτερική ενίσχυση από οπλισμένο σκυρόδεμα  
(πηγή <https://www.amconco.com/utility-products/perfect-pipe/>)

Παραπάνω, (σχήμα 4.3) φαίνονται τεμάχια αγωγού από HDPE περιτυλιγμένα από στρώσεις οπλισμένου σκυροδέματος. Η αμερικανική κατασκευαστική εταιρία amconco τον αποκαλεί ως ο «τέλειος» αγωγός, καθώς ισχυρίζεται ότι μετά από δοκιμές είναι ικανός να έχει δύναμη έλξης πάνω από πενήντα τέσσερεις λίβρες (περίπου είκοσι πέντε κιλά) ανά άγκυρα. Ακόμη ο αγωγός αυτός δεν απαιτεί συγκόλληση των τεμαχίων μεταξύ τους, καθώς φέρουν στα άκρα τους αρμογές που συνδέονται εύκολα μεταξύ τους.

#### 4.3 Βύθισμα και καθέλκυση των αγωγών

Αρχικά, οι διαδικασίες της καθέλκυσης και του βυθίσματος των αγωγών από υλικό HDPE αποσκοπούν στην όσο το δυνατόν πιο ήρεμη μετάβαση του από την ξηρά στη θάλασσα, ούτως ώστε να αποφευχθεί η καταπόνηση του αγωγού με την τοποθέτηση. Κατά το στάδιο της καθέλκυσης, γίνεται θερμοσυγκόλληση εργοστασιακών τεμαχίων μήκους δώδεκα μέτρων σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μήκος, αναλόγως τον αξιοποιήσιμο εργοταξιακό χώρο. Η σύνδεση των διαδοχικών τεμαχίων γίνεται κυρίως με φλάντζες από πλαστικοποιημένο χάλυβα και πραγματοποιείται έλεγχος της πίεσης πριν από την καθέλκυση. Σε αυτήν, χρησιμοποιούμε ειδικά κατασκευασμένη ράμπα από βαγόνια σε σιδηροτροχιές, για αποτροπή πρόσθετων επιπονήσεων στο έρμα και τον αγωγό. Προηγουμένως της καθέλκυσης, προκειμένου να αποφύγουμε τις μεγάλες καμπτικές καταπονήσεις λόγω ιδίου βάρους και να επιπλέει ο άδειος αγωγός, γίνεται τοποθέτηση πλωτήρων από διογκωμένη πολυστερίνη στον αγωγό και αερόσακων με μεγάλη ανωστική δύναμη.

Ύστερα από τη μεταφορά και τη τοποθέτηση του τεμαχίου κατά μήκος της χάραξης, κατά την πόντιση του αγωγού γίνεται σταδιακή απομάκρυνση των πλωτήρων και εξαέρωση των αερόσακων με το βύθισμα του άδειου αγωγού έως το σημείο

αντοχής σε ρήξη λόγω εξωτερικής πίεσης (*buckling strength*). Στα πιο βαθιά, γίνεται αποσφράγιση του καθελκόμενου τεμαχίου στα άκρα του για να γίνει πλήρωση με νερό πριν από την πόντιση.

#### 4.4 Εγκατάσταση αγωγών στον πυθμένα του θαλάσσιου οικοσυστήματος.

Στον Ελλαδικό χώρο, κρίνεται σημαντικό να τίθεται ο αγωγός σε επαρκής επίχωση όρυγμα, προς αποφυγήν αστοχίας του από συρόμενες άγκυρες και ελκόμενων «πορτών» από τράτες σε περιβάλλον ακόμη και πέρα από την ζώνη θραύσης των κυματισμών. Εφόσον η απλή επίχωση δεν παρέχει επαρκή προστασία στον αγωγό, πρόσθετα γίνεται χρήση οπλισμένου σκυροδέματος για ενίσχυση της προστασίας και της θωράκισης του αγωγού. Για περίοδο επαναφοράς πενήντα χρόνια, γίνεται θωράκιση του ορύγματος του αγωγού στη ζώνη θραύσης του κυματισμού με κριτήριο να μπορεί να δεχθεί φορτία του μέγιστου κυματισμού χωρίς αστοχίες.

Κατά την ύπαρξη χαλαρού πυθμένα, που έχουμε τη παρουσία παραμορφώσεων ανάλογα την εποχή, η κατάλληλη θωράκιση χρήζει ευκαμψίας για εύκολη προσαρμογή στις συνθήκες χωρίς την εμφάνιση καταστροφών. Με κριτήριο την προτροπή της έκπλυσης του υποκείμενου υλικού, συνήθως γίνεται επιλογή συνδυασμού κυβόλιθων σκυροδέματος ενωμένων με γεώπλεγμα από HDPE που εδράζονται πάνω σε φίλτρο γεωυφάσματος.

Στη περίπτωση βραχωδών εδαφών, χρησιμοποιούμε φυσικούς ογκόλιθους μεγάλων διαστάσεων που εγκαθίστανται πάνω από το υλικό πλήρωσης του ορύγματος του αγωγού, οι οποίοι προκύπτουν άμεσα από τα υλικά εκβραχύνσεων μαζί με το υλικό πλήρωσης του ορύγματος.

#### 4.5 Όρυγμα και επίχωση

Σε περιπτώσεις χαλαρών εδαφών δεν προτιμάται η εκσκαφή του ορύγματος με χρήση συμβατικών μέσων, για τον λόγο ότι σε ελάχιστο χρονικό διάστημα προβλέπεται επανεπίχωση του ορύγματος με την εμφάνιση του φαινομένου προ των διαδικασιών πόντισης και τοποθέτησης του αγωγού.

Για αυτόν τον λόγο, κατά κόρον υιοθετείται η διαδικασία εκσκαφής μετά της πόντισης (*post trenching*) όπου λαμβάνει χώρα αρχικά η πόντιση του αγωγού βάσει του

φορέα της χάραξης και ύστερα εξειδικευμένο εκσκαπτικό μηχάνημα οδεύει κατά μήκος του αγωγού, ολοκληρώνοντας έτσι την ταφή με υδροβολή και έπειτα επανεπίχωση.

Όσον αφορά περιπτώσεις βραχιδών εδαφών, με αφορμή την εν λόγω δυσκολία που απορρέει με την προηγούμενη μέθοδο, επικρατεί η κατασκευή ορύγματος με κυρίως κατακόρυφες παρειές. Σχετικά με αυτή την μέθοδο, η εκσκαφή του βραχιδούς πυθμένα πραγματοποιείται με αξιοποίηση εκρηκτικών μηχανισμών εδρασμένων ανά πέντε μέτρα στον πυθμένα κατά μήκος του σωλήνα. Έπειτα, με έλεγχο από την ακτή προς τη θάλασσα πυροδοτούνται οι εκρηκτικοί μηχανισμοί με αλληπάλληλη γραμμική σειρά και υφιστάμενο μικρό χρονικό διάστημα ανάμεσα των εκρήξεων. Εν προκειμένω, θεωρούμε ικανοποιητικό βάθος την τάξης των δύο μέτρων για το όρυγμα, όπου δύτες με κρουστικά πιστόλια προσδίδουν τις τελικές λεπτομέρειες για ολοκλήρωση του σχήματος του ορύγματος.

Κατά την υλοποίηση του πυθμένα του ορύγματος, τοποθετείται άμμος πάχους είκοσι εκατοστών άνω της οποίας εφάπτεται ο σωλήνας. Έτσι, με την ύπαρξη δυτών γίνεται η πλήρωση του ορύγματος με διαβαθμισμένο υλικό, ούτως ώστε να εκμηδενισθεί η πιθανότητα εμφάνισης της ανάμιξης και διασποράς ανάμεσα στις σχηματιζόμενες στρώσεις και να διατηρούμε ομοιογένεια μεταξύ αυτών. Με αυτόν τον τρόπο, για τη μεταφορά ευμεγεθών φυσικών ογκολίθων προβλέπεται η χρήση σκάφους προς αντιμετώπιση της πιθανότητας εισχώρησης τους στο υλικό έδρασης. Συμπερασματικά, κατά την κατασκευή η αντιστοιχία βάθους θάλασσας - βάρους ογκολίθων γίνεται με μέτρηση της στάθμης της στέψης θωρακίσεως,

#### **4.6 Προστασία διαχύτη με την αξιοποίηση σκυροδέματος**

Σχετικά με την θωράκιση του διαχυτήρα, χρήζει η επίχωση του και η διατήρηση ενιαίου έρματος με τη παρουσία ασυνεχειών που προορίζονται για τους ανυψωτήρες. Σε αυτούς, προσδίδεται πιο πρακτικός χαρακτήρας όταν έχουν σχήμα γάμμα, διότι η κατεύθυνση του οριζοντίου μέλους του στομίου μετακινείται ενώ ταυτόχρονα τηρεί εγκάρσια θέση στον διαχύτη. Συγκεκριμένα, το κατακόρυφο μέλος του ανυψωτήρα οφείλει να απέχει κατ' ελάχιστον  $0.80\text{ cm}$  απόσταση από τον πυθμένα για αντιμετώπιση της συσσώρευσης φερτών υλικών.

Ακόμη, κατά τη συνδεσμολογία του κατακόρυφου μέλους με το στόμιο γίνεται χρήση ανοξειδωτης φλάντζας και μπουλονιών από πλαστικό με τη λογική ότι σε ενδεχόμενη ζημιά θραύονται περιορίζοντας την έτσι μόνο στον εν λόγω ανυψωτήρα.

Επιπρόσθετα, ο διαχύτης οφείλει να έχει ως τελικό σημείο τη φλάντζα με στόμιο τοποθετημένο εκτός του ορύγματος, δεδομένου ότι σε αναγκαία περίπτωση θα πραγματοποιηθεί έκπλυση του σωλήνα.

Τελικά, για θωράκιση του διαχύτη από εξωτερικούς θαλάσσιους παράγοντες χρησιμοποιούνται τεχνητοί ογκόλιθοι μάζας τριών τόνων οι οποίοι φέρουν αγκυρωμένες διατεταγμένες σιδηροδοκούς από *IPB 100*, όπου εν τέλει στην απόληξη του διαχυτήρα υπάρχει σημαντήρας στο σημείο εκείνο στην στάθμη της θάλασσας.

#### 4.7 Διαδικασίες πόντισης υποβρυχίων αγωγών εκροών υγρών αποβλήτων

Με κριτήρια το κατάλληλο υλικό του αγωγού, την διάσταση αυτού και τους περιορισμούς με θαλάσσιο χαρακτήρα, παρακάτω αναλύονται οι διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να επιτευχθεί το βύθισμα των αγωγών στο θαλάσσιο πυθμένα, όπως επίσης και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της εκάστοτε μεθόδου.

##### α) Τράβηγμα στο βυθό (*bottom pull*)

Αυτή η μέθοδος βρίσκει εφαρμογή σε περιπτώσεις που έχουμε κατάλληλα υλικά αγωγού τον χάλυβα, PE (*polyethylene pipe*), GRP (*glass reinforced plastics*). Για τον αγωγό από χάλυβα έχουμε διάμετρο μικρότερη των τριών μέτρων και μήκος μικρότερο της τάξης των πέντε χιλιομέτρων. Σε αγωγό με βάση το πλαστικό, έχουμε απαιτούμενη διάμετρο μικρότερη του ενός μέτρου και μήκος μικρότερο των εκατό με διακοσίων μέτρων.

Όσον αφορά το περιβάλλον εγκατάστασης, ιδανικά προορίζεται για συνθήκες ανοικτής θάλασσας με περιορισμό την ευστάθεια του αγωγού στη ζώνη θραύσης των κυμάτων. Επίσης, για τον χάλυβα το σημαντικό ύψος κύματος ( $H_s$ ) δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα τρία μέτρα, και για το πλαστικό το ένα μέτρο. Σε αυτό το σημείο αναφέρεται ότι με τον όρο «σημαντικό ύψος κύματος,  $H_s$ » ορίζεται η μέση τιμή του ανώτερου 33.3% των υψών κύματος και γίνεται συχνή χρήση του όρου καθώς ταυτίζεται με την τιμή ύψους κύματος που δύναται να αποφανθεί ένας ναυτικός με την οπτική παρατήρηση της θάλασσας (*Συμπέθερος Ι, 2020*).

Οι λόγοι που είναι χρήσιμη αυτή η μέθοδος είναι ότι φέρει αποδοτικότητα και χρησιμοποιείται ευρέως με μικρά ενδεχόμενα αβεβαιότητας. Επιπλέον, πραγματοποιείται στην ξηρά η κατασκευή και ο έλεγχος του σωλήνα, με ευκολία

τοποθέτησης του σε σύντομο χρονικό διάστημα και ευχέρεια για τράβηγμα μεγάλων μηκών. Το μελανό σημείο αυτής της μεθόδου είναι ότι δεσμεύει εργοταξιακό χώρο και διάδρομο καθέλκυσης πλησίον στη χάραξη του αγωγού εκβολής λυμάτων.



Σχήμα 4.4: Τράβηγμα αγωγού στη θάλασσα  
(πηγή <https://www.aosgm.com/press/photo/crossing-the-volkhov/>)

Στο σχήμα 4.4 βλέπουμε μία εικόνα αντίστοιχη με του σχήματος 4.1 σε πιο μακρινή λήψη, καθώς δομικά μηχανήματα ρυμουλκούν τον αγωγό προς τη θάλασσα.

β) Ξετύλιγμα από φορτηγίδα (*reel barge*)

Με αυτόν τον τρόπο προτιμάται να γίνεται η πόντιση από GRP ή PE σε περίπτωση προστατευόμενων περιοχών, όπου η διάμετρος του σωλήνα είναι κάτω των 0.3 μέτρων και δεν έχουμε όριο του μήκους, ενώ ταυτόχρονα παρέχεται η δυνατότητα πόντισης αρκετών σωλήνων. Επιπρόσθετα, χρειάζονται σχετικά καλές συνθήκες με το σημαντικό ύψος κύματος ( $H_s$ ) να κυμαίνεται μεταξύ του 0.5 και 1.5 μέτρων.



Σχήμα 4.5: Ξετύλιγμα γραμμής αγωγών από φορτηγίδα  
(πηγή <https://www.royalihc.com/en/products/offshore/pipelay/reel-lay-vessels>)

Παραπάνω, (σχήμα 4.5) απεικονίζεται μία φορτηγίδα η οποία φέρει τον αγωγό τυλιγμένο και σταδιακά ξετυλίγεται κατά τη πλεύση .

γ) Σύνδεση-πόντιση από φορτηγίδα (*lay barge*)

Γίνεται επιλογή αυτής της μεθόδου σε εκτεθειμένες περιοχές με χρήση αγωγού από χάλυβα και σε προστατευόμενες περιοχές χρησιμοποιείται GRP ή PE. Ιδιαίτερα, δεν έχουμε κανένα περιορισμό σε μήκος και διάμετρο αγωγών, μολονότι αυτός ο τρόπος εν γένει εξαρτάται από το μέγεθος της φορτηγίδας και τον εξοπλισμό αυτής. Στην περίπτωση του αγωγού από PE τελεί κρίσιμος παράγοντας η ευστάθεια του αγωγού και προϋποθέτει ηρεμία θάλασσας, με το  $H_s$  να παίρνει τιμές από 0.5 έως 1.5 μέτρα. Η ικανότητα αυτής της μεθόδου αποδεικνύεται από τον μικρό εργοταξιακό χώρο που εκμεταλλεύεται, και παρέχεται η επιλογή πόντισης αγωγών με μεγάλα μήκη. Όμως, η λειτουργία της μεθόδου καλείται δαπανηρή για τον θαλάσσιο εξοπλισμό που χειρίζεται, με την ενδεχόμενη εμφάνιση ζημιών στον σωλήνα κατά τη διαδικασία πόντισης. Τελικά, παρουσιάζονται κωλύματα κατά την κατασκευή ενιαίας εσωτερικής επένδυσης για προστασία από την οξείδωση.



Σχήμα 4.6: Σύνδεση αγωγών με φορτηγίδα  
(πηγή <https://www.vanoord.com/activities/shallow-water-pipe-lay-barge>)

Κατά το σχήμα 4.6 έχουμε την εικόνα μίας φορτηγίδας και μίας σωληνογραμμής που σταδιακά μεταβαίνει στο πυθμένα της θάλασσας συνδεδεμένη με το ένα άκρο της με το πλευστό.

δ) Πλεύση και βύθιση (*float and lower*)

Εδώ, χρησιμοποιείται πάλι χάλυβας για τη περίπτωση εκτεθειμένων περιοχών, όπως και για προστατευόμενες περιοχές GRP ή PE. Ειδικά, δεν έχουμε κάποιον

περιορισμό πέραν του ανωτάτου ορίου της τάξης των τριών μέτρων για την επιλογή της διαμέτρου. Για την συμπεριφορά της θάλασσας, ενδείκνυται να διέπεται από ηρεμία με την απουσία παλιρροιακών ρευμάτων για όσο χρόνο δεσμεύει η βύθιση, με το  $H_s$  να λαμβάνει τιμές μικρότερες του μισού μέτρου. Η μέθοδος αυτή υπερτερεί των άλλων, διότι δεν απαιτεί μικρή απόσταση μεταξύ εργοταξίου και σημείου εκβολής του αγωγού και ορίζει ταχείς ρυθμούς βυθίσεως. Από την άλλη πλευρά, ελλοχεύουν αρκετοί κίνδυνοι το χρονικό διάστημα που διαρκεί η ρυμούλκηση και η βύθιση και επικρατεί η ανικανότητα να ελέγχονται μεγάλα μήκη απλώς, με την αναμενόμενη προτίμηση της μεθόδου σε περιπτώσεις μικρού βάθους.



Σχήμα 4.7: Τοποθέτηση κολάρων πλεύσης  
(πηγή <https://pipefloat.com/pipe-float>)

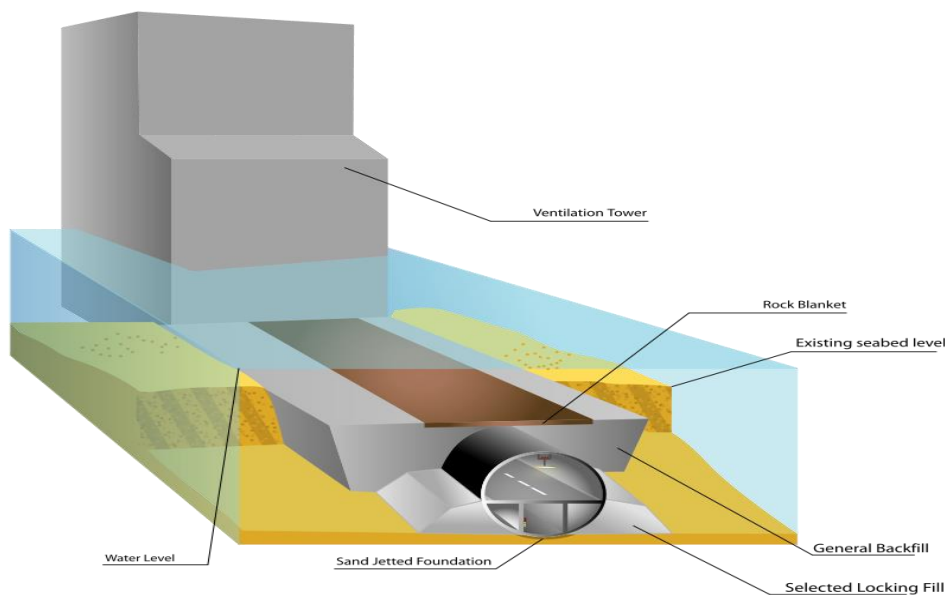
Σε αυτή τη περίπτωση (σχήμα 4.7) έχουμε την εγκατάσταση κολάρων με μεγάλη ανωστική δύναμη που επιτρέπουν στον αγωγό να επιπλέει, με την προοπτική ότι εφόσον φτάσει στην επιθυμητή θέση αυτά ξεφουσκώνουν οδηγώντας τον έτσι στον πυθμένα της θάλασσας.

ε) Βυθισμένη σήραγγα (*immersed tube*)

Με τη μέθοδο της βυθισμένης σήραγγας γίνεται χρήση οπλισμένου σκυροδέματος και προεντεταμένων αγωγών, οι οποίοι στις περισσότερες των περιπτώσεων έχουν μεγάλη διάμετρο, ανώτερη του ενός μέτρου. Ακόμη, τα μήκη των προεντεταμένων τεμαχίων δεν μπορούν να ξεπερνούν τα εκατό μέτρα το καθένα και δεν συναντάμε κανένα περιορισμό κατά τη διαστασιολόγηση του συνολικού μήκους αγωγού. Κατά την διεργασία της μεθόδου αυτής, χρειάζονται διαρκώς συνθήκες ηρεμίας από πλευράς θάλασσας, όπως επίσης με τη χρήση μεγάλων πλωτών και εξειδικευμένων οργάνων και αντικειμένων δύναται να εξεταστούν μέσες συνθήκες ανοικτής θάλασσας, ενώ το σημαντικό ύψος κύματος δεν θα ξεπεράσει το μισό μέτρο.



Ειδοποιός διαφορά αυτής της μεθόδου είναι πως παρέχει την δυνατότητα για εγκατάσταση σωλήνων με αρκετά μεγάλη διάμετρο. Ακόμη, μειώνεται το χρονικό διάστημα που αφιερώνεται για την εγκατάσταση των κομματιών του αγωγού, εξ αιτίας του μεγάλου μήκους που διαθέτουν και συνάμα μπορεί να εδράζεται το εργοστάσιο μακριά από την τοποθεσία εγκατάστασης του αγωγού εκβολής. Παρόλα αυτά, η μέθοδος αυτή υστερεί των άλλων, εφόσον για την ορθή λειτουργίας της επιτάσσει εξαιρετικά ειδικευμένο θαλάσσιο μηχανολογικό εξοπλισμό, καθώς και λαμβάνει χώρα μόνο εντός προστατευόμενων θαλάσσιων περιοχών με την αξιοποίηση ευμεγέθους εργοταξιακού εδάφους.



Σχήμα 4.8: Βυθισμένη σήραγγα τοποθετημένη κάτω από το επίπεδο του θαλάσσιου πυθμένα (πηγή [https://en.wikipedia.org/wiki/Immersed\\_tube](https://en.wikipedia.org/wiki/Immersed_tube))

Στο σχήμα 4.8 έχουμε μία βυθισμένη σήραγγα υπό τον θαλάσσιο πυθμένα και αριστερά με σκούρο γκρι χρώμα συναντάμε τον πύργο εξαερισμού. Ακόμη έχουμε την στάθμη του νερού με γαλάζιο χρώμα, τη πέτρινη στρώση άνω του αγωγού με καφέ χρώμα, την επίχωση του αγωγού με ανοικτό γκρι και στο κάτω τμήμα του αγωγού την βάση με την άμμο.

#### στ) Σωλήνα με σωλήνα (*pipe by pipe*)

Με βάση αυτή τη μέθοδο αξιοποιούνται όλα τα διαθέσιμα υλικά για τη κατασκευή του σωλήνα, όπως το σκυρόδεμα, GPR, PE και ο χάλυβας. Επιπλέον, για τις διαστάσεις του αγωγού ενδεικτικά αναφέρεται ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί πληθώρα μεγεθών και μηκών, με τυπικά μεγάλα μεγέθη για τη διάμετρο τα τρία μέτρα και για το μήκος τα οκτώ μέτρα ανά στέλεχος. Κατασκευαστικά, η μέθοδος προϋποθέτει μόνιμα



γωνία  $\beta$  ( $^\circ$ ) που έχει ο αγωγός σε σχέση με τον οριζόντιο άξονα. Επίσης, η κατά μήκος του αγωγού απόσταση των ακροφυσίων  $\Delta l$  ισούται με  $\Delta l = \frac{\Delta x}{\cos\beta}$  και τα ακροφύσια έχουν μήκος  $l = 1 \text{ m}$ . Ο διαχύτης τοποθετείται σε βάθος  $z_d = 37.5 \text{ m}$ . Βάσει αυτών των δεδομένων, η προτιμότερη μέθοδος για την εγκατάσταση του αγωγού στον πυθμένα της θάλασσας είναι η πλέον αποτελεσματική και ευρέως εφαρμοσμένη σε τέτοιες περιπτώσεις, μέθοδος τραβήγματος στο βυθό (*bottom pull*). Κριτήρια επιλογής αυτής της μεθόδου είναι οι τιμές της διαστασιολόγησης που προέκυψαν, καθώς για αγωγούς από χάλυβα η διάμετρος χρήζει να είναι κάτω από τρία μέτρα και εμείς έχουμε  $D_{\alpha\gamma\omega\gamma\acute{o}\upsilon} = D_{\delta\iota\alpha\chi\upsilon\tau\acute{\eta}\rho\alpha} = 0.9 \text{ m}$ . Ακόμη, σε αυτή τη μέθοδο οριοθετείται το μήκος του αγωγού στα πέντε χιλιόμετρα και εμείς έχουμε  $L_{total} = 1.590 \text{ m}$ , στοιχείο που μας επιτρέπει την επιλογή της μεθόδου αυτής.

Επιπρόσθετα, κατά αυτή την μέθοδο πραγματοποιείται η κατασκευή και ο έλεγχος του αγωγού στη ξηρά και με ταχείς χρόνους γίνεται η τοποθέτηση αυτού, όπου υπάρχουν χαμηλά ποσοστά αβεβαιότητας της μεθόδου. Εν συντομία, οι αγωγοί κατασκευάζονται σε χώρο που τοποθετείται όσο το δυνατόν γίνεται πιο κοντά στην ακτή. Έτσι, αρχικώς παραδίδονται οι σωλήνες μεμονωμένοι και μετά στοιβάζονται, ώστε επομένως να συγκολληθούν μεταξύ τους σχηματίζοντας σειρές σωλήνων που ύστερα συγκολλούνται. Έπειτα, στην τελική του μορφή ο αγωγός μετακινείται με δομικά μηχανήματα προς την ακτή για να τραβηχτεί εντός της θάλασσας από φορτηγίδα.



Σχήμα 4.10α: Συλλογή και τοποθέτηση μελών σε στοίβες στη πόλη Mostaganem, Algeria

(πηγή <https://www.youtube.com/watch?v=LThrOvFgohY>)



Σχήμα 4.10β: Συγκόλληση και ερμάτωση τεμαχίων στη πόλη Lima, Peru

(πηγή <https://www.youtube.com/watch?v=LThrOvFgohY>)



Σχήμα 4.10γ: Προετοιμασία του αγωγού πριν την πόντιση στη περιοχή Koudiet, Algeria

(πηγή <https://www.youtube.com/watch?v=LThrOvFgohY>)



Σχήμα 4.10δ: Τράβηγμα του αγωγού στο βυθό της θάλασσας στη πόλη Lima, Peru

(πηγή <https://www.youtube.com/watch?v=LThrOvFgohY>)

Κατά τη διαδικασία τραβήγματος του αγωγού υπάρχουν δύο εναλλακτικές διαδικασίες με κριτήριο το σημείο που τοποθετείται ο μηχανισμός που ρυμουλκεί, αφενός είναι η μέθοδος μακριά από την ακτή (*offshore variation*) και αφετέρου η μέθοδος πάνω στην ακτή (*onshore variation*).

Στην πρώτη περίπτωση, το βίντσι (*winch*) που ρυμουλκεί τον αγωγό βρίσκεται εντός της θάλασσας προσδεμένο σε πλωτή πλατφόρμα. Αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η ρυμούλκηση μεγαλύτερων υποβρύχιων αγωγών ή αγωγών σε προστατευόμενες περιοχές. Το πλωτό είναι συνδεδεμένο εξ αρχής με υποθαλάσσια άγκυρα που προσφέρει αντίσταση προκειμένου να καθιστά πιο εύκολη την έλξη του αγωγού. Η μέθοδος αυτή κατά κύριο λόγο αγνοεί την προϋπόθεση του ρυμουλκού να υπερνικήσει την τριβή του σχοινιού έλξης με τον θαλάσσιο πυθμένα. Προς ολοκλήρωση του έργου, η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται με την επανατοποθέτηση

της άγκυρας και την επαναφορά του σχοινιού κατά τη διαδρομή του αγωγού σε σημείο όλο και πιο μακριά από την ακτή ούτως ώστε ο αγωγός να εκτείνεται προοδευτικά προς το θαλάσσιο πυθμένα. Για να επιτευχθεί η παραπάνω μέθοδος απαιτούνται ευνοϊκές καιρικές συνθήκες για να υπάρχει ηρεμία στη θάλασσα.

Στην δεύτερη περίπτωση, τοποθετούμε τον μηχανισμό ρυμούλκησης στη στεριά πλησίον της θάλασσας και ενώνεται με μηχανισμό τροχαλίας εγκατεστημένη στο άκρο της φορτηγίδας, η οποία είναι ακυρωμένη, και συνδέεται με το πέρας του αγωγού, που θα υποστεί πόντιση. Σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν επηρεάζεται στη πράξη από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και παρέχει μεγάλο βαθμό ακρίβειας και ελέγχου. Η διαφορά αυτής της μεθόδου από την πρώτη, είναι πως το επίγειο βίντσι πρέπει να υπερνικήσει την αντίσταση από το βάρος του αγωγού και το βάρος του καλωδίου επιστροφής.

#### **4.9 Κείμενες διατάξεις για την εξασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος περί της εγκατάστασης υποβρύχιων αγωγών.**

Βάσει των προσωρινών εθνικών τεχνικών προδιαγραφών (Π.Ε.ΤΕ.Π 09-17-03-00) του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, με την έκδοση 1.0 τον Μάιο του 2006, για τα λιμενικά και λοιπά θαλάσσια έργα και συγκεκριμένα για τους υποβρύχιους αγωγούς από HDPE, προβλέπεται:

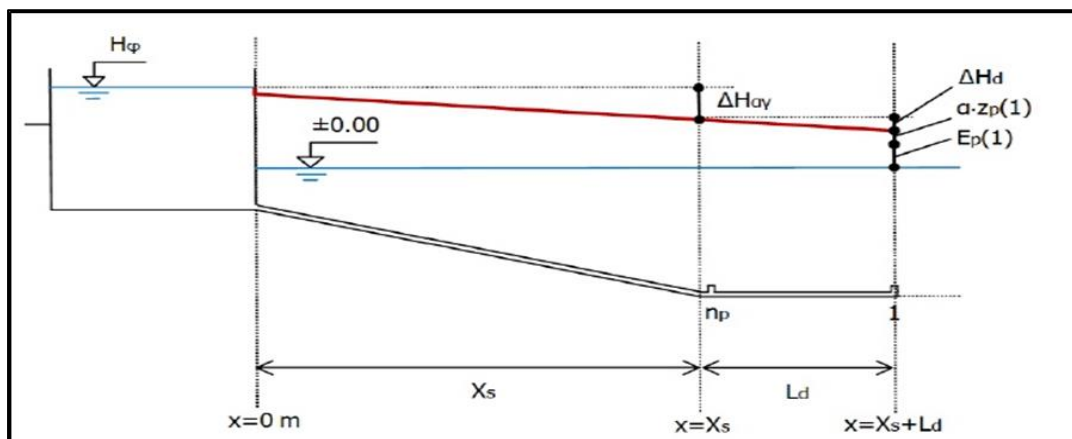
- Η αξιοποίηση πλωτών μέσων και λειτουργία των μηχανημάτων.
- Μετακινήσεις πλωτού εξοπλισμού με την παραχώρηση ελευθερίας κίνησης της ναυσιπλοΐας και άλλων σκαφών σε διαύλους εντός του χώρου του έργου, ή με έγκαιρη πρόβλεψη απαγόρευσης κυκλοφορίας πηγάζουσα των αρμόδιων Αρχών.
- Ενδεδειγμένη επισήμανση στις περιοχές όπου υφίσταται η εκτέλεση εργασιών εκσκαφών και επιχώσεων, όπως και εργασιών καθέλκυσης και πόντισης ή τοποθέτησης του αγωγού, με την συνοδευόμενη εγκατάσταση φωτοσημαντήρα στο τέλος του αγωγού.
- Διακεκριμένη επισήμανση αξιοποιούμενων φορέων μεταφοράς κατά τον χώρο τέλεσης έργων, με την - καθόλη διάρκεια του έργου - προστασία και ατέρμονη λειτουργία των εργασιών.
- Μέριμνα για πρόβλεψη προγράμματος διαδικασιών και τεχνικών ανάλυσης απρόοπτων συμβάντων και χρονισμό παράλληλης λειτουργίας συνεργείων για όλες τις απαιτούμενες φάσεις του έργου.
- Διενέργεια πολλαπλών καταδυτικών εργασιών και άλλων εργασιών εντός του θαλάσσιου στοιχείου με ελαττωμένη ορατότητα εξ αιτίας της θολερότητας.
- Πρόωρη γνωστοποίηση υδρογραφικής υπηρεσίας και πολεμικού ναυτικού με παράλληλη καταγραφή στους ναυτικούς χάρτες.

## Κεφάλαιο 5: Αναλυτικό μέρος υπολογισμών.

### 5.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα αναλυθεί η μεθοδολογία με την οποία γίνεται η υδραυλική διαστασιολόγηση ενός συστήματος διάθεσης υγρών αποβλήτων που φέρει πολλαπλά ακροφύσια. Η λειτουργία του συστήματος αυτού, περιλαμβάνει τη ροή των υγρών αποβλήτων με αφετηρία το φρεάτιο φόρτισης, στη συνέχεια μέσω του αγωγού προσαγωγής οδηγούνται στον διαχυτήρα που φέρει τους ανυψωτήρες στους οποίους βρίσκονται τα ακροφύσια εκροής από όπου πραγματοποιείται η εκροή των λυμάτων στον υδάτινο αποδέκτη (σχήμα 5.3)

Τα οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα που παράγονται, μεταφέρονται συνήθως σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, όπου πραγματοποιείται η επεξεργασία τους, έως ότου με υποβρυχίους αγωγούς καταλήγουν σε υδάτινους αποδέκτες. Χρήσιμο σημείο αναφοράς στη διαδικασία αυτή αποτελεί η ορθή διαστασιολόγηση του διαχυτήρα καθώς, με αυτόν τον τρόπο ολοκληρώνεται με ομαλότερο τρόπο η αφομοίωση τους από την θάλασσα, το ποτάμι, ή την λίμνη που τυχαίνει να ορίζεται ως ο υδάτινος αποδέκτης της εκάστοτε περίπτωσης.



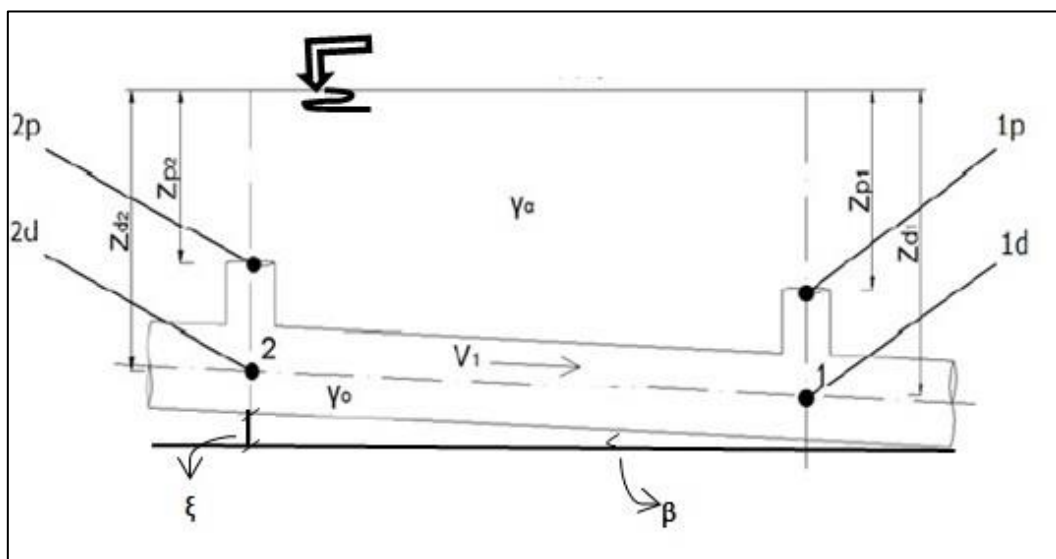
Σχήμα 5.1: Διάταξη του συστήματος και η γραμμή ενέργειας

Παραπάνω (σχήμα 5.1), έχουμε σε διαμήκη τομή το έργο διάθεσης αποβλήτων, με τη στάθμη φρεατίου φόρτισης  $H_{\phi}$  αριστερά, τον αγωγό προσαρμογής και τελικά τον διαχύτη στο δεξιό τμήμα του σχήματος. Θεωρώντας ότι έχουμε επίπεδο αναφοράς το επίπεδο της θαλάσσιας επιφάνειας, η κόκκινη γραμμή ανωτέρω αντιπροσωπεύει την γραμμή ενέργειας του συστήματος, με την κλίση αυτής να εκφράζει την μείωση του υδραυλικού φορτίου εξ αιτίας των απωλειών που προκύπτουν κατά μήκος της ροής του υγρού. Η ονομασία των ακροφυσίων προκύπτει από τα κατάντη προς τα ανάντη, με το

πιο απομακρυσμένο κατάντη να λαμβάνει την ονομασία «ακροφύσιο Νο1» και το πλέον ανάντη να ονομάζεται «ακροφύσιο Νο21», σχετικά με τη περίπτωση μελέτης για διαχυτήρα με είκοσι ένα ακροφύσια.

Ως παραδοχές του προβλήματος αυτού δεχόμαστε ότι το υδραυλικό φορτίο στο πλέον απομακρυσμένο κατάντη ακροφύσιο επαρκεί προκειμένου να έχει την ικανότητα η ροή να φτάσει σε αυτό και κατά συνέπεια να πραγματοποιηθεί η εκροή των λυμάτων από αυτό. Ακόμη, αυτό το διαθέσιμο υδραυλικό φορτίο προκύπτει από την εφαρμογή της εξίσωσης ενέργειας μεταξύ της θέσης στον άξονα του διαχύτη και του ακροφυσίου εκροής (σχέση 5.1 και σχήμα 5.2).

Για την ορθή διαστασιολόγηση του όλου συστήματος και την αποφυγή αστοχιών λειτουργίας, η διαδικασία της διαστασιολόγησης έχει αφετηρία το πλέον απομακρυσμένο σημείο του συστήματος, δηλαδή το τελευταίο κατάντη ακροφύσιο (No1), όπου όπως προαναφέρθηκε θα πρέπει να διαθέτει επαρκές υδραυλικό φορτίο για να καταφέρει να εκρέει το υγρό. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται εφικτό αυτό είναι η εφαρμογή της εξίσωσης ενέργειας μεταξύ του άξονα του διαχύτη και του ακροφυσίου εκροής στη διατομή του ακροφυσίου No1 ώστε να προκύψει το διαθέσιμο υδραυλικό φορτίο στο στόμιο εκροής.



Σχήμα 5.2: Λεπτομέρεια διαχύτη στα δύο τελευταία κατάντη ακροφύσια

Παραπάνω (σχήμα 5.2) έχουμε τη λεπτομέρεια του κατάντη άκρου του διαχύτη, όπου υπάρχουν το δύο τελευταία ακροφύσια.. Η εξίσωση ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί αρχικά αφορά τις θέσεις  $1d$  και  $1p$ , όπου το 'd' αναφέρεται στον άξονα του διαχύτη (*diffuser*) και το 'p' στο στόμιο (*port*). Εντός του διαχυτήρα ρέουν τα λύματα με ειδικό βάρος  $\gamma_o$  και το υδάτινο περιβάλλον έχει ειδικό βάρος  $\gamma_a$ . Το  $z_{d1}$  αναφέρεται στο βάθος στη πρώτη διατομή του διαχυτήρα και κατά τον άξονα αυτού,



ενώ το  $z_{p1}$  αναφέρεται στην ίδια διατομή αλλά στο σημείο που υπάρχει το στόμιο του ακροφυσίου. Επιπλέον, με τη γωνία  $\beta$  συμβολίζουμε τη κλίση του διαχυτήρα και με τον όρο  $\zeta$  την υψομετρική διαφορά λόγω κλίσης από διατομή σε διατομή, και εφόσον τα ακροφύσια τοποθετούνται σε ίσες αποστάσεις ανά μεταξύ τους κατά μήκος του διαχυτήρα, θα έχουμε ότι  $\zeta = \sin\beta \cdot \Delta l$ .

Το υδραυλικό φορτίο του ακροφυσίου No1 επιλέγεται εξ αρχής από τον μελετητή. Συγκεκριμένα, η τιμή που λαμβάνει ταυτίζεται με το ύψος των κυματισμών, καθώς η στάθμη της θάλασσας λόγω των κυματισμών ή της παλίρροιας δύναται να ανέλθει. Κατά αυτόν τον τρόπο, το διαθέσιμο υδραυλικό φορτίο στο ακροφύσιο No1 ορίζεται ως  $E_p(I) = H_w$ .

## 5.2 Βασικές αξιοποιημένες εξισώσεις

### 5.2.1 Εξίσωση προσδιορισμού του διαθέσιμου ύψους ενέργειας τοποθετημένο στο τελευταίο ακροφύσιο διάθεσης $E_p(1)$ .

Ξεκινώντας, γίνεται εφαρμογή της εξίσωσης ενέργειας στη τελευταία διατομή (σχήμα 5.2) που συμβαίνει εκροή υγρών αποβλήτων και ισχύει ότι (Στάμου Α., 2015):

$$H_d(I) = H_p(I) + h_m(I) = H_p(I) + k_m \frac{V_p^2(1)}{2g} \quad (5.1)$$

Όπου:

- $H_d(I)$ , η ολική υδραυλική ενέργεια στον άξονα του διαχυτήρα στη πρώτη διατομή.
- $H_p(I)$ , η ολική υδραυλική ενέργεια στο ακροφύσιο του διαχυτήρα στη πρώτη διατομή.
- $h_m(I)$ , οι τοπικές απώλειες μεταξύ άξονα διαχυτήρα και ακροφυσίου στη πρώτη διατομή.
- $k_m$ , ο συνολικός συντελεστής τοπικών απωλειών από τον άξονα του διαχυτήρα μέχρι το ακροφύσιο.
- $V_p$ , η ταχύτητα με την οποία εξέρχονται τα λύματα εκτός του ακροφυσίου στη πρώτη διατομή.
- $g$ , ο συντελεστής επιτάχυνσης βαρύτητας λαμβανόμενος ίσος με  $9.81 \text{ m/s}^2$ .

Καθώς και αναλυτικότερα η εξίσωση ενέργειας στη πρώτη διατομή ανάμεσα στον άξονα του διαχυτήρα και το στόμιο του ακροφυσίου είναι:

$$-z_d(I) + \frac{P_d(1)}{\gamma_o} + \frac{V_d^2(1)}{2g} = -z_p(I) + \frac{P_p(1)}{\gamma_o} + k_m \frac{V_p^2(1)}{2g} \quad (5.2)$$

Με:

- $-z_d(I)$ , το βάθος του άξονα του διαχυτήρα στην πρώτη διατομή.
- $P_d(I)$ , η πίεση στον άξονα του διαχυτήρα στη πρώτη διατομή.
- $\gamma_o$ , το ειδικό βάρος των υγρών αποβλήτων.
- $V_d(I)$ , η ταχύτητα στον άξονα του διαχυτήρα στην πρώτη διατομή.
- $g$ , η επιτάχυνση βαρύτητας.
- $z_p(I)$ , το βάθος στο σημείο εκροής στη πρώτη διατομή.
- $P_p(I)$ , η πίεση στο σημείο εκροής στη πρώτη διατομή.
- $k_m$ , ο συνολικός συντελεστής τοπικών απωλειών από τον άξονα του διαχυτήρα μέχρι το ακροφύσιο.
- $V_p(I)$ , η ταχύτητα στο σημείο διάθεσης αποβλήτων στην πρώτη διατομή.

Γίνεται η θεώρηση πως η στάθμη της θάλασσας είναι το επίπεδο αναφοράς. Ακόμη, οι απώλειες ανάμεσα στον διαχυτήρα και το ακροφύσιο No1 συμβολίζονται με  $h_m(I)$  και υπολογίζονται βάσει του γινομένου του ολικού συντελεστή τοπικών απωλειών  $k_m$  επί το ύψος της κινητικής ενέργειας. Κατά συνέπεια, το διαθέσιμο ύψος ενέργειας στο ακροφύσιο εκροής No1  $E_p(I)$  εκτιμάται από:

$$E_p(I) = \left[ -z_d(1) + \frac{P_d(1)}{\gamma_o} + \frac{V_d^2(1)}{2g} \right] - \left[ -z_p(1) + \frac{P_p(1)}{\gamma_o} \right] = (I+k_m) \frac{V_p^2(1)}{2g} \quad (5.3)$$

Στη συνέχεια, ακολουθεί η εξίσωση προσδιορισμού του διαθέσιμου ύψους ενέργειας τοποθετημένο στο προτελευταίο ακροφύσιο διάθεσης  $E_p(2)$ . Εάν αναγάγουμε την προηγούμενη εξίσωση (5.3) στη περίπτωση της δεύτερης διατομής, προκύπτει ότι:

$$E_p(2) = \left[ -z_d(2) + \frac{P_d(2)}{\gamma_o} + \frac{V_d^2(2)}{2g} \right] - \left[ -z_p(2) + \frac{P_p(2)}{\gamma_o} \right] = (I+k_m) \frac{V_p^2(2)}{2g} \quad (5.4)$$

Εάν αφαιρέσουμε την εξίσωση 5.3 από την εξίσωση 5.4 έχουμε ότι:

$$E_p(2) - E_p(1) = H_d(2) - H_d(1) - \left[ -z_p(2) + \frac{P_p(2)}{\gamma_o} \right] + \left[ -z_p(1) + \frac{P_p(1)}{\gamma_o} \right] \quad (5.5)$$

Με εφαρμογή της εξίσωσης ενέργειας μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης διατομής του διαχυτήρα προκύπτει:

$$H_d(2) = -z_d(2) + \frac{P_d(2)}{\gamma_o} + \frac{V_d^2(2)}{2g} = H_d(1) + h_f(1) \quad (5.6)$$

Με τον όρο  $h_f(1)$  να αντιπροσωπεύει τις γραμμικές απώλειες μεταξύ πρώτου και δεύτερου τμήματος του διαχυτήρα. Προς υπολογισμό αυτών, γίνεται χρήση της εξίσωσης *Manning* ή της εξίσωσης *Darcy-Weisbach*:

$$V_d(1) = \frac{1}{n(1)} R(1)^{2/3} \sqrt{\frac{h_f(1)}{dx}} \quad \text{ή} \quad h_f(1) = \frac{V_d^2(1) n^2(1)}{R(1)^{4/3}} dx \quad (5.7)$$

$$\text{ή} \quad h_f(1) = f \frac{dx}{D_d(1)} \frac{V_d^2(1)}{2g} \quad (5.8)$$

Με:

- $R(1) = (1/4) D_d(1)$ , η υδραυλική ακτίνα του αγωγού (5.9)
- $n(1)$ , ο συντελεστής *Manning* στη πρώτη διατομή με μονάδα μέτρησης  $s \times m^{-1/3}$
- $f$ , ο συντελεστής τριβών

Από τις εξισώσεις 5.5 και 5.6 έχουμε:

$$E_p(2) - E_p(1) = h_f(1) - \left[ -z_p(2) + \frac{P_p(2)}{\gamma_o} \right] + \left[ -z_p(1) + \frac{P_p(1)}{\gamma_o} \right]$$

$$\text{ή} \quad E_p(2) - E_p(1) = h_f(1) - \left[ -z_p(2) + \frac{\gamma_\alpha z_p(2)}{\gamma_o} \right] + \left[ -z_p(1) + \frac{\gamma_\alpha z_p(1)}{\gamma_o} \right]$$

$$\text{ή} \quad E_p(2) = E_p(1) + h_f(1) + [z_p(1) - z_p(2)] \left( \frac{\rho_\alpha - \rho_o}{\rho_o} \right) \quad (5.10)$$

Επομένως, βάσει της σχέσης 5.10 υπολογίζεται το διαθέσιμο ύψος ενέργειας για το προτελευταίο ακροφύσιο εκροής (No2).

### 5.3 Μεθοδολογία σχεδιασμού

Κατά την μελέτη αυτή ακολουθούμε τα εξής επτά βήματα:

α) Βήμα 1: Γίνεται θεώρηση μίας αρχικής τιμής του  $E_p(I)$  και γίνεται υπολογισμός των υδραυλικών χαρακτηριστικών του τελευταίου στομίου, ήτοι:

- Ταχύτητα εκροής από το ακροφύσιο βάσει της εξίσωσης 5.3:

$$V_p(I) = \sqrt{\frac{2gE_p(1)}{(1+k_m)}} \quad (5.11)$$

- Συνολική ενέργεια του ακροφυσίου βάσει της εξίσωσης 5.2:

$$H_p(I) = z_p(I) + \frac{V_p^2(1)}{2g} + \frac{z_p(1)\gamma_\alpha}{\gamma_o} \quad (5.12)$$

- Παροχή ακροφυσίου  $Q_p(I)$  βάσει της εξίσωσης  $Q_p = C_d A_p V_p$

$$Q_p(I) = C_d(I) \frac{\pi \times D_p^2(1)}{4} V_p(1) \quad (5.13)$$

Όπου  $C_d$  είναι ο συντελεστής συστολής, με τον υπολογισμό αυτού να πραγματοποιείται από:

$$C_d(I) = 0.63 - 0.58 \frac{V_d^2(1)}{2gE_p(1)}, \text{ για απότομα ή κάθετα άκρα στομίων, } (5.14\alpha)$$

όπως ισχύει στην περίπτωση μας, ή

$$C_d(I) = 0.975 \left[ 1 - \frac{V_d^2(1)}{2gE_p(1)} \right]^{3/8}, \text{ για στρογγυλεμένα άκρα } (5.14\beta)$$

Κατά τη μεθοδολογία, στον υπολογισμό της παροχής θα γίνει υπόθεση μίας αρχικής τιμής  $C_d(I)$  και η τελική τιμή αυτής θα προκύψει από δοκιμές, με κριτήριο να επαληθεύεται η εξίσωση 5.14α, αφού πρώτα γίνει προσδιορισμός της ταχύτητας στη πρώτη διατομή του διαχυτήρα.

β) Βήμα 2: Γίνεται υπολογισμός της παροχής και των υδραυλικών χαρακτηριστικών του διαχυτήρα ανάντη της πρώτης διατομής, που αναφέρεται στο τελευταίο ακροφύσιο και γίνεται προσδιορισμός της τελικής τιμής του  $C_d(I)$ .

- Για την παροχή του διαχυτήρα στη πρώτη διατομή, βάσει της εξίσωσης συνεχείας έχουμε ισότητα της παροχής στο ακροφύσιο με την παροχή στο τμήμα 1-2

του διαχυτήρα  $Q_d(1)$ , ανάμεσα στο τελευταίο στόμιο Νο1 και το προτελευταίο στόμιο Νο2, ήτοι:

$$Q_d(1) = Q_d(2) \quad (5.15)$$

- Ταχύτητα ροής στη πρώτη διατομή του διαχυτήρα:

$$V_d(1) = \frac{4Q_d(1)}{\pi D_d^2(1)} \quad (5.16)$$

- Με βάσει την παραπάνω εξίσωση και το αποτέλεσμα αυτής, από την σχέση 14α γίνεται προσδιορισμός του  $C_d(1)$  με δοκιμές προκειμένου να επαληθεύεται.

- Γίνεται υπολογισμός της ολικής υδραυλικής ενέργειας στη πρώτη διατομή του διαχυτήρα:

$$H_d(1) = H_p(1) + k_m \frac{V_p^2(1)}{2g} \quad (5.17)$$

Σημειώνεται εδώ ότι, ο όρος  $k_m \frac{V_p^2(1)}{2g}$  αντιπροσωπεύει το σύνολο των γραμμικών και τοπικών απωλειών  $h_f$  και  $h_t$  αντίστοιχα στο τμήμα μελέτης, συγκεκριμένα:

$$h_f + h_t = \left( f \frac{L}{D_p} \right) \frac{V_p^2}{2g} + k_t \frac{V_p^2}{2g} = k_f \frac{V_p^2}{2g} + k_t \frac{V_p^2}{2g} = (k_f + k_t) \frac{V_p^2}{2g} = k_m \frac{V_p^2}{2g}$$

Με :

- $L$ , να ορίζεται το μήκος του διαχυτήρα στο τμήμα μελέτης.
- $k_f$ , ο συντελεστής γραμμικών απωλειών λόγω τριβών.
- $k_t$ , ο συντελεστής τοπικών απωλειών.

γ) Βήμα 3: Γίνεται υπολογισμός του διαθέσιμου πιεζομετρικού ύψους στο προτελευταίο ακροφύσιο διάθεσης, όπως παρακάτω:

$$E_p(2) = E_p(1) + h_f(1) + [z_p(1) - z_p(2)] \left( \frac{\rho_a - \rho_o}{\rho_o} \right) \quad (5.10)$$

$$\text{με } h_f(1) = f \frac{dx}{D_d(1)} \frac{V_d^2(1)}{2g} \quad (5.8)$$

δ) Βήμα 4: Γίνεται υπολογισμός της παροχής και των υδραυλικών χαρακτηριστικών του διαχυτήρα ανάντη της θέσης 2 που αντιστοιχεί στο προτελευταίο ακροφύσιο και μετέπειτα προσδιορίζουμε την τελική τιμή του  $C_d(2)$ .

Επομένως, γίνεται εφαρμογή της εξίσωσης συνέχειας ανάμεσα στο δεύτερο ακροφύσιο και στο τμήμα μεταξύ της δεύτερης και της τρίτης διατομής του διαχυτήρα, συνεπώς έχουμε:

$$Q_d(2) = Q_d(1) + Q_p(2) \quad (5.18)$$

$$V_d(2) = \frac{4Q_d(2)}{\pi D_d^2(2)} \quad (5.16)$$

$$C_d(2) = 0.63 - 0.58 \frac{V_d^2(2)}{2gE_p(2)} \quad (5.14\alpha)$$

$$H_d(2) = H_p(2) + k_m \frac{V_p^2(2)}{2g} \quad (5.17)$$

ε) Βήμα 5: Γίνεται επανάληψη των βημάτων 3 και 4 για το πλήθος των επόμενων θέσεων έως ότου και το πρώτο στόμιο. Το σύνολο των υπολογισμών επαναλαμβάνεται έως ότου «κλείσουν» οι υπολογισμοί στην επιθυμητή συνολική παροχή.

στ) Βήμα 6: Γίνονται έλεγχοι ορθότητας των αποτελεσμάτων, ως εξής:

- Η διάμετρος που δύναται να έχουν τα ακροφύσια να ισούται το πολύ με  $0.15 m$ , προς αποφυγή εμφράξεων και την ικανότητα διενέργειας καθαρισμού.
- Η συνολική επιφάνεια των ακροφυσίων πρέπει να είναι μικρότερη της επιφάνειας διατομής του διαχυτήρα, με το τον λόγο να λαμβάνει τιμές μικρότερες της τιμής  $0.7$ .
- Χρήζει η απόσταση ανάμεσα στα ακροφύσια να είναι μεγαλύτερη από  $10 d_o$ , προκειμένου η ροή από ένα ακροφύσιο να μην αλληλεπιδρά με τη ροή γειτονικών ακροφυσίων.
- Οφείλουμε να σχεδιάσουμε τον διαχυτήρα έτσι ώστε, η μέγιστη ταχύτητα σε αυτόν να είναι μικρότερη της τάξης των  $2 m/s$  για να έχουμε μικρές απώλειες ενέργειας, καθώς και να είναι μεγαλύτερη από  $0.5 m/s$  για να μην

εμφανιστούν καθιζήσεις αιωρούμενων στερεών που περιέχονται στα λύματα.

- Είναι σημαντικό οι παροχές των ακροφυσίων να μην διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από 0.02% .
- Ακόμη ο αριθμός *Froude* στα ακροφύσια πρέπει να ξεπερνάει την τιμή 1.

ζ) Βήμα 7: Πραγματοποιείται υπολογισμός της στάθμης του φρεατίου φόρτισης.

Λαμβάνοντας υπόψη τα εξής:

- Θέτουμε το μήκος του αγωγού διάθεσης ίσο με  $X_s$ .
- Το μήκος του διαχυτήρα ίσο με  $L_d$ .
- Ως αριθμό ακροφυσίων έχουμε τον όρο  $N$ .
- Τοποθετούμε το πιο απομακρυσμένο ακροφύσιο από το φρεάτιο φόρτισης στο τέλος του διαχυτήρα.

Έτσι, η απόσταση κατά την οποία τοποθετείται το τελευταίο στόμιο, άρα εκείνο που ευρίσκεται πλησιέστερα στο φρεάτιο φόρτισης, θα απέχει  $X = X_s + \Delta x$ , το αμέσως επόμενο αυτού θα απέχει  $X = X_s + 2\Delta x$ , και ούτω κάθε εξής μέχρι το πρώτο στόμιο στο κατάντη μέρος του διαχυτήρα όπου θα απέχει απόσταση  $X = X_s + N\Delta x = X_s + L_d$ .

Με σκοπό να γίνει υπολογισμός της στάθμης των επεξεργασμένων νερών εντός του φρεατίου φόρτισης  $H_\varphi$ , θα γίνει εφαρμογή της εξίσωσης ενέργειας ανάμεσα στο φρεάτιο και το πρώτο ανάντη ακροφύσιο, όπου εκρέει σε βάθος  $z_p(I)$ . Συγκεκριμένα:

$$H_\varphi = z_\varphi + \frac{P_\varphi}{\gamma_o} + \frac{V_\varphi^2}{2g} = z_\varphi = -z_p(I) + \frac{P_p(1)}{\gamma_o} + \frac{V_p^2(1)}{2g} + \Delta H_{\varphi-p1}$$

$$\text{ή} \quad H_\varphi = -z_p(I) + \frac{\gamma_\alpha z_p(1)}{\gamma_o} + \frac{V_p^2(1)}{2g} + \Delta H_{\varphi-p1}$$

$$\text{ή} \quad H_\varphi = \left( \frac{\gamma_\alpha}{\gamma_o} - 1 \right) z_p(I) + \frac{V_p^2(1)}{2g} + \Delta H_{\varphi-p1}$$

$$\text{ή} \quad H_\varphi = \Delta H_{\varphi-p1} + \alpha \times z_p(I) + \frac{V_p^2(1)}{2g} \quad (5.19)$$

με:

- $\alpha$ , ο συντελεστής άλφα, οριζόμενος ως  $\alpha = \left( \frac{\gamma_\alpha}{\gamma_o} - 1 \right)$  (5.20)

$$\bullet \quad \Delta H_{\varphi-p1} = \Delta H_{\alpha\gamma} + \Delta H_d + k_m \frac{V_p^2(1)}{2g}, \quad (5.21)$$

οι απώλειες ενέργειας από το φρεάτιο φόρτισης έως ότου και το πρώτο ανάντη ακροφύσιο.

- $P_\varphi$ , η πίεση στη στάθμη του φρεατίου φόρτισης.
- $V_\varphi$ , η ταχύτητα των λυμάτων στην στάθμη του φρεατίου φόρτισης.
- $z_\varphi$ , το βάθος στις στάθμης του φρεατίου φόρτισης.
- $\gamma_\alpha$ , το ειδικό βάρος της θάλασσας.
- $\gamma_o$ , το ειδικό βάρος των λυμάτων.

Ο όρος  $\Delta H_{\varphi-p1}$  εκφράζει τις ολικές απώλειες, ήτοι τις γραμμικές και τις τοπικές στον αγωγό διάθεσης των σημείων με αφετηρία το φρεάτιο φόρτισης έως και την αρχή του διαχυτήρα. Ύστερα, γίνεται προσδιορισμός των ολικών απωλειών ενέργειας στον αγωγό προσαρμογής  $\Delta H_{\alpha\gamma}$ :

$$\Delta H_{\alpha\gamma} = h_{f, \alpha\gamma} + h_{m, \alpha\gamma} = f \frac{X_s}{D_{\alpha\gamma}} \frac{V_{\alpha\gamma}^2}{2g} + k_{m-\alpha\gamma} \frac{V_{\alpha\gamma}^2}{2g} = \left( f \frac{X_s}{D_{\alpha\gamma}} + k_{m-\alpha\gamma} \right) \frac{V_{\alpha\gamma}^2}{2g} \quad (5.22)$$

Εν συνεχεία, ως  $\Delta H_d$  ορίζουμε τις ολικές απώλειες ενέργειας, αποτελούμενες από τις γραμμικές και τις τοπικές στον διαχυτήρα, που είναι ίσες με το σύνολο των απωλειών καθόλα τα τμήματα του διαχυτήρα έως ότου και το πρώτο ακροφύσιο στο πέρας του διαχυτήρα.

Κατά επέκταση, η εξίσωση 5.19 λαμβάνει τη μορφή:

$$\Delta H_{\varphi-p1} = \Delta H_{\alpha\gamma} + \Delta H_d + k_m \frac{V_p^2(1)}{2g} + \frac{V_p^2(1)}{2g} + \alpha \times z_p(1) \quad (5.23)$$

Αλλιώς, έχουμε τη δυνατότητα να κάνουμε χρήση της εξίσωσης:

$$H_\varphi = \Delta H_{\alpha\gamma} + \Delta H_d + (1+k_m) \frac{V_p^2(1)}{2g} + \alpha \times z_p(1) \quad (5.24)$$

όπου η παραπάνω, με βάσει την εξίσωση 5.3:

$$E_p(1) = (1+k_m) \frac{V_p^2(1)}{2g} \quad (5.3)$$

Λαμβάνει τη μορφή:

$$H_\varphi = \Delta H_{\alpha\gamma} + \Delta H_d + E_p(1) + \alpha \times z_p(1) \quad (5.25)$$



ή με άλλο τρόπο:

$$H_{\varphi} = \Delta H_{αγ} + H_{αρχή, διαχ}, \text{ όπου:}$$

$$H_{αρχή, διαχ} = \Delta H_d + E_p(I) + \alpha \times z_p(I) \quad (5.25α)$$

Με την ανωτέρω να υπολογίζει την ενέργεια στην αρχή του διαχυτήρα  $H_{αρχή, διαχ}$ .

Η ενέργεια που υπάρχει στο φρεάτιο φόρτισης  $H_{\varphi}$  οφείλει να έχει τιμή τέτοια ώστε:

- Να εκτοπίσει τις ολικές απώλειες ενέργειας στον αγωγό διάθεσης  $\Delta H_{αγ}$ , που λαμβάνουν χώρα από το φρεάτιο φόρτισης που έχει τιμή  $X=0$  έως την αρχή του διαχυτήρα που έχει τιμή  $X = X_s$ , καθώς και να αντιμετωπίσει τις ολικές απώλειες στον διαχυτήρα  $\Delta H_d$ , που τοποθετούνται από τη αρχή του διαχυτήρα με  $X = X_s$  έως ότου και το πέρας του με  $X = X_s + L_d$ , που ευρίσκεται το πρώτο ακροφύσιο κατά τον άξονα του διαχυτήρα.
- Να προσδώσει στη ροή που εξέρχεται του ακροφυσίου την απαραίτητη ενέργεια προκειμένου να αντιμετωπίσει τις απώλειες ενέργειας από τον άξονα στο πέρας του διαχυτήρα μέχρι το πρώτο στόμιο  $\left(k_m \frac{V_p^2(1)}{2g}\right)$ , όπως και να εξέλθει του ακροφυσίου  $\left(\frac{V_p^2(1)}{2g}\right)$  με κατοχυρωμένη ταχύτητα διάθεσης και να προσδίδει τα ερείσματα για την επιθυμητή παροχή με τελικό χαρακτηριστικό να υπερνικήσει την «αντίσταση» από τη διαφορά πυκνότητας του αποδέκτη  $(\alpha \times z_p(I))$ .

Τελικά, σημειώνεται ότι σε περιπτώσεις όπου μας δίνεται ο συντελεστής τριβών κατά *Manning* ( $n$ ) πραγματοποιείται προσδιορισμός της τιμής του συντελεστή τριβών  $f$  από την παρακάτω εξίσωση, παρέχοντας την ευχέρεια να μην χρειάζεται ο υπολογισμός του με δοκιμές και η χρήση του διαγράμματος *Moody*:

$$f = \frac{8 \times g \times n^2}{R_d^{1/3}} = \frac{8 \times g \times n^2}{(0.25 \times D_d)^{1/3}} \quad (5.26)$$

Όπου  $R_d$  η υδραυλική ακτίνα του διαχύτη που ισούται με την διάμετρο του επί τον συντελεστή 0.25.

## 5.4 Υδραυλικός σχεδιασμός πολλαπλού διαχύτη υγρών αποβλήτων σε περιβάλλον Microsoft Excel 2010.

### 5.4.1 Εισαγωγικά

α) Αρχικά, παρουσιάζουμε τα δεδομένα πάνω στα οποία θα στηριχτούν οι υπολογισμοί αναφορικά με τη μελέτη περίπτωσης διαχύτη  $N = 21$  ακροφυσίων και διερχόμενης παροχής  $Q\phi = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$ :

Περιγραφή	Όρος	Μέγεθος	Μονάδα μέτρησης
Απόσταση αρχής διαχυτήρα από την ακτή	$X_s$	1500	m
Μήκος διαχυτήρα	$L_d$	63.00	m
Διάμετρος διαχυτήρα κατάντη	$D_d(1)$	0.75	m
Διάμετρος διαχυτήρα ενδιάμεσα	$D_d(2)$	0.50	m
Διάμετρος διαχυτήρα ανάντη	$D_d(3)$	0.33	m
Διάμετρος ακροφυσίων	$d_o$	0.10	m
Μήκος ακροφυσίων	$l$	1.00	m
Αριθμός ακροφυσίων (μεταβαλλόμενο)	$N$	21	-
Βάθος άξονα διαχυτήρα στη θέση εκροής ανάντη ( $\beta=0^\circ$ )	$Z_d(1)$	37.50	m
Βάθος άξονα διαχυτήρα στη θέση εκροής ενδιάμεσα ( $\beta=0^\circ$ )	$Z_d(2)$	25.00	m
Βάθος άξονα διαχυτήρα στη θέση εκροής κατάντη ( $\beta=0^\circ$ )	$Z_d(3)$	16.50	m
Βάθος διατομής εξόδου ακροφυσίου ανάντη ( $\beta=0^\circ$ )	$Z_p(1)$	36.50	m
Βάθος διατομής εξόδου ακροφυσίου ενδιάμεσα ( $\beta=0^\circ$ )	$Z_p(2)$	24.00	m
Βάθος διατομής εξόδου ακροφυσίου κατάντη ( $\beta=0^\circ$ )	$Z_p(3)$	15.50	m
Συνολικός συντελεστής τοπικών απωλειών από τον άξονα του διαχυτήρα μέχρι το ακροφύσιο	$k_m$	3.00	-
Συνολικός συντελεστής τοπικών απωλειών από φρεάτιο φόρτισης μέχρι το πλέον κατάντι ακροφύσιο ( $NoI$ )	$k_{m-\alpha\gamma}$	0.00	-
Συντελεστής τριβών <i>Manning</i>	$n$	0.015	$s \text{ m}^{-1/3}$
Πυκνότητα θάλασσας	$\rho_\alpha$	1025	$\text{kg}/\text{m}^3$
Πυκνότητα υγρών αποβλήτων	$\rho_o$	1000	$\text{kg}/\text{m}^3$
Αρχική διερχόμενη παροχή υγρών αποβλήτων	$Q\phi$	0.806	$\text{m}^3/\text{s}$
Επιτάχυνση βαρύτητας	$g$	9.81	$\text{m}/\text{s}^2$
Οριζόντια απόσταση στομίων	$\Delta x$	3.00	m
Συντελεστής τριβών	$f$	0.032	-
Μέση εκκρινόμενη παροχή ακροφυσίου στη πρώτη διατομή	$Q_p(1)$	0.038	$\text{m}^3/\text{s}$
Μέση ταχύτητα διάθεσης ακροφυσίου στη πρώτη διατομή	$V_p(1)$	6.606	m/s
Συντελεστής άλφα	$\alpha$	0.025	-
Φαινόμενη επιτάχυνση της βαρύτητας	$g'$	0.245	$\text{m}/\text{s}^2$
Αριθμός <i>Froude</i> για τη μέση ταχύτητα της εκροής στη πρώτη διατομή	$F(1)$	38.730	-

Συντελεστής συστολής στη πρώτη διατομή	$C_d(1)$	0.809	-
Διαθέσιμο ύψος ενέργειας στο ακροφύσιο διάθεσης στη πρώτη διατομή	$E_p(1)$	30.00	m
Ειδικό βάρος θάλασσας	$\gamma_a$	10055.250	kg/(m <sup>2</sup> s <sup>2</sup> )
Ειδικό βάρος υγρών αποβλήτων	$\gamma_o$	9810.000	kg/(m <sup>2</sup> s <sup>2</sup> )
Γωνία διαχυτήρα-οριζόντιου άξονα σε μοίρες	$\beta$	0.000	Degrees
Γωνία διαχυτήρα-οριζόντιου άξονα σε ακτίνια	$\beta$	0.000	Radians
Εφαπτομένη της γωνίας του διαχυτήρα-οριζόντιο άξονα σε μοίρες	$\tan\beta$	0.000	Degrees
Βάθος άξονα διαχυτήρα στη θέση εκροής για την πρώτη διατομή	$z_d$	16.50	m
Κατακόρυφη υψομετρική ανύψωση διαχυτήρα από διατομή σε διατομή	$\xi$	0.000	m

Πίνακας 5.1: Δεδομένα υπολογισμών

β) Στη συνέχεια, παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες γενικές πρώτες κατευθυντήριες θεωρητικές οδηγίες:

- Πρώτιστα, ξεκινάμε τη συμπλήρωση του φύλλου εργασίας με τη παρουσίαση των ανωτέρω δεδομένων και υλοποιώντας τους αρχικούς υπολογισμούς για τα,  $Q_p$ ,  $V_p$ ,  $\alpha$ ,  $g'$ ,  $F$ .
- Έπειτα, γίνεται πλήρωση των πρώτων έξι στηλών. Κατά την πρώτη συμπληρώνουμε την αρίθμηση των ακροφυσίων με αρχή το πλέον απομακρυσμένο κατάντη ακροφύσιο και στη δεύτερη την απόσταση από την ακτή. Επομένως, στις στήλες τρία και τέσσερα τοποθετούμε τα υψόμετρα του άξονα του διαχυτήρα και της εξόδου των ακροφυσίων αντίστοιχα, και στις στήλες πέντε και έξι σημειώνουμε τις διαμέτρους του διαχυτήρα και των ακροφυσίων αντίστοιχα.
- Στη συνέχεια, θεωρούμε μια αρχική τιμή για το  $C_d(1)$  και το  $E_p(1)$ , έστω  $C_d(1) = 0.809$  και  $E_p(1) = 30m$  για τις στήλες επτά και οκτώ αντίστοιχως και με αυτόν τον τρόπο συμπληρώνουμε την πρώτη γραμμή υπολογισμών που αναφέρεται στο πλέον κατάντη ακροφύσιο, με την τοποθέτηση της ορθής τιμής υπολογισμού του  $C_d(1)$  στη στήλη δεκαπέντε. Συγκεκριμένα, από τη στήλη εννιά έως την δεκατέσσερα έχουμε με αύξουσα σειρά τους όρους  $V_p(i)$ ,  $H_p(i)$ ,  $Q_p(i)$ ,  $Q_d(i)$ ,  $V_d(i)$   $H_d(i)$  για το πρώτο ακροφύσιο. Επίσης στις στήλες δεκαέξι, δεκαεπτά και δεκαοκτώ σημειώνουμε αντίστοιχα την κλίση του αγωγού σε ποσοστό επί τοις εκατό, τις απώλειες λόγω τριβών  $h_f(i)$  και την τιμή του αριθμού Froude.
- Ύστερα συνεχίζουμε στη δεύτερη γραμμή με την μείωση της τιμής για τον συντελεστή συστολής  $C_d(2)$  κατά 0.0001, δηλαδή  $C_d(2) = 0.809 - 0.0001$ , γίνεται

υπολογισμός του  $E_p(2)$  και κατά επέκταση όλης της δεύτερης γραμμής με όμοιο τρόπο, με επιφύλαξη να μπει η σωστή τιμή της παροχής στη στήλη δώδεκα.

- Συνοψίζοντας, συμπληρώνονται όλες οι γραμμές μέχρι την τελευταία με όμοιο τρόπο όπως παραπάνω ελέγχοντας να πληρούνται οι προϋποθέσεις που αναφέρονται στον Πίνακα 5.2 όπως ακολουθεί παρακάτω.

γ) Τέλος, βάσει της εξίσωσης 5.25 γίνεται υπολογισμός της στάθμης του φρεατίου φόρτισης για διερχόμενη παροχή  $Q_\varphi = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$ :

$$H_\varphi = \Delta H_{\alpha\gamma} + \Delta H_d + E_p(1) + \alpha \times z_p(1) \quad (5.25)$$

Όπου έχουμε ότι:

$$\Delta H_{\alpha\gamma} = h_{f, \alpha\gamma} + h_{m, \alpha\gamma} = f \frac{X_s}{D_{\alpha\gamma}} \frac{V_{\alpha\gamma}^2}{2g} + k_{m-\alpha\gamma} \frac{V_{\alpha\gamma}^2}{2g} = 0.041 \frac{1500 \times 1.8^2}{0.75 \times 2 \times 9.81} + 0 = 13.769 \text{ m}$$

$$\Delta H_d = \sum hf(i) = 0.413$$

$$E_p(1) = 30 \text{ m}$$

$$\alpha \times z_p(1) = 0.025 \times 15.5 \text{ m} = 0.387 \text{ m}$$

$$\text{Επομένως } H_\varphi = 13.769 \text{ m} + 0.413 + 30 \text{ m} + 0.387 \text{ m} = 44.569 \text{ m}$$

## 5.4.2 Αναλυτική επίλυση του προβλήματος.

Σκοπός της ενότητας αυτής είναι η ορθή διαστασιολόγηση αρχικώς ενιαίου διαχυτήρα και έπειτα διαχυτήρα που φέρει τρία τμήματα με διαφορετικές διαμέτρους με φορά από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη και κατεύθυνση από τα ανάντη προς τα κατόντη αντίστοιχα, βάση συγκεκριμένων προϋποθέσεων. Επίσης, η εργασία αυτή στοχεύει να πετύχει να εξυπηρετεί ο διαχυτήρας  $N$  αριθμό ακροφυσίων και να καλύπτει ένα εύρος παροχών πηγάζοντας από το φρεάτιο φόρτισης. Τονίζεται ότι τα φύλλα εργασιών που συνοδεύουν την διπλωματική εργασία με όλα τα περιεχόμενα τους αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα αυτής.

### 5.4.2.1 Διαχυτήρας με ενιαία διατομή

Σε μία αρχική απλουστευμένη μελέτη περίπτωση κυλινδρικού αγωγού με ενιαία διατομή κατά το μήκος του, το φύλλο εργασίας «ζητάει» την εισαγωγή της τιμής της αρχικής διερχόμενης παροχής με την οποία λειτουργεί το φρεάτιο φόρτισης το

οποίο τροφοδοτείται στη κεφαλή της εγκατάστασης διάθεσης λυμάτων, η οποία αρχικά λαμβάνεται ως  $Q_\phi = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$ , για το λόγο ότι αυτή η τιμή θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει τα λύματα που κατάγονται από μια περιοχή με λίγους οικισμούς. Με αυτόν τον τρόπο, το φρεάτιο γεμίζει με υγρά απόβλητα ως το σημείο που του επιτρέπει η χωρητικότητα του και έπειτα με την επέμβαση ενός φλοτέρ αποδεσμεύει τα συσσωρευμένα λύματα στον αγωγό μεταφοράς και έπειτα στον διαχύτη, που τα διαθέτει με τη σειρά του ομοιόμορφα κατανεμημένα κατά το μήκος του στο υδάτινο περιβάλλον. Για λόγους προστασίας ρύπανσης παραθαλάσσιων περιοχών και μάλιστα για την ποιότητα του νερού γίνεται χρήση σε μία μελέτη περίπτωσης κυλινδρικού αγωγού προσαρμογής με μήκος  $L_{pipe} = 1500 \text{ m}$  ο οποίος συνδέει ουσιαστικά τα εξερχόμενα εκ της Μονάδας Επεξεργασίας Λυμάτων προϊόντα με τον διαχυτήρα στον οποίο οφείλουμε την αραίωση και διάθεση αυτών, με τον ίδιο να διαθέτει  $N=4$  ακροφύσια και να έχει μήκος  $L_d = 12 \text{ m}$ . Στη συνέχεια, κατά μήκος του αγωγού η διάμετρος λαμβάνει τιμή  $D_{dl} = 0.33 \text{ m}$ , με τα ακροφύσια του να έχουν στη θυρίδα εκροής διάμετρο  $d_\theta = 0.1 \text{ m}$  και να απέχουν μεταξύ τους οριζόντια απόσταση  $\Delta x = 3 \text{ m}$ . Το βάθος στο οποίο τοποθετείται προκειμένου να εναρμονίζεται με τους κανονισμούς προστασίας υδάτινων αποδεκτών είναι  $Z_{dl} = 16.5 \text{ m}$ , και παραμένει σταθερό για γωνία μεταξύ του άξονα του διαχύτη και του οριζόντιου άξονα  $\beta = 0^\circ$  με μήκος ακροφυσίου  $l = 1 \text{ m}$ . Εννοείται ότι για την κάθε επιδεχόμενη κλίση του διαχυτήρα μεταβάλλεται αντίστοιχα και το βάθος του διαχυτήρα σε κάθε τμήμα του.

Έπειτα, με σκοπό την έναρξη της διαστασιολόγησης του υποβρυχίου αγωγού, πρώτιστα γίνεται υπολογισμός των βασικών υδραυλικών στοιχείων του διαχυτήρα για κάθε ακροφύσιο και των εκροών, ξεκινώντας από τα κατάντη, αναλυτικότερα βάσει μίας αρχικής υποθετικής τιμής για τον συντελεστή συστολής, έστω  $C_d(I) = 0.9$  και για την πρώτη τιμή του διαθέσιμου ύψους ενέργειας στο ακροφύσιο στην πρώτη διατομή  $E_p(I) = 25 \text{ m}$ , υπολογίζονται κατά σειρά ως εξής:

- η ταχύτητα με την οποία εξέρχονται τα λύματα από ακροφύσιο  $V_p(I)$ .
- η ολική υδραυλική ενέργεια στο ακροφύσιο  $H_p(I)$ .
- η παροχή με την οποία εξέρχονται τα λύματα  $Q_p(I)$ .
- η παροχή λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα  $Q_d(I)$ .
- η ταχύτητα των λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα  $V_d(I)$ .
- η ολική υδραυλική ενέργεια στον άξονα του διαχυτήρα  $H_d(I)$ .
- η ορθή τιμή για τον συντελεστή συστολής  $C_d'(I)$  της διατομής μελέτης (*i*).

- η ενδεχόμενη κλίση που έχει το ακροφύσιο  $D_{ev}(\%)$ .
- οι απώλειες λόγω τριβών στη διατομή μελέτης  $h_f(i)$ .
- ο πυκνομετρικός αριθμός Froude στη διατομή μελέτης ( $i$ ).

Τα κριτήρια που πρέπει να επαληθεύονται κατά τον σχεδιασμό σε κάθε περίπτωση είναι τα εξής:

1	Διάμετρος ακροφυσίων	$\leq 0.15 \text{ m}$
2	Συνολική επιφάνεια στομίων/ Επιφάνεια διαχυτήρα	$\leq 0.7$
3	Απόσταση μεταξύ στομίων/ $10d_0$	$> 1$
4	Ταχύτητα στο διαχυτήρα	$0.5 \leq V_d \leq 2 \text{ m/s}$
5	Απόκλιση παροχής ακροφυσίων	$\leq 0.02\%$
6	Αριθμός Froude	$> 1$

Πίνακας 5.2: Όρια τιμών υδραυλικών χαρακτηριστικών διαχυτήρα

Έτσι λοιπόν, κατασκευάζεται στο Microsoft Excel ο παρακάτω πίνακας δεδομένων που αφορά την συγκεκριμένη μελετώμενη περίπτωση διαχυτήρα με σταθερή διατομή.

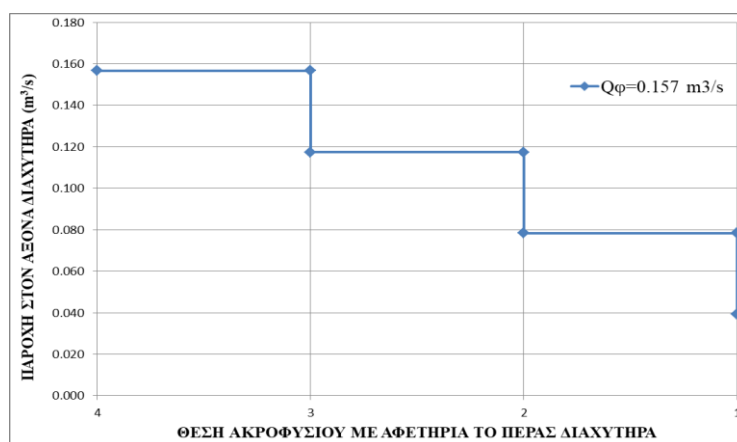
- **Διερχόμενη παροχή  $Q_\phi = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$  σε ενιαίας διατομής διαχυτήρα τεσσάρων ακροφυσίων.**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$i$ (ακρ.)	$x(i)$ (m)	$Z_d(i)$ (m)	$Z_p(i)$ (m)	$D_d(i)$ (m)	$D_p(i)$ (m)	$C_d(i)$	$E_p(i)$ (m)	$V_p(i)$ (m/s)	$H_p(i)$ (m)	$Q_p(i)$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_d(i)$ (m <sup>3</sup> /s)	$V_d(i)$ (m/s)	$H_d(i)$ (m)	$C_d'$	$D_{ev}(\%)$	$h_f(i)$ (m)	<b>F</b>
1	1512.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.900	25.0	5.5368	1.950	<b>0.0391</b>	0.039	<b>0.5</b>	6.638	0.900	0.00	0.004	35.36
2	1509.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.900	25.0	5.5372	1.950	<b>0.0391</b>	0.078	<b>0.9</b>	6.638	0.899	0.00	0.016	35.36
3	1506.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.900	25.0	5.5390	1.951	<b>0.0391</b>	0.117	<b>1.4</b>	6.642	0.898	0.00	0.035	35.37
4	1503.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.900	25.1	5.5429	1.953	<b>0.0392</b>	0.157	<b>1.8</b>	6.651	0.896	0.00	0.063	35.39

Σχήμα 5.3: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών ενιαίου διαχυτήρα τεσσάρων ακροφυσίων για παροχή φρεατίου φόρτισης  $Q_\phi = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$ .

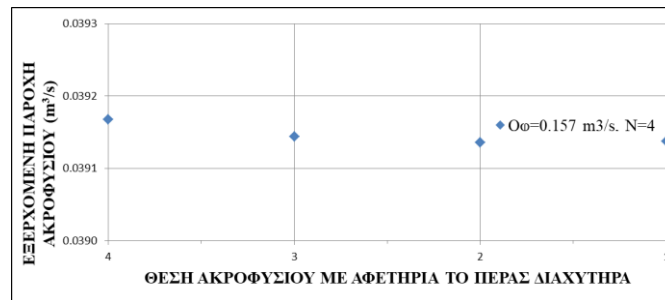
Από τα αριστερά προς τα δεξιά, έχουμε πρώτα τον αριθμό  $i$  που αντιστοιχεί στην διατομή μελέτης, εν προκειμένω είναι η πρώτη, δηλαδή η διατομή στο πλέον κατάντη σημείο του διαχυτήρα κατά την έναρξη της διαστασιολόγησης. Έπειτα έχουμε το βάθος στο σημείο του άξονα του διαχυτήρα  $Z_d$  και το βάθος στο σημείο του ακροφυσίου  $Z_p$ . Με τη σειρά τους ακολουθούν οι διάμετροι του τμήματος του διαχυτήρα και του ακροφυσίου  $D_d$  και  $d_0$  αντίστοιχα, ύστερα τοποθετείται η τιμή του συντελεστή συστολής  $C_d$  και η τιμή του διαθέσιμου ύψους υδραυλικής ενέργειας στο ακροφύσιο  $E_p$ , τα οποία μόνο για τη πρώτη διατομή εισάγονται αυθαίρετα. Παρακάτω,

εμφανίζονται η ταχύτητα με την οποία εξέρχονται τα λύματα από το ακροφύσιο  $V_p$ , καθώς και η ολική υδραυλική ενέργεια στο σημείο του ακροφυσίου  $H_p$ . Προχωρώντας συναντάμε την παροχή με την οποία εξέρχονται τα λύματα από το ακροφύσιο  $Q_p$  καθώς και την παροχή στο σημείο του άξονα του διαχυτήρα  $Q_d$ . Με τη σειρά τους παρουσιάζονται η ταχύτητα των λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα  $V_d$ , με την ολική υδραυλική ενέργεια στο σημείο του άξονα του διαχυτήρα  $H_d$ , συνοδευόμενη από την ορθή τιμή για τον συντελεστή συστολής  $C_d'$ , την κλίση στη διατομή  $D_{ev}$ , και τελικώς προβάλλονται οι απώλειες λόγω τριβών στη διατομή μελέτης  $h_f$  μαζί με τον πυκνομετρικό αριθμό *Froude* ( $F$ ) στη διατομή. Περιληπτικά, κατά το σχήμα 5.3, στη πρώτη γραμμή - εφόσον η διαστασιολόγηση ξεκινάει από το πλέον κατάντη ακροφύσιο - έχουμε τις τιμές για τα υδραυλικά μεγέθη που αφορούν το πρώτο ακροφύσιο (No1) με καφέ χρώμα, στη συνέχεια ακολουθεί το ενδιάμεσο τμήμα του διαχυτήρα (No2 και No3) με μπλε χρώμα και τελικά, με πορτοκαλί χρώμα έχουμε το πλέον ανάντη ακροφύσιο (No4). Από τον πίνακα προκύπτει ότι η διατομή που εξυπηρετεί την ισχύ των περιορισμών είναι η  $D_d = 0.33 \text{ m}$ . Επιπλέον, η εκρέουσα παροχή (στήλη 11) λαμβάνει τιμές μεταξύ  $0.0391$  έως  $0.0392$ , στοιχείο που εναρμονίζεται με τον περιορισμό για τη μέγιστη απόκλιση έως  $0.0002$ . Επίσης, η ταχύτητα στον άξονα του διαχυτήρα (στήλη 13) έχει εύρος από  $0.5 \text{ m/s}$  έως  $1.8 \text{ m/s}$ , δεδομένο που αφενός γίνεται αποδεκτό από τους περιορισμούς και αφετέρου, εφόσον το όριο είναι  $2 \text{ m/s}$  υποδεικνύεται ότι υπάρχει περιθώριο ανάλυσης ευαισθησίας αρχικής διερχόμενης παροχής έως ότου φτάσει η ταχύτητα την τελική της τιμή. Επιπρόσθετα είναι φανερό ότι ο αριθμός *Froude* (στήλη 18) έχει τιμές μεγαλύτερες της τιμής  $1$ . Παρακάτω, ακολουθούν τα διαγράμματα που προέκυψαν για τη περίπτωση αυτή.



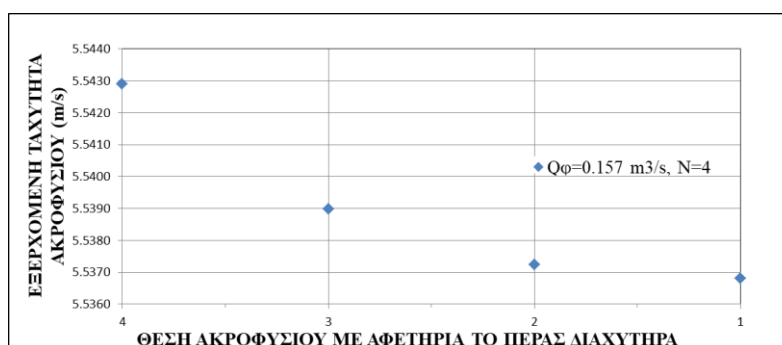
Σχήμα 5.3.1: Διάγραμμα παροχής λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα ανά διατομή ακροφυσίου για αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνία  $0^\circ$ .

Παραπάνω, στο σχήμα 5.3.1 έχουμε τη μεταβολή της τιμής της διερχόμενης παροχής κατά τον άξονα του διαχυτήρα στον κατακόρυφο άξονα, για κάθε θέση ακροφυσίου όπως φαίνεται στον οριζόντιο άξονα. Οι τιμές που αντιπροσωπεύουν τα ακροφύσια έχουν τοποθετηθεί σε αντίστροφη διάταξη, εφόσον οι υπολογισμοί ξεκινάνε από το τέλος προς την αρχή. Από το διάγραμμα γίνεται διακριτό ότι στο ακροφύσιο Νο1 έχουμε τιμή  $Q_d = 0.04 \text{ m}^3/\text{s}$  και στο ακροφύσιο Νο4 έχουμε τιμή  $Q_d = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$ , τιμές που συμφωνούν με τις αντίστοιχες τους στο σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.3.2: Τιμές εκρέουσας παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνία  $0^\circ$ .

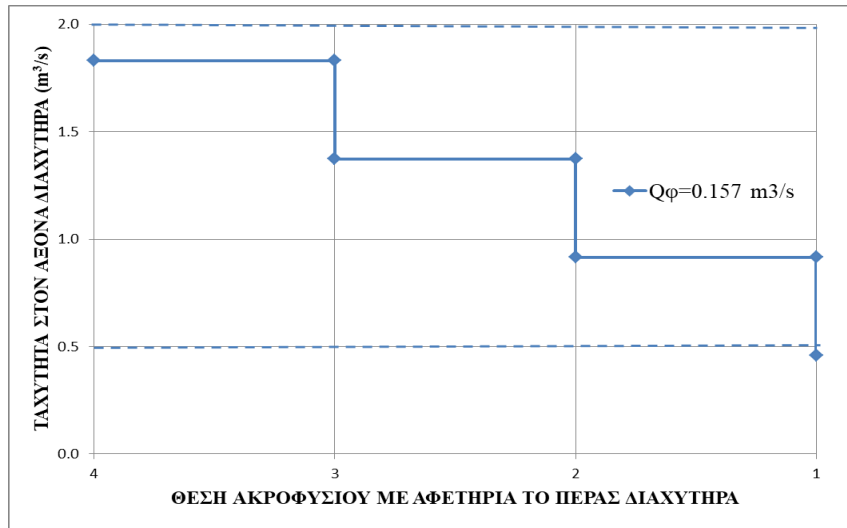
Στη συνέχεια, κατά το σχήμα 5.3.2 έχουμε τις τιμές της εκρέουσας παροχής από τα ακροφύσια στον κατακόρυφο άξονα, για κάθε ακροφύσιο όπως παρουσιάζεται κατά τον οριζόντιο άξονα. Σημαντικό σημείο του σχήματος είναι η μέγιστη απόκλιση, δηλαδή η κατακόρυφη απόσταση ανάμεσα στο ολικό μέγιστο και ολικό ελάχιστο να μην ξεπερνάει το όριο του  $0.0002$ . Γίνεται αντιληπτό πως τα σημεία δεν ξεπερνάνε το όριο, εφόσον κυμαίνονται στον κατακόρυφο άξονα ανάμεσα στο  $0.0392$  και  $0.0391$ , δηλαδή περιορίζεται στο  $0.0001$ .



Σχήμα 5.3.3: Τιμές ταχύτητας εκκρινόμενων λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνία  $0^\circ$ .

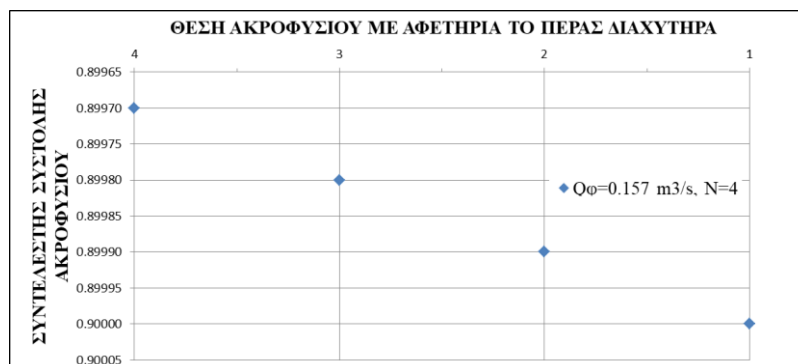


Κατά το σχήμα 5.3.3 έχουμε την τιμή της ταχύτητας με την οποία εξέρχονται τα λύματα από τα ακροφύσια στον κατακόρυφο άξονα και τις τέσσερις διατομές στον οριζόντιο άξονα. Η διαφορά μεταξύ των δύο ακραίων τιμών της ταχύτητας είναι  $6.1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ .



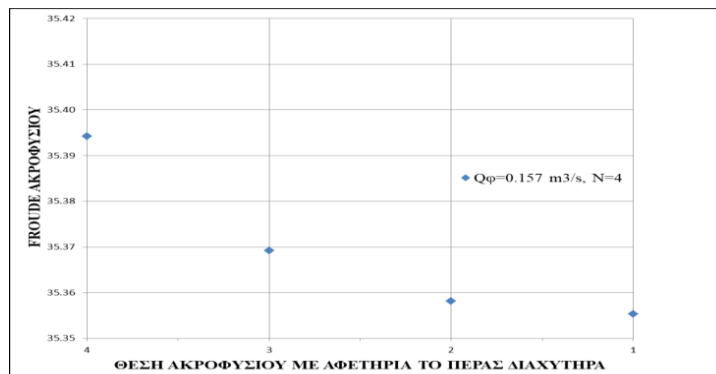
Σχήμα 5.3.4: Διάγραμμα αξονικής ταχύτητας λυμάτων στο διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνία  $0^\circ$ .

Στο σχήμα 5.3.4 έχουμε τις τιμές της ταχύτητας στον άξονα του διαχύτη των λυμάτων στον κατακόρυφο άξονα και τις τέσσερις διατομές στον οριζόντιο άξονα. Κριτήριο ορθότητας αποτελεσμάτων είναι η γραμμή στον κατακόρυφο άξονα να λαμβάνει τιμές μεταξύ  $0.5$  και  $2 \text{ m/s}$  (διακεκομμένες γραμμές). Από ότι είναι διακριτό, για τη διατομή του πρώτου ακροφυσίου η τεταγμένη του σημείου είναι  $0.46 \text{ m/s}$ , όμως το Excel είναι δομημένο έτσι ώστε να στρογγυλοποιεί τις τιμές για την αξονική ταχύτητα στο πρώτο δεκαδικό ψηφίο, δηλαδή λαμβάνει την οριακή τιμή του  $0.5 \text{ m/s}$ .



Σχήμα 5.3.5: Τιμές συντελεστή συστολής  $C_d$  ανά διατομή για αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνία  $0^\circ$ .

Στο σχήμα 5.3.5 παρουσιάζονται στον κατακόρυφο άξονα οι τιμές του συντελεστή συστολής  $C_d$  για τη περίπτωση του ενιαίου αγωγού και στον κατακόρυφο άξονα έχουμε τις τέσσερις διατομές του διαχυτήρα. Παρατηρούμε ότι από τα ανάντη προς τα κατόντη η τιμή του  $C_d$  μειώνεται, που είναι λογικό καθώς κάθε φορά αφαιρούμε  $0.0001$ , σύμφωνα με τη κατασκευή του πίνακα ανάλυσης δεδομένων για τον ενιαίο αγωγό.



Σχήμα 5.3.6: Τιμές πυκνομετρικού αριθμού *Froude* ανά διατομή για αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.157 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνία  $0^\circ$ .

Κατά το σχήμα 5.3.6 έχουμε τις τιμές του αριθμού *Froude* στον κατακόρυφο άξονα για κάθε διατομή του διαχυτήρα, όπως φαίνεται στον οριζόντιο άξονα. Σημαντικό σημείο στο σχήμα είναι οι τεταγμένες των σημείων να υπερβαίνουν την τιμή  $1$  προκειμένου να ισχύει το όριο του πίνακα 5.2, όπου και ισχύει. Πρόσθετα, η μορφή των σημείων είναι ίδια με του σχήματος 5.3.3 που αναπαριστώνται οι τιμές της ταχύτητας εξόδου, στοιχείο που δικαιολογείται από τη σχέση υπολογισμού του αριθμού *Froude* καθώς αποτελούν ανάλογα ποσά με την ταχύτητα εξόδου.

- **Αποτελέσματα**

Δεδομένου ότι στο σχήμα 5.3 η ανώτατη αξονική ταχύτητα είναι  $1.8 \text{ m/s}$ , θα πραγματοποιηθεί ανάλυση ευαισθησίας ως προς την αρχική διερχόμενη παροχή, προκειμένου να γίνει εύρεση μίας τιμής για την αρχική διερχόμενη παροχή που η αξονική ταχύτητα να λαμβάνει τιμές από  $0.5$  έως  $2 \text{ m/s}$  καθόλη την έκταση του διαχυτήρα. Με αυτόν τον τρόπο, ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια μεθοδολογία για ενιαίο διαχυτήρα με ακριβώς ίδια δεδομένα, με τη μόνη διαφορά ότι η αρχική διερχόμενη παροχή που χρησιμοποιήθηκε είναι  $0.167 \text{ m}^3/\text{s}$ . Στη συνέχεια της ανάλυσης ευαισθησίας, καθώς για την περίπτωση τιμής αρχικής διερχόμενης παροχής  $Q_{\phi} = 0.177$

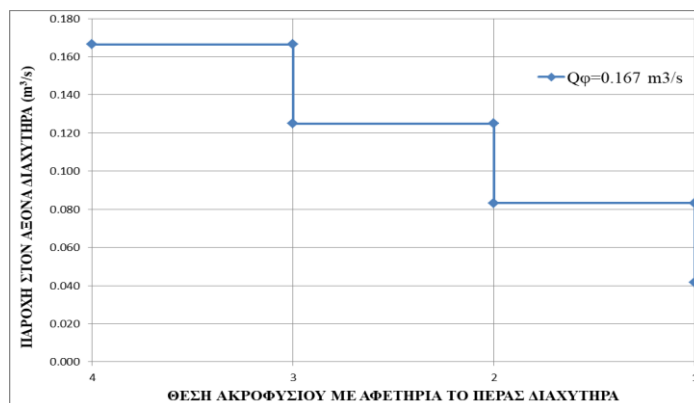
$m^3/s$  η αξονική ταχύτητα ξεπερνούσε το όριο των  $2 m/s$ , η τιμή αυτή απορρίφθηκε και χρησιμοποιήθηκε η ανώτατη τιμή διερχόμενης παροχής που μεγιστοποιεί το όριο στην αξονική ταχύτητα, ως  $Q_\varphi = 0.170 m^3/s$ . Ακολουθούν τα σχήματα που προέκυψαν.

- **Διερχόμενη παροχή  $Q_\varphi = 0.167 m^3/s$  σε ενιαίας διατομής διαχυτήρα τεσσάρων ακροφυσίων.**

ί(ακφ.)	x(ι) (m)	Z <sub>φ</sub> (ι) (m)	Z <sub>δ</sub> (ι) (m)	D <sub>δ</sub> (ι) (m)	D <sub>φ</sub> (ι) (m)	C <sub>d</sub> (ι)	E <sub>φ</sub> (ι) (m)	V <sub>φ</sub> (ι) (m/s)	H <sub>φ</sub> (ι) (m)	Q <sub>d</sub> (ι) (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>φ</sub> (ι) (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>d</sub> (ι) (m/s)	H <sub>d</sub> (ι) (m)	C <sub>d</sub> '	D <sub>ε</sub> (%)	h <sub>φ</sub> (ι) (m)	F
1	1512.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.957	25.0	5.5368	1.950	<b>0.0416</b>	0.042	<b>0.5</b>	6.638	0.957	0.00	0.004	35.36
2	1509.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.957	25.0	5.5373	1.950	<b>0.0416</b>	0.083	<b>1.0</b>	6.639	0.956	0.00	0.018	35.36
3	1506.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.957	25.0	5.5393	1.951	<b>0.0416</b>	0.125	<b>1.5</b>	6.643	0.954	0.00	0.040	35.37
4	1503.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.957	25.1	5.5437	1.954	<b>0.0417</b>	0.167	<b>1.9</b>	6.653	0.953	0.00	0.071	35.40

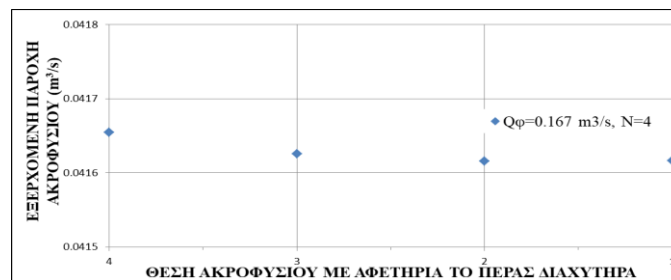
Σχήμα 5.4: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών ενιαίου διαχυτήρα τεσσάρων ακροφυσίων για παροχή φρεατίου φόρτισης  $Q_\varphi = 0.167 m^3/s$ .

Όπως φαίνεται από το σχήμα 5.4, η αρχική διερχόμενη παροχή λαμβάνεται σε αυτή τη περίπτωση ως  $Q_\varphi = 0.167 m^3/s$ , αυξημένη δηλαδή κατά  $0.01 m^3/s$  σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση (σχήμα 5.3). Η διαφορά αυτής της περίπτωσης με την προηγούμενη είναι ότι ο συντελεστής συστολής  $C_d$  έχει αυξηθεί κατά  $0.957-0.900 = 0.057$  μονάδες, καθώς αυτή είναι η τιμή του συντελεστή συστολής που αποφέρει ως αποτέλεσμα κατά την κατασκευή του παραπάνω πίνακα (σχήμα 5.4) την επιθυμητή αρχική διερχόμενη παροχή. Ακόμη, παρατηρείται ότι κατά τη σύνταξη του πίνακα του σχήματος 5.4 το εύρος της αξονικής ταχύτητας ορίζεται από  $0.5$  έως  $1.9 m/s$ , στοιχείο που προσφέρει περιθώριο επιπλέον ανάλυσης ευαισθησίας, προκειμένου να φτάσουμε το όριο των  $2 m/s$ . Στη συνέχεια παραθέτονται τα διαγράμματα που περιγράφουν τον πίνακα του σχήματος 5.4.



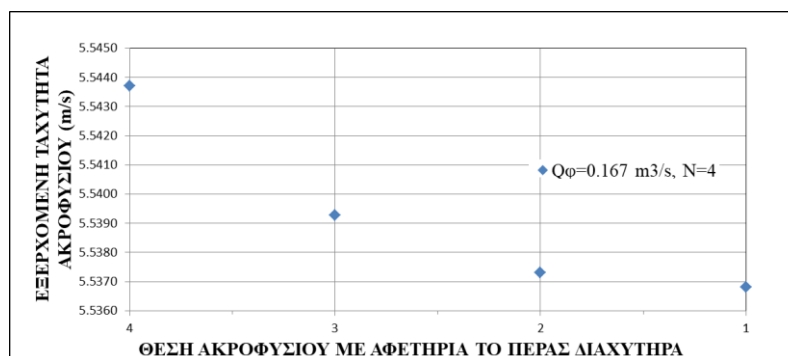
Σχήμα 5.4.1: Διάγραμμα παροχής λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα ανά διατομή ακροφυσίου για αρχική παροχή  $Q_\varphi = 0.167 m^3/s$  και γωνία  $0^\circ$ .

Σύμφωνα με το σχήμα 5.4.1, έχουμε την τιμή της αξονικής διερχόμενης παροχής στον κατακόρυφο άξονα σε μονάδες μέτρησης  $m^3/s$  και στον οριζόντιο άξονα έχουμε τις τέσσερις θέσεις των ακροφυσίων. Παρατηρούμε ότι για το τέταρτο ακροφύσιο, από το οποίο περνά η διερχόμενη παροχή λυμάτων από τον αγωγό προσαρμογής που συνδέεται με το φρεάτιο φόρτισης, η τιμή της είναι ίση με  $0.167 m^3/s$ , και σταδιακά ανά διατομή μειώνεται ανά  $0.04 m^3/s$ , έως ότου για το πλέον κατάντη ακροφύσιο έχουμε τιμή  $0.042 m^3/s$ .



Σχήμα 5.4.2: Τιμές εκρέουσας παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.167 m^3/s$  και γωνία  $0^{\circ}$ .

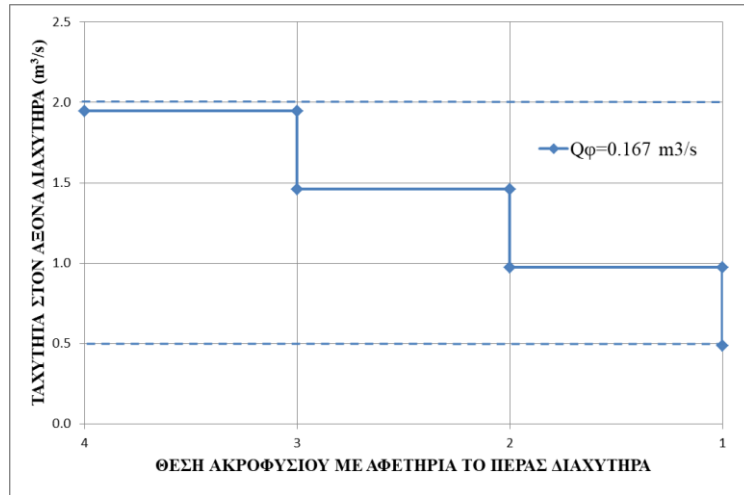
Στο παρόν σχήμα (5.4.2) έχουμε τις τιμές της εξερχόμενης παροχής στον κατακόρυφο άξονα σε μονάδες  $m^3/s$  και στον οριζόντιο άξονα τοποθετούνται τα στόμια του διαχυτήρα. Όπως και σε αυτήν τη περίπτωση, ισχύει ο περιορισμός για την μέγιστη απόκλιση παροχής ακροφυσίων με τιμή  $0.0002$ , καθώς οι τιμές κατακόρυφα λαμβάνουν θέση μεταξύ  $0.0416$  και  $0.0417 m^3/s$ .



Σχήμα 5.4.3: Τιμές ταχύτητας εκκρινόμενων λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.167 m^3/s$  και γωνία  $0^{\circ}$

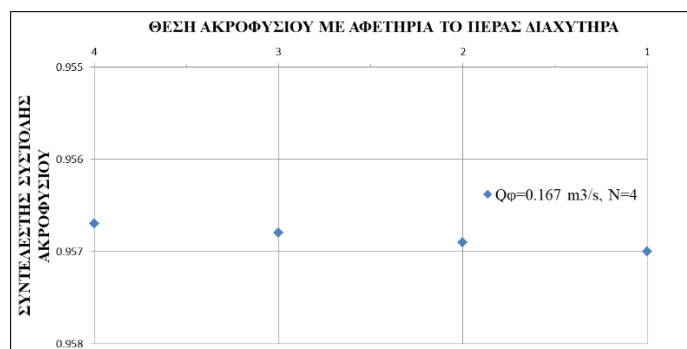
Κατά το σχήμα 5.4.3 έχουμε τις τιμές της ταχύτητας εξόδου των λυμάτων σε  $m/s$  για τον κατακόρυφο άξονα και στον οριζόντιο άξονα έχουμε τα στόμια του

διαχυτήρα. Παρατηρούμε ότι μεταξύ των στομίων Νο4 και Νο3 οι τιμές έχουν την μεγαλύτερη απόκλιση σε σχέση με τις υπόλοιπες διατομές, καθώς αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ταχύτητα εξόδου είναι ανάλογο ποσό με το διαθέσιμο πιεζομετρικό φορτίο στη διατομή και για το ακροφύσιο Νο4 η τιμή του είναι  $E_p(4) = 25.1 m$  σε σχέση με το ακροφύσιο Νο3 που έχει τιμή  $E_p(3) = 25.0 m$ .



Σχήμα 5.4.4: Διάγραμμα αξονικής ταχύτητας λυμάτων στο διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.167 m^3/s$  και γωνία  $0^\circ$ .

Στο παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 5.4.4), έχουμε την κατανομή της αξονικής ταχύτητας στον κατακόρυφο άξονα σε μονάδες  $m/s$ , για κάθε διατομή που φέρει ακροφύσιο με στόμιο, όπως φαίνεται στον οριζόντιο άξονα. Το κατακόρυφο εύρος της ευθείας κυμαίνεται μεταξύ  $0.5$  και  $1.9 m/s$ , όπως ορίζει και ο πίνακας δεδομένων στο σχήμα 5.4. Με αυτόν τον τρόπο, με το κατώτατο όριο αποφεύγουμε τις εναποθέσεις αιωρούμενων στερεών από τα λύματα στον αγωγό και με το ανώτατο όριο εξασφαλίζουμε την απουσία υδραυλικού πλήγματος σε αυτόν.



Σχήμα 5.4.5: Τιμές συντελεστή συστολής  $C_d$  ανά διατομή για αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.167 m^3/s$  και γωνία  $0^\circ$ .

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα (5.4.5) έχουμε τις τιμές του συντελεστή συστολής  $C_d$  στον κατακόρυφο άξονα (αδιάστατο μέγεθος) και στον οριζόντιο άξονα έχουμε τις τέσσερις θέσεις των ακροφυσίων. Η διαφορά με την αντίστοιχη προηγούμενη περίπτωση (σχήμα 5.3.5) είναι ότι η τιμή του για το πλέον ανάντη ακροφύσιο έχει μεταβληθεί από την τιμή  $0.900$  στη τιμή  $0.957$ . Η αύξηση αυτή της τάξης των  $0.057$  πρακτικά δημιουργήθηκε κατά τη σύνταξη του πίνακα ανάλυσης δεδομένων για τη μελετώμενη περίπτωση, με κριτήριο να επαληθεύεται η τιμή της επιθυμητής αρχικής διερχόμενης παροχής ( $Q_\phi = 0.167 \text{ m}^3/\text{s}$ ).



Σχήμα 5.4.6: Τιμές πυκνομετρικού αριθμού *Froude* ανά διατομή για αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.167 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνία  $0^\circ$ .

Στο σχήμα 5.4.6 έχουμε την απεικόνιση των τιμών του αριθμού *Froude* στον κατακόρυφο άξονα (αδιάστατο μέγεθος) ανά διατομή που φέρει ακροφύσιο, όπως τοποθετείται κατά τον οριζόντιο άξονα. Όπως και στο σχήμα 5.4.3 που απεικονίζει την ταχύτητα εξόδου, έτσι και εδώ μεταξύ των ακροφυσίων No4 και No3 έχουμε τη μεγαλύτερη απόκλιση των σημείων σε σχέση με τις άλλες διατομές, στοιχείο που οφείλεται στο γεγονός ότι ο αριθμός *Froude* είναι ανάλογο ποσό με την ταχύτητα εξόδου των λυμάτων εξ ορισμού και ότι το διαθέσιμο πιεζομετρικό φορτίο στη διατομή και για το ακροφύσιο No4 η τιμή του είναι  $E_p(4) = 25.1 \text{ m}$  καθώς για το ακροφύσιο No3 έχει τιμή  $E_p(3) = 25.0 \text{ m}$ .

- **Αποτελέσματα**

Στη συνέχεια της ανάλυσης ευαισθησίας για τον ενιαίας διατομής διαχυτήρα, γίνεται χρήση της τιμής για την διερχόμενη παροχή ως  $Q_\phi = 0.170 \text{ m}^3/\text{s}$ , εφόσον βάσει των αποτελεσμάτων του πίνακα δεδομένων κατά τη σύνταξη παρατηρήθηκε ότι αυτή

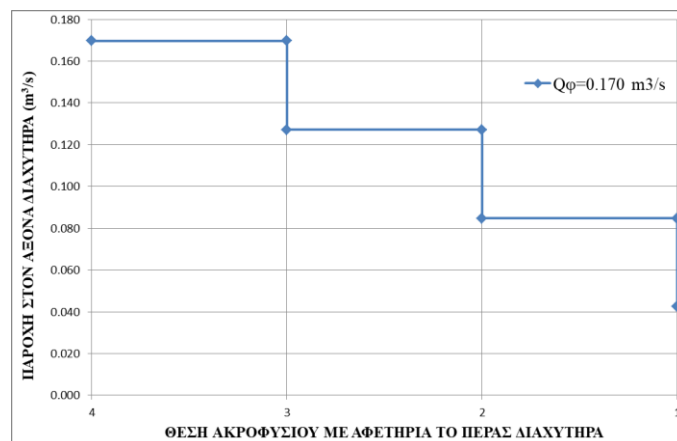
είναι η μέγιστη τιμή που δύναται να έχει η διερχόμενη παροχή, διαφορετικώς για μεγαλύτερη τιμή παροχής η αξονική ταχύτητα υπερβαίνει το όριο των  $2 \text{ m/s}$ .

- **Διερχόμενη παροχή  $Q_\phi = 0.170 \text{ m}^3/\text{s}$  σε ενιαίας διατομής διαχυτήρα τεσσάρων ακροφυσίων.**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
i(ακρ.)	x(i) (m)	Z <sub>d</sub> (i) (m)	Z <sub>p</sub> (i) (m)	D <sub>d</sub> (i) (m)	D <sub>p</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> (i)	E <sub>p</sub> (i) (m)	V <sub>p</sub> (i) (m/s)	H <sub>p</sub> (i) (m)	Q <sub>d</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>d</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>d</sub> (i) (m/s)	H <sub>d</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> '	D <sub>e</sub> (%)	h <sub>f</sub> (i) (m)	F
1	1512.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.975	25.0	5.5368	1.950	0.0424	0.042	0.5	6.638	0.975	0.00	0.005	35.36
2	1509.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.975	25.0	5.5373	1.950	0.0424	0.085	1.0	6.639	0.974	0.00	0.018	35.36
3	1506.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.975	25.0	5.5394	1.951	0.0424	0.127	1.5	6.643	0.972	0.00	0.042	35.37
4	1503.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.975	25.1	5.5440	1.954	0.0424	0.170	2.0	6.654	0.970	0.00	0.074	35.40

Σχήμα 5.5: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών ενιαίου διαχυτήρα τεσσάρων ακροφυσίων για παροχή φρεατίου φόρτισης  $Q_\phi = 0.170 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Κατά τη μελέτη αυτής της περίπτωσης διαχύτη (σχήμα 5.5), παρατηρείται ότι η αξονική ταχύτητα των λυμάτων παίρνει τιμές από το κατώτατο όριο για το πλέον κατάντη ακροφύσιο (No1,  $0.5 \text{ m/s}$ ) μέχρι το ανώτατο όριο για το πλέον ανάντη ακροφύσιο (No4,  $2 \text{ m/s}$ ). Επίσης, η εξερχόμενη παροχή για όλα τα ακροφύσια έχει τιμή  $0.0424$ , επομένως ισχύει ο περιορισμός για το όριο της μέγιστης απόκλισης. Βάσει των αποτελεσμάτων αυτών προκύπτει το συμπέρασμα ότι για την περίπτωση του ενιαίου διαχυτήρα η ανάλυση ευαισθησίας ως προς την διερχόμενη παροχή περατώνεται στη τιμή  $Q_\phi = 0.170 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ύστερα, παρουσιάζονται τα διαγράμματα που περιγράφουν τον πίνακα δεδομένων.



Σχήμα 5.5.1: Διάγραμμα παροχής λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα ανά διατομή ακροφυσίου για αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.170 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνία  $0^\circ$ .

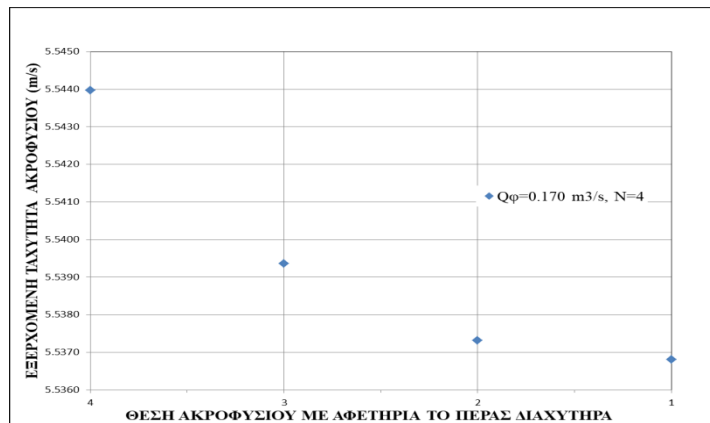
Παραπάνω (σχήμα 5.5.1) έχουμε την κατανομή της αξονικής παροχής στο τμήμα του διαχυτήρα κατά τον κατακόρυφο άξονα σε μονάδες  $\text{m}^3/\text{s}$  για κάθε

μελετώμενη διατομή όπως έχουμε κατά τον οριζόντιο άξονα. Η διαφορά αυτής της περίπτωσης με τις προηγούμενες είναι ότι για το ακροφύσιο No4 η διερχόμενη παροχή που οδηγείται από τον αγωγό προσαρμογής έχει τιμή  $Q_d(4) = Q_\phi = 0.170 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Σχήμα 5.5.2: Τιμές εκρέουσας παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.170 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνία  $0^\circ$

Κατά το παραπάνω (σχήμα 5.5.2), φαίνεται η παροχή εξόδου των λυμάτων από τα στόμια στον κατακόρυφο άξονα σε μονάδες  $\text{m}^3/\text{s}$  για τα τέσσερα ακροφύσια εκροής, όπως ευρίσκονται στον οριζόντιο άξονα. Ισχύει το όριο για τη μέγιστη απόκλιση παροχής ακροφυσίων, κρίνοντας έτσι ορθά τα αποτελέσματα βάσει της θέσης των σημείων.

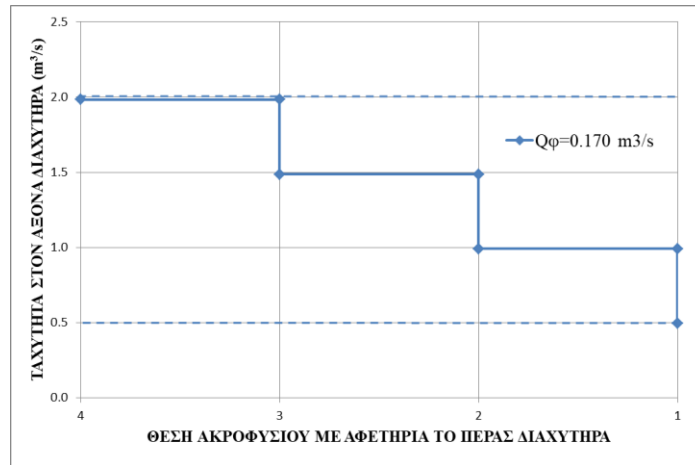


Σχήμα 5.5.3: Τιμές ταχύτητας εκκρινόμενων λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.170 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνία  $0^\circ$ .

Στο παραπάνω (σχήμα 5.5.3), παρουσιάζεται η ταχύτητα εξόδου των λυμάτων στον κατακόρυφο άξονα σε μονάδες  $\text{m}/\text{s}$ , για τις τέσσερις διατομές μελέτης που τοποθετούνται στον οριζόντιο άξονα. Ομοίως με τις προηγούμενες περιπτώσεις, οι τιμές εμφανίζουν τη μεγαλύτερη απόκλιση στο τμήμα του διαχυτήρα μεταξύ των

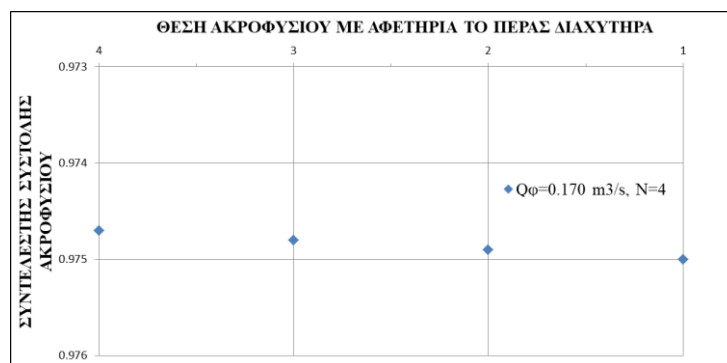


ακροφυσίων Νο4 και Νο3 για τον λόγο που αναφέρθηκε προηγουμένως κατά το σχήμα 5.4.3.



Σχήμα 5.5.4: Διάγραμμα αξονικής ταχύτητας λυμάτων στο διαχυτήρα ανά διατομή για αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.170 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνία  $0^\circ$ .

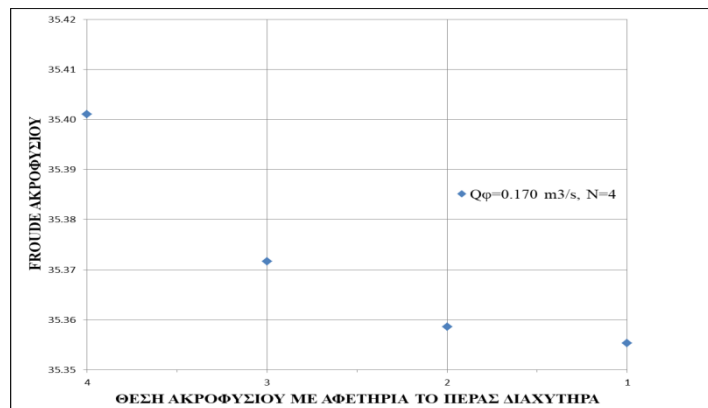
Παραπάνω στο σχήμα 5.5.4, έχουμε την απεικόνιση της αξονικής ταχύτητας των λυμάτων στον κατακόρυφο άξονα σε μονάδες  $m/s$  για τις τέσσερις διατομές ακροφυσίων που υπάρχουν στον οριζόντιο άξονα. Προκύπτει ότι η ταχύτητα των λυμάτων παίρνει τιμές καθ'όλο το μήκος του αγωγού επιτρεπόμενες βάσει του ορίου που θέτει ο πίνακας 5.2.



Σχήμα 5.5.5: Τιμές συντελεστή συστολής  $C_d$  ανά διατομή για αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.170 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνία  $0^\circ$ .

Στο σχήμα 5.5.5 έχουμε τον συντελεστή συστολής  $C_d$  στον κατακόρυφο άξονα και τις διάφορες τιμές που λαμβάνει για το κάθε ακροφύσιο όπως φαίνεται στον οριζόντιο άξονα. Διαφορά αυτής της περίπτωσης με τις προηγούμενες είναι ότι ο συντελεστής συστολής αρχίζει με τη τιμή  $0.975$ , που είναι αυξημένη κατά  $0.018$  μονάδες σε σχέση με τη προηγούμενη περίπτωση (σχήμα 5.4.5). Αυτό το δεδομένο

τοποθετήθηκε με αυτόν τον τρόπο κατά τη σύνταξη του πίνακα δεδομένων του σχήματος 5.5 προκειμένου να υπάρξει η επιθυμητή αρχική διερχόμενη παροχή στα αποτελέσματα.



Σχήμα 5.5.6: Τιμές πυκνομετρικού αριθμού *Froude* ανά διατομή για αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.170 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνία  $\theta^{\circ}$ .

Παραπάνω (σχήμα 5.5.6), έχουμε τον πυκνομετρικό αριθμό *Froude* κατά τον κατακόρυφο άξονα και τις τέσσερις διατομές στοριών στον οριζόντιο άξονα. Το ίδιο ισχύει και σε αυτήν τη περίπτωση, όπως με τη περίπτωση στο σχήμα 5.4.6 αναφορικά με την μεγάλη απόκλιση των σημείων στο πλέον ανάντη τμήμα του διαχυτήρα.

- **Αποτελέσματα περίπτωσης ενιαίας διατομής διαχυτήρα.**

Τα προβλήματα που προκύπτουν από την περίπτωση ενιαίας διατομής αγωγού είναι αφενός ότι υφίσταται μικρό πλήθος ακροφυσίων που εδράζονται στο διαχυτήρα, στοιχείο που δεν συνεισφέρει στο στόχο του έργου να επιτυγχάνει την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αραίωση στα λύματα με την έξοδο τους από τα στόμια είναι εφικτή και αφετέρου ένα άλλο μειονεκτικό χαρακτηριστικό είναι η μικρή τιμή του εύρους της διερχόμενης παροχής που προέκυψε ( $Q_{\phi} = 0.157 \text{ έως } 0.170 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Προς αντιμετώπιση του προβλήματος, θα μεταβάλλουμε κατά μήκος τη διατομή του διαχυτήρα ενώ παράλληλα θα υποστεί αύξηση στο πλήθος των ακροφυσίων και της τιμής της διερχόμενης παροχής.

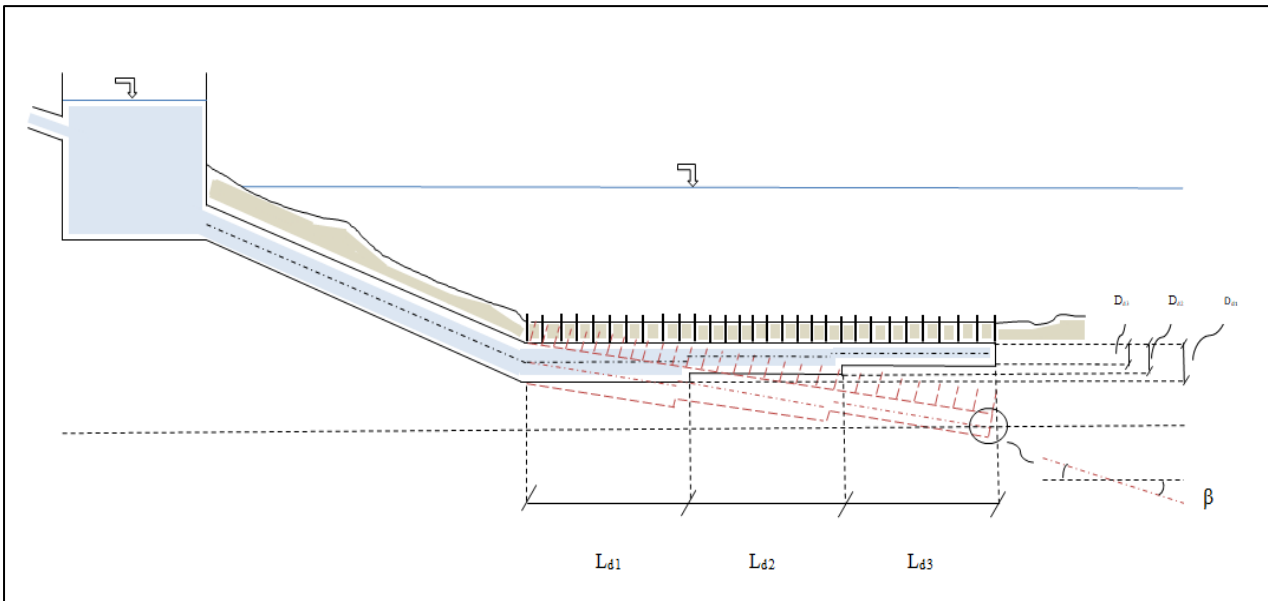
### 5.4.2.2 Διαχυτήρας μεταβλητής διατομής

Σε συνέχεια των προηγούμενων, αρχικώς διατηρώντας σταθερή τη διατομή και ίση με  $D_d = 0.33 \text{ m}$  πραγματοποιήθηκε αύξηση του πλήθους των ακροφυσίων με αποτέλεσμα να έχουμε  $N = 21$  ακροφύσια για διερχόμενη παροχή  $Q_\phi = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$ . Προέκυψε ότι η περίπτωση αυτή δεν αποφέρει αποτελέσματα που να επιτρέπονται από τα ως ορισμένα όρια τιμών (πίνακας 5.2), με συνέπεια αυτού να απορρίπτεται. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ἰ(ακρ.)	x(ἰ) (m)	Z <sub>d</sub> (ἰ) (m)	Z <sub>φ</sub> (ἰ) (m)	D <sub>d</sub> (ἰ) (m)	D <sub>φ</sub> (ἰ) (m)	C <sub>d</sub> (ἰ)	E <sub>φ</sub> (ἰ) (m)	V <sub>φ</sub> (ἰ) (m/s)	H <sub>φ</sub> (ἰ) (m)	Q <sub>d</sub> (ἰ) (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>φ</sub> (ἰ) (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>d</sub> (ἰ) (m/s)	H <sub>d</sub> (ἰ) (m)	C <sub>d</sub> '	D <sub>ev</sub> (%)	h <sub>φ</sub> (ἰ) (m)	F
1	1563.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.777	30.0	6.0653	2.263	<b>0.0370</b>	0.037	<b>0.4</b>	7.888	0.777	0.00	0.004	38.73
2	1560.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.777	30.0	6.0656	2.263	<b>0.0370</b>	0.074	<b>0.9</b>	7.888	0.776	0.00	0.014	38.73
3	1557.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.777	30.0	6.0670	2.264	<b>0.0370</b>	0.111	<b>1.3</b>	7.892	0.775	0.00	0.032	38.74
4	1554.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.777	30.0	6.0702	2.266	<b>0.0370</b>	0.148	<b>1.7</b>	7.900	0.774	0.00	0.056	38.76
5	1551.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.777	30.1	6.0759	2.269	<b>0.0371</b>	0.185	<b>2.2</b>	7.914	0.772	0.00	0.088	38.80
6	1548.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.777	30.2	6.0848	2.275	<b>0.0371</b>	0.222	<b>2.6</b>	7.936	0.770	0.00	0.127	38.85
7	1545.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.776	30.3	6.0976	2.283	<b>0.0372</b>	0.259	<b>3.0</b>	7.968	0.768	0.00	0.173	38.94
8	1542.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.776	30.5	6.1149	2.293	<b>0.0373</b>	0.297	<b>3.5</b>	8.011	0.765	0.00	0.226	39.05
9	1539.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.776	30.7	6.1376	2.307	<b>0.0374</b>	0.334	<b>3.9</b>	8.067	0.762	0.00	0.287	39.19
10	1536.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.776	31.0	6.1662	2.325	<b>0.0376</b>	0.372	<b>4.3</b>	8.139	0.759	0.00	0.355	39.37
11	1533.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.776	31.4	6.2014	2.348	<b>0.0378</b>	0.410	<b>4.8</b>	8.228	0.755	0.00	0.431	39.60
12	1530.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.776	31.8	6.2438	2.375	<b>0.0380</b>	0.448	<b>5.2</b>	8.336	0.752	0.00	0.515	39.87
13	1527.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.776	32.3	6.2941	2.407	<b>0.0384</b>	0.486	<b>5.7</b>	8.464	0.747	0.00	0.607	40.19
14	1524.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.776	32.9	6.3530	2.445	<b>0.0387</b>	0.525	<b>6.1</b>	8.616	0.743	0.00	0.707	40.57
15	1521.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.776	33.6	6.4208	2.489	<b>0.0391</b>	0.564	<b>6.6</b>	8.793	0.739	0.00	0.816	41.00
16	1518.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.776	34.4	6.4983	2.540	<b>0.0396</b>	0.603	<b>7.1</b>	8.997	0.734	0.00	0.935	41.50
17	1515.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.775	35.4	6.5860	2.598	<b>0.0401</b>	0.643	<b>7.5</b>	9.231	0.730	0.00	1.064	42.05
18	1512.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.775	36.4	6.6842	2.665	<b>0.0407</b>	0.684	<b>8.0</b>	9.496	0.725	0.00	1.202	42.68
19	1509.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.775	37.6	6.7936	2.740	<b>0.0414</b>	0.725	<b>8.5</b>	9.797	0.720	0.00	1.352	43.38
20	1506.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.775	39.0	6.9146	2.824	<b>0.0421</b>	0.768	<b>9.0</b>	10.135	0.716	0.00	1.514	44.15
21	1503.0	16.50	15.50	<b>0.33</b>	0.10	0.775	40.5	7.0475	2.919	<b>0.0429</b>	0.810	<b>9.5</b>	10.513	0.711	0.00	1.688	45.00
start	1500.0								Μεγ. Αποκλ.:	<b>0.0059</b>							

Σχήμα 5.5.7: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών ενιαίου διαχυτήρα είκοσι ένα ακροφυσίων για παροχή φρεατίου φόρτισης  $Q_\phi = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Από τον παραπάνω πίνακα (σχήμα 5.5.7), έχουμε τις υπολογιζόμενες τιμές για τα υδραυλικά μεγέθη στις διατομές των ακροφυσίων κατά τον ενιαίας διατομής διαχυτήρα. Προέκυψε ότι η εκρέουσα παροχή μεταξύ των ακροφυσίων έχει μέγιστη απόκλιση ίση με  $Q_p, 21 - Q_p, 1 = (0.0429 - 0.0370) \text{ m}^3/\text{s} = 0.0059 \text{ m}^3/\text{s} > 0.0002 \text{ m}^3/\text{s}$ , επομένως αφενός για αυτόν το λόγο απορρίπτουμε αυτή τη περίπτωση. Αφετέρου, η μέγιστη αξονική ταχύτητα στον διαχυτήρα που παρατηρείται είναι η  $V_d, 21 = 9.5 \text{ m/s} > 2 \text{ m/s}$ , συνεπώς έχουμε και δεύτερο λόγο να απορρίψουμε την εξεταζόμενη περίπτωση αυτή. Με αυτόν τον τρόπο, για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα το επόμενο βήμα είναι να μετατρέψουμε την ενιαία διατομή του διαχυτήρα σε μεταβλητή διατομή.



Σχήμα 5.6: Διαμήκης τομή εγκατάστασης διαχυτήρα μεταβλητής διατομής

Στο σχήμα 5.6. γίνεται παρουσίαση του προφίλ ενός συνολικού έργου διάθεσης υγρών αποβλήτων στη θάλασσα. Αρχίζοντας από τα αριστερά, έχουμε το φρεάτιο φόρτισης που γεμίζει με υγρά απόβλητα που έρχονται από τις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων. Ύστερα, ο αγωγός προσαρμογής οδηγεί τα λύματα στον διαχυτήρα που φέρει τα ακροφύσια, όπου μέσω αυτών που φέρουν τα στόμια καταλήγουν στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ακόμη, φαίνεται με καφέ χρώμα ο πυθμένας της θάλασσας, καθώς οι αγωγοί (προσαρμογής και διαχυτήρας) εδράζονται κάτω από αυτόν. Γίνεται διακριτό ότι ο διαχυτήρας έχει μεταβλητή διατομή και συγκεκριμένα μεταβαίνει από τη μεγαλύτερη σε μικρότερη καθώς μεταβαίνουμε προς στα κατάντη. Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται η ενδεχόμενη κλίση του διαχυτήρα σε σχέση με τον οριζόντιο άξονα.

- **Διερχόμενη παροχή  $Q_{\phi} = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$  σε μεταβλητής διατομής διαχυτήρα με είκοσι ένα ακροφύσια.**

Σε μία νέα μελέτη περίπτωσης, θα χρησιμοποιήσουμε έναν νέο - διαφορετικό από τον προηγούμενο - διαχυτήρα για τη διαστασιολόγηση μας, ο οποίος θα φέρει τρεις διαφορετικές διαμέτρους, ξεκινώντας από τα ανάντη με τη μεγαλύτερη διατομή και καταλήγοντας προς τα κατάντη με τη μικρότερη διατομή. Ο λόγος που χρησιμοποιείται αυτή η πρώτη τιμή διερχόμενης παροχής για την περίπτωση μας, είναι ότι για τον συνδυασμό δεδομένων που τελικά συντάχθηκε ο πίνακας του σχήματος 5.7 που ακολουθεί παρακάτω, εφόσον τα αποτελέσματα βγήκαν ορθά και εντός ορίων, η τιμή της αξονικής παροχής για το πλέον ανάντη ακροφύσιο προέκυψε ως  $Q_d(21) = Q_{\phi} =$

$0.806 \text{ m}^3/\text{s}$ . Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε και η λογική σύνταξης των διαφόρων περιπτώσεων που ακολουθούν ταυτίζονται με τη περίπτωση του ενιαίας διατομής διαχύτη.

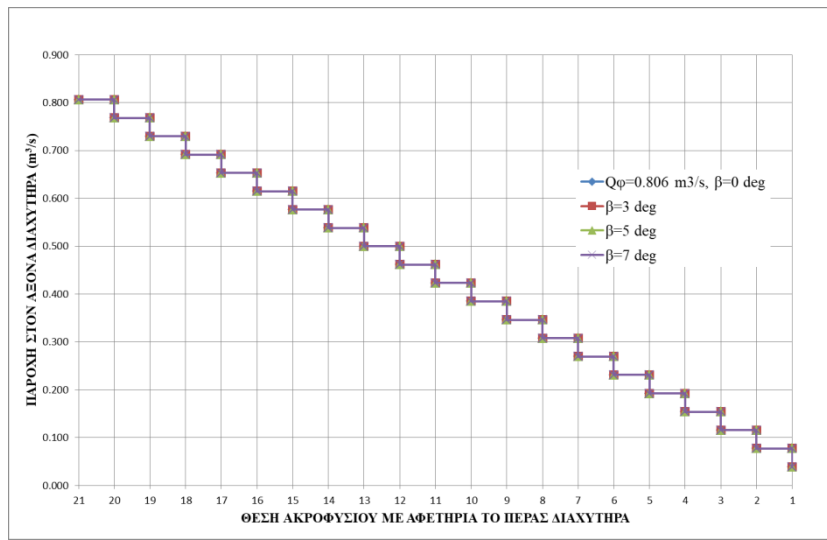
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
i(ακρ.)	x(i) (m)	Z <sub>d</sub> (i) (m)	Z <sub>p</sub> (i) (m)	D <sub>d</sub> (i) (m)	D <sub>p</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> (i)	E <sub>p</sub> (i) (m)	V <sub>p</sub> (i) (m/s)	H <sub>p</sub> (i) (m)	Q <sub>p</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>d</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>d</sub> (i) (m/s)	H <sub>d</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> '	D <sub>cr</sub> (%)	h <sub>f</sub> (i) (m)	F
1	1563.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.809	30.0	6.0653	2.263	<b>0.0385</b>	0.039	<b>0.5</b>	7.888	0.809	0.00	0.004	38.73
2	1560.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.809	30.0	6.0657	2.263	<b>0.0385</b>	0.077	<b>0.9</b>	7.888	0.808	0.00	0.015	38.73
3	1557.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.809	30.0	6.0672	2.264	<b>0.0385</b>	0.116	<b>1.4</b>	7.892	0.807	0.00	0.034	38.74
4	1554.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.809	29.8	6.0492	2.465	<b>0.0384</b>	0.154	<b>0.8</b>	8.060	0.808	0.00	0.008	38.63
5	1551.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.809	29.8	6.0499	2.466	<b>0.0384</b>	0.192	<b>1.0</b>	8.062	0.808	0.00	0.012	38.63
6	1548.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.809	29.9	6.0511	2.466	<b>0.0384</b>	0.231	<b>1.2</b>	8.065	0.808	0.00	0.017	38.64
7	1545.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.808	29.9	6.0529	2.467	<b>0.0384</b>	0.269	<b>1.4</b>	8.069	0.807	0.00	0.023	38.65
8	1542.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.808	29.9	6.0552	2.469	<b>0.0384</b>	0.308	<b>1.6</b>	8.075	0.807	0.00	0.030	38.67
9	1539.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.808	29.9	6.0583	2.471	<b>0.0385</b>	0.346	<b>1.8</b>	8.083	0.806	0.00	0.039	38.69
10	1536.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.808	30.0	6.0622	2.473	<b>0.0385</b>	0.385	<b>2.0</b>	8.092	0.805	0.00	0.048	38.71
11	1533.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.808	29.7	6.0354	2.769	<b>0.0383</b>	0.423	<b>1.0</b>	8.339	0.808	0.00	0.008	38.54
12	1530.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.808	29.7	6.0362	2.770	<b>0.0383</b>	0.461	<b>1.0</b>	8.341	0.808	0.00	0.009	38.54
13	1527.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.808	29.7	6.0371	2.770	<b>0.0383</b>	0.500	<b>1.1</b>	8.343	0.808	0.00	0.011	38.55
14	1524.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.808	29.7	6.0381	2.771	<b>0.0383</b>	0.538	<b>1.2</b>	8.346	0.808	0.00	0.012	38.56
15	1521.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.808	29.7	6.0394	2.772	<b>0.0383</b>	0.576	<b>1.3</b>	8.349	0.807	0.00	0.014	38.56
16	1518.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.808	29.8	6.0408	2.772	<b>0.0383</b>	0.615	<b>1.4</b>	8.352	0.807	0.00	0.016	38.57
17	1515.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.807	29.8	6.0424	2.773	<b>0.0383</b>	0.653	<b>1.5</b>	8.356	0.807	0.00	0.018	38.58
18	1512.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.807	29.8	6.0443	2.775	<b>0.0383</b>	0.691	<b>1.6</b>	8.361	0.807	0.00	0.020	38.60
19	1509.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.807	29.8	6.0463	2.776	<b>0.0383</b>	0.729	<b>1.7</b>	8.366	0.806	0.00	0.023	38.61
20	1506.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.807	29.8	6.0486	2.777	<b>0.0383</b>	0.768	<b>1.7</b>	8.371	0.806	0.00	0.025	38.62
21	1503.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.807	29.9	6.0511	2.779	<b>0.0384</b>	0.806	<b>1.8</b>	8.378	0.806	0.00	0.028	38.64
start	1500.0									Μεγ. απόκλιση=	<b>0.002</b>						

Σχήμα 5.7: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα μεταβλητής διατομής με είκοσι ένα ακροφύσια για παροχή φρεατίου φόρτισης  $Q_\phi = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνία  $\beta=0^\circ$ .

Σχετικά με το σχήμα 5.7, από την τιμή του ακροφυσίου Νο21 της αξονικής παροχής του διαχυτήρα  $Q_d(21) = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$  επαληθεύεται η τιμή της αρχικής παροχής φρεατίου φόρτισης  $Q_\phi = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$ , καθώς είναι λογικό να ταυτίζονται εφόσον ο αγωγός προσαρμογής συνδέει το φρεάτιο με τον διαχυτήρα και διατηρεί σταθερή διατομή ίση με την  $D_{d1} = 0.75 \text{ m}$  και ισχύει η εξίσωση συνέχειας ( $Q_{\text{εισόδου}} = Q_{\text{εξόδου}}$ ) για τον αγωγό προσαρμογής. Επίσης, παρατηρεί κανείς ότι ισχύουν όλοι οι περιορισμοί για τα όρια τιμών των υδραυλικών μεγεθών όπως ορίζει ο πίνακας 5.2.

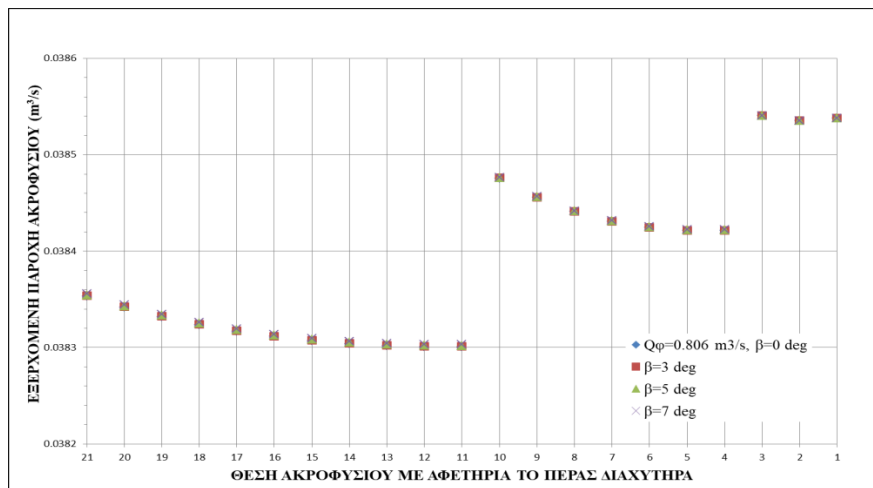
Όσον αφορά τον έλεγχο της ορθότητας των αποτελεσμάτων, πέρα από τον πίνακα 5.2, έχει ενσωματωθεί άλλος ένας επιπρόσθετος έλεγχος που πιστοποιεί ότι η προκύπτουσα πειραματική τιμή της παροχής του ακροφυσίου Νο21 και η θεωρητική τιμή αυτής έχουν απόκλιση μικρότερη της τάξης του 0.1%. Επί τούτου, εξηγείται ότι η θεωρητική τιμή αναφέρεται στο κλάσμα με αριθμητή την αρχική παροχή φρεατίου φόρτισης και παρανομαστή το πλήθος των ακροφυσίων που φέρει ο διαχυτήρας επί έναν συντελεστή κατανομής παροχής ακροφυσίων που αυθαιρέτως λαμβάνεται ίσος με ένα. Τελικά, χάριν πρακτικότητας, έχει ενσωματωθεί και ένας τελικός γενικός έλεγχος, που αποτελείται από όλους τους επιμέρους ελέγχους. Εν τέλει, προκύπτουν τα

παρακάτω σχήματα που περιγράφουν της ροή των λυμάτων εντός του διαχυτήρα και πραγματοποιείται σχολιασμός αυτών.



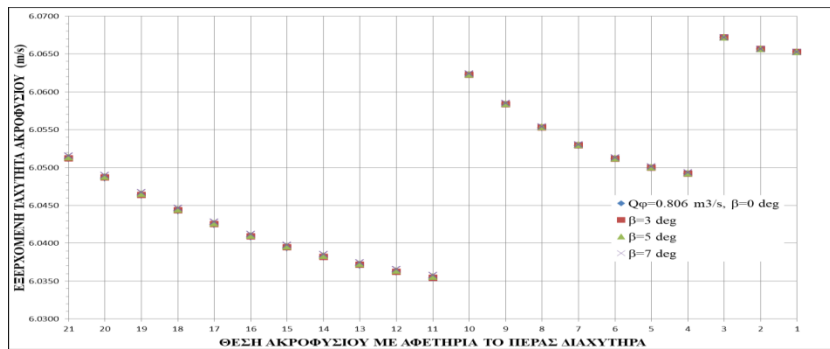
Σχήμα 5.7.1: Διάγραμμα παροχής λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι ένα ακροφύσια με διερχόμενη παροχή  $Q_{\phi} = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.

Παραπάνω (σχήμα 5.7.1), διακρίνεται η μείωση της τιμής της παροχής που ρέει κατά τον άξονα του διαχυτήρα σε όλο του το μήκος. Στον κατακόρυφο άξονα του διαγράμματος έχουμε τις τιμές για την παροχή κατά τον άξονα του διαχυτήρα με μονάδες μέτρησης  $\text{m}^3/\text{s}$  και στον οριζόντιο άξονα τοποθετούνται ανά ένα τα ακροφύσια που φιλοξενούνται από τον διαχύτη. Ακόμη, αναφέρεται πως για το παραπάνω (σχήμα 5.7.1) αλλά και όλα τα επόμενα διαγράμματα ότι οι διάφορες γωνίες του διαχύτη δεν επηρεάζουν ουσιαστικά τη μορφή των διαγραμμάτων, με συνέπεια οι προκύπτουσες καμπύλες να ταυτίζονται και για τις τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις γωνιών. Η μορφή του διαγράμματος του σχήματος 5.7.1 φαίνεται λογική, καθώς η παροχή στον άξονα του διαχυτήρα για ένα  $N$  ακροφύσιο ισούται με την παροχή στον άξονα του διαχυτήρα από το  $N-1$  ακροφύσιο συν την παροχή που εξήλθε από το  $N$  ακροφύσιο.



Σχήμα 5.7.2: Τιμές εξερχόμενης παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι ένα στόμια με αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^\circ$ .

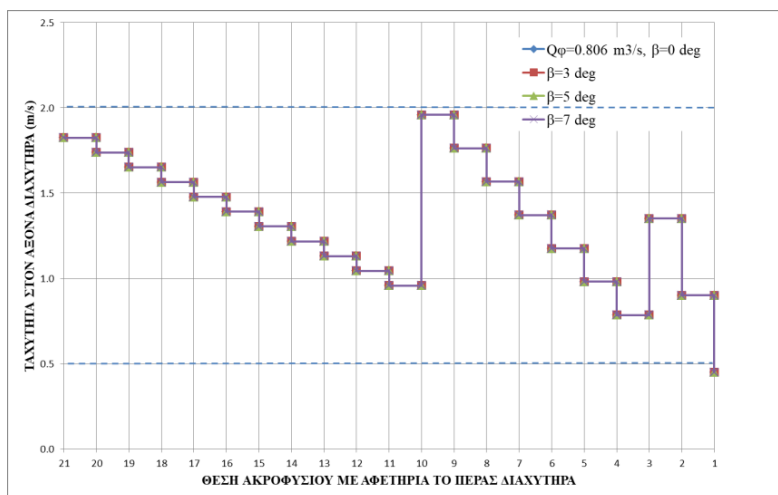
Σε αυτό το σχήμα (5.7.2) παρουσιάζονται οι τιμές της παροχής που εξέρχεται από τα ακροφύσια, για κάθε διατομή του διαχυτήρα. Στον κατακόρυφο άξονα του διαγράμματος προβάλλεται η τιμή της παροχής που εξέρχεται από τα ακροφύσια σε μονάδες  $\text{m}^3/\text{s}$  και στον οριζόντιο άξονα τοποθετούνται τα ακροφύσια. Εν συνεχεία, ενσωματώνονται οι εκάστοτε τιμές που αντιπροσωπεύουν τις γωνίες του διαχύτη με τα αντίστοιχα χρώματα. Παρατηρεί κανείς ότι ανάμεσα στα ακροφύσια No11 με No10 και No4 με No3 εμφανίζεται απότομη μεταβολή της απόκλισης των σημείων, γεγονός που πηγάζει από την αντίστοιχη μεταβολή της διατομής του διαχυτήρα στα εν λόγω σημεία. Δεν μπορούσε να παραληφθεί το γεγονός ότι, εκ του σχήματος επαληθεύεται και η συνθήκη που προβλέπει ότι η απόκλιση των τιμών της εξερχόμενης από τα ακροφύσια παροχής λαμβάνει τιμές μεταξύ του καθορισμένου ορίου της τάξης του  $0.0002 \text{ m}^3/\text{s}$ . Επί του παρόντος, μπορεί να αποφανθεί κανείς πως από το σχήμα τα σημεία δεν λαμβάνουν χώρα αυστηρώς στο πλαίσιο του  $0.02\%$ , αλλά ξεφεύγουν ελαφρώς από το όριο αυτό. Το πρόγραμμα φύλλου εργασιών είναι δομημένο να πραγματοποιεί στρογγυλοποίηση δεδομένων στο τέταρτο δεκαδικό ψηφίο, με αποτέλεσμα να μην λαμβάνει υπόψη τιμές με πέντε ή περισσότερα δεκαδικά ψηφία, γεγονός που μας επιτρέπει να δεχθούμε τις τιμές αυτές στον προκύπτον διάγραμμα. Σχετικά με τη μορφή του σχήματος, εφόσον ο τύπος για την εξερχόμενη παροχή ακροφυσίων ( $Q_p$ ) εξαρτάται από τον συντελεστή συστολής ( $C_d$ ) που μειώνεται κάθε φορά κατά  $0.0001$ , την διάμετρο του ακροφυσίου που παραμένει σταθερή ( $d_0$ ) και τέλος από την ταχύτητα με την οποία εξέρχονται τα λύματα από το ακροφύσιο ( $V_p$ ), επομένως η μορφή του σχήματος της εξερχόμενης παροχής ανά διατομή θα υιοθετεί την μορφή του σχήματος εξερχόμενης ταχύτητας ανά διατομή, όπως ακολουθεί παρακάτω (σχήμα 5.7.3).



Σχήμα 5.7.3.: Τιμές εξερχόμενης ταχύτητας λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι ένα στόμια με αρχική παροχή  $Q_{\varphi} = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^\circ$ .

Εν προκειμένω (σχήμα 5.7.3), παρουσιάζονται οι τιμές της ταχύτητας εκροής σε κάθε ακροφύσιο, σε μονάδες μέτρησης  $m/s$ . Συγκεκριμένα στον κατακόρυφο άξονα έχουμε τις διάφορες τιμές της ταχύτητας με την οποία εκρέουν τα λύματα και στον οριζόντιο άξονα έχουμε την θέση των ακροφυσίων. Για τις διάφορες γωνίες του διαχυτήρα υπάρχουν και τα αντίστοιχα σημεία με χρώμα, και, ομοίως με προηγουμένως, στα σημεία μεταβολής της διατομής τοποθετείται και η αντίστοιχη μεγάλη απόκλιση των σημείων, όπως γίνεται φανερό από το σχήμα. Δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερες μεταβολές αναλόγως της γωνίας  $\beta$ . Στα σημεία αλλαγής της διατομής έχουμε απότομη μεταβολή της ταχύτητας κατά  $(6.0622-6.0354) \text{ m/s} = 0.0268 \text{ m/s}$  μεταξύ των ακροφυσίων Νο11 και Νο10, και  $(6.0672-6.0492) \text{ m/s} = 0.018 \text{ m/s}$  μεταξύ των ακροφυσίων Νο4 και Νο3. Η περίπτωση αυτή είναι προτιμότερη από την περίπτωση διαχύτη ενιαίας διατομής του σχήματος 5.5.3, καθώς έχουμε μεγαλύτερο πλήθος ακροφυσίων προς αξιοποίηση (είκοσι ένα αντί για τέσσερα) και μεγαλύτερη τιμή διερχόμενης παροχής λυμάτων ( $0.806 \text{ m}^3/\text{s}$  αντί για  $0.170 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Πιο συγκεκριμένα, για χρόνο  $1 \text{ sec}$  η ποσοστιαία αύξηση της διερχόμενης παροχής υπολογίζεται ως  $\frac{0.806-0.170}{0.170} \times 100\% = 374.12\%$ .





Σχήμα 5.7.4: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα με είκοσι ένα στόμια για αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^{\circ}$ .

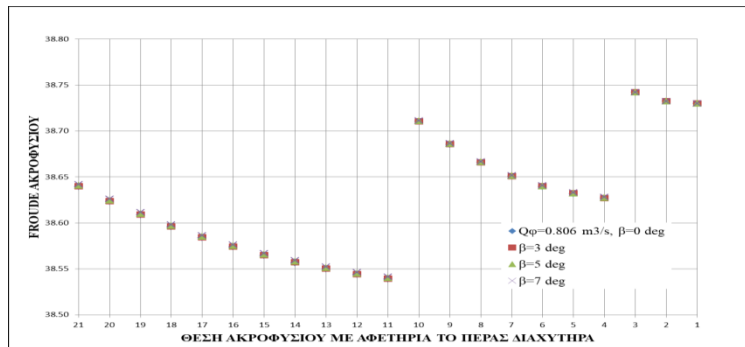
Στο παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 5.7.4), έχουμε την τιμή της ταχύτητας στον άξονα του διαχυτήρα κατά μήκος αυτού. Όπου, στον κατακόρυφο άξονα έχουμε τις διάφορες τιμές για την ταχύτητα στον άξονα του διαχυτήρα με μονάδες μέτρησης  $\text{m/s}$  και στον οριζόντιο άξονα τις θέσεις των ακροφυσίων. Επίσης, ανάμεσα στα ακροφύσια No11 με No10 και No4 με No3 παρατηρείται ομοίως μια απότομη αλλαγή στην απόκλιση των σημείων, που δηλώνει σε αυτά τα σημεία την αλλαγή της διαμέτρου του διαχυτήρα. Ακόμη, γίνεται αντιληπτό ότι ικανοποιείται ο έλεγχος που αναφέρεται στη ταχύτητα στον άξονα του διαχυτήρα που δύναται να λαμβάνει τιμή το πολύ έως και  $2 \text{ m/s}$  και το λιγότερο έως  $0.5 \text{ m/s}$ . Συγκεκριμένα, η αξονική ταχύτητα στη διατομή του ακροφυσίου No1 έχει τιμή  $Q_d(1) = 0.45 \text{ m/s}$ , αλλά το πρόγραμμα είναι δομημένο να στρογγυλοποιεί στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο, λαμβάνοντας έτσι την κατώτατη οριακή τιμή.



Σχήμα 5.7.5: Τιμές συντελεστή συστολής  $C_d$  ανά διατομή ακροφυσίου για διαχυτήρα με είκοσι ένα στόμια για αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^{\circ}$ .

Σε αυτό το σχήμα (5.7.5), φαίνεται η πτώση της τιμής του συντελεστή συστολής  $C_d$  κατά μήκος του αγωγού, με αρχική τιμή την  $0.807$  και κάθε φορά ελαττώνεται κατά

0.0001. Στον κατακόρυφο άξονα λαμβάνουν χώρα οι τιμές που λαμβάνει ο συντελεστής συστολής και στον οριζόντιο άξονα διακρίνονται οι διατομές που φέρουν τα ακροφύσια κατά μήκος του διαχύτη. Ομοίως, συνυπάρχουν στο διάγραμμα όλες οι γραμμές διαφορετικού χρώματος που αναφέρονται στην γωνία του διαχύτη ως προς το οριζόντιο επίπεδο ( $\beta$ ).



Σχήμα 5.7.6: Τιμές αριθμού *Froude* ανά διατομή ακροφυσίου για διαχυτήρα με είκοσι ένα στόμια για αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.

Παραπάνω, παρουσιάζονται οι τιμές που μπορεί να λάβει ο πυκνομετρικός αριθμός *Froude* ( $F$ ) ανά διατομή του διαχυτήρα που υπάρχει ακροφύσιο. Κατά τον κατακόρυφο άξονα έχουμε τις τιμές του αριθμού *Froude* (αδιάστατο μέγεθος), και στον οριζόντιο άξονα τοποθετούνται τα ακροφύσια κατά μήκος του διαχυτήρα. Σε κάθε διατομή ο αριθμός *Froude* λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες του 1.

#### • Αποτελέσματα

Με όμοιο τρόπο όπως παραπάνω, θα ακολουθήσει ανάλυση ευαισθησίας ως προς την διερχόμενη παροχή διατηρώντας όλα τα υπόλοιπα δεδομένα ίδια και μεταβάλλοντας μόνο αυτή (εξαιρείται η τιμή του συντελεστή συστολής  $C_d$ ), παρουσιάζοντας έτσι ένα εύρος διαφορετικών περιπτώσεων και σε επόμενο στάδιο θα πραγματοποιηθεί ανάλυση ευαισθησίας ως προς το πλήθος των ακροφυσίων, ώσπου να καταλήξουμε στα συμπεράσματα της μελέτης.

### 5.4.2.3 Ανάλυση ευαισθησίας αρχικής διερχόμενης παροχής.

Σε συνέχεια των προηγούμενων, έγινε επιλογή ορισμένων τιμών για την αρχική διερχόμενη παροχή που δύναται να εξυπηρετήσει η εγκατάσταση, χωρίς να παραβιάζονται οι συνθήκες περιορισμού που έχουμε θέσει με τους ελέγχους.

α/α	Διερχόμενη παροχή $Q_\phi$ ( $m^3/s$ )	Αποτέλεσμα
1	0.800	Απορρίπτεται
2	0.806	Αποδεκτή
3	0.810	Αποδεκτή
4	0.816	Αποδεκτή
5	0.826	Αποδεκτή
6	0.836	Απορρίπτεται

Πίνακας 5.3: Ανάλυση ευαισθησίας διερχόμενης παροχής

Παραπάνω, κατά τον πίνακα 5.3 έχουμε τις διάφορες περιπτώσεις διερχόμενης παροχής που εξετάστηκαν και προέκυψε εύρος με αρχή την τιμή  $Q_\phi = 0.806 m^3/s$ , τέλος την τιμή  $Q_\phi = 0.826 m^3/s$ . Η επιλογή του κατώτατου αυτού ορίου έγινε καθώς για τιμές διερχόμενης παροχής μικρότερης αυτής, η αξονική ταχύτητα στο ακροφύσιο Νο1 έπαιρνε τιμή  $0.4 m/s$  (σχήμα 5.7.7), ενώ από την άλλη πλευρά, τιμές διερχόμενης παροχής άνω του ανώτατου ορίου είχαν ως αποτέλεσμα αξονική ταχύτητα άνω της τιμής των  $2 m/s$  στο ακροφύσιο Νο10 (σχήμα 5.7.8). Κάθε νέα τιμή της αρχικής διερχόμενης παροχής αναλύεται σε ένα νέο πίνακα ανάλυσης δεδομένων όπως προηγούμενος, που τοποθετείται κάθε φορά σε νέο φύλλο εργασίας που εμπεριέχει και τις διάφορες γωνίες του διαχυτήρα. Κοινό χαρακτηριστικό των διάφορων φύλλων εργασίας είναι ότι κάθε φορά όλα τα αρχικά δεδομένα παραμένουν τα ίδια, με το μόνο που να διαφοροποιείται να είναι η αρχική αυθαιρέτως επιλαχούσα τιμή του συντελεστή συστολής  $C_d$  που εναρμονίζεται με την νέα παροχή φρεατίου φόρτισης.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
i (ακρ.)	x(i) (m)	Z <sub>0</sub> (i) (m)	Z <sub>p</sub> (i) (m)	D <sub>0</sub> (i) (m)	D <sub>p</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> (i)	E <sub>p</sub> (i) (m)	V <sub>p</sub> (i) (m/s)	H <sub>p</sub> (i) (m)	Q <sub>p</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>d</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>d</sub> (i) (m/s)	H <sub>d</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> '	D <sub>ex</sub> (%)	h <sub>f</sub> (i) (m)	F
1	1563.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.803	30.0	6.0653	2.263	<b>0.0383</b>	0.038	<b>0.4</b>	7.888	0.803	0.00	0.004	38.73

Σχήμα 5.7.7: Πρώτη γραμμή υδραυλικών υπολογισμών για απορριπτέα περίπτωση διερχόμενης παροχής  $Q_\phi = 0.800 m^3/s$ .

Κατά το σχήμα 5.7.7 διακρίνεται η πρώτη γραμμή υπολογισμών υδραυλικών μεγεθών για αγωγό με είκοσι ένα ακροφύσια και διερχόμενη παροχή  $Q_\phi = 0.800 \text{ m}^3/\text{s}$ . Παρατηρούμε ότι η περίπτωση αρχικής διερχόμενης παροχής αυτής δεν εξυπηρετεί τους περιορισμούς του πίνακα 5.2, καθώς η τιμή της αξονικής ταχύτητας στο ακροφύσιο No1 είναι υπό του ορίου των  $0.5 \text{ m/s}$ , οδηγώντας μας έτσι στην απόρριψη αυτής της διερχόμενης παροχής.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
i(ακρ.)	x(i) (m)	Z <sub>g</sub> (i) (m)	Z <sub>φ</sub> (i) (m)	D <sub>g</sub> (i) (m)	D <sub>φ</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> (i)	E <sub>φ</sub> (i) (m)	V <sub>φ</sub> (i) (m/s)	H <sub>φ</sub> (i) (m)	Q <sub>φ</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>d</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>d</sub> (i) (m/s)	H <sub>d</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> '	D <sub>ev</sub> (%)	h <sub>φ</sub> (i) (m)	F
1	1563.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.839	30.0	6.0653	2.263	<b>0.0400</b>	0.040	<b>0.5</b>	7.888	0.839	0.00	0.004	38.73
2	1560.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.839	30.0	6.0657	2.263	<b>0.0400</b>	0.080	<b>0.9</b>	7.889	0.838	0.00	0.016	38.73
3	1557.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.839	30.0	6.0673	2.264	<b>0.0400</b>	0.120	<b>1.4</b>	7.893	0.837	0.00	0.037	38.74
4	1554.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.839	29.8	6.0496	2.465	<b>0.0398</b>	0.160	<b>0.8</b>	8.061	0.838	0.00	0.008	38.63
5	1551.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.839	29.9	6.0504	2.466	<b>0.0399</b>	0.200	<b>1.0</b>	8.063	0.838	0.00	0.013	38.63
6	1548.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.839	29.9	6.0517	2.467	<b>0.0399</b>	0.239	<b>1.2</b>	8.066	0.838	0.00	0.018	38.64
7	1545.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.838	29.9	6.0536	2.468	<b>0.0399</b>	0.279	<b>1.4</b>	8.071	0.837	0.00	0.025	38.66
8	1542.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.838	29.9	6.0561	2.469	<b>0.0399</b>	0.319	<b>1.6</b>	8.077	0.836	0.00	0.033	38.67
9	1539.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.838	29.9	6.0594	2.471	<b>0.0399</b>	0.359	<b>1.8</b>	8.086	0.836	0.00	0.041	38.69
10	1536.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.838	30.0	6.0636	2.474	<b>0.0399</b>	0.399	<b>2.03</b>	8.096	0.835	0.00	0.051	38.72

Σχήμα 5.7.8: Πρώτες δέκα γραμμές για απορριπτέα περίπτωση διερχόμενης παροχής  $Q_\phi = 0.836 \text{ m}^3/\text{s}$ .

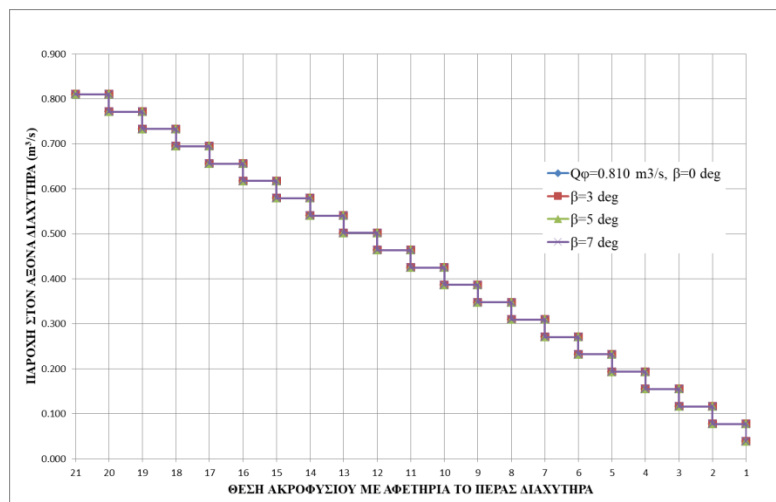
Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα (5.7.8), έχουμε τις πρώτες δέκα γραμμές που αφορούν την απορριπτέα περίπτωση για αρχική διερχόμενη παροχή  $Q_\phi = 0.836 \text{ m}^3/\text{s}$ . Γίνεται αντιληπτό πως για το ακροφύσιο No10 η αξονική ταχύτητα στη διατομή αυτή έχει τιμή άνω του ορίου της τάξης των  $2 \text{ m/s}$ , στοιχείο που μας αποτρέπει να αξιοποιήσουμε την διερχόμενη παροχή αυτή.

- **Περίπτωση διερχόμενης παροχής  $Q_\phi = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$  για μεταβλητής διατομής διαχυτήρα με είκοσι ένα ακροφύσια.**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
i(ακρ.)	x(i) (m)	Z <sub>g</sub> (i) (m)	Z <sub>φ</sub> (i) (m)	D <sub>g</sub> (i) (m)	D <sub>φ</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> (i)	E <sub>φ</sub> (i) (m)	V <sub>φ</sub> (i) (m/s)	H <sub>φ</sub> (i) (m)	Q <sub>φ</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>d</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>d</sub> (i) (m/s)	H <sub>d</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> '	D <sub>ev</sub> (%)	h <sub>φ</sub> (i) (m)	F
1	1563.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.813	30.0	6.0653	2.263	<b>0.0387</b>	0.039	<b>0.5</b>	7.888	0.813	0.00	0.004	38.73
2	1560.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.813	30.0	6.0657	2.263	<b>0.0387</b>	0.077	<b>0.9</b>	7.888	0.812	0.00	0.015	38.73
3	1557.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.813	30.0	6.0672	2.264	<b>0.0387</b>	0.116	<b>1.4</b>	7.892	0.811	0.00	0.035	38.74
4	1554.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.813	29.8	6.0492	2.465	<b>0.0386</b>	0.155	<b>0.8</b>	8.060	0.812	0.00	0.008	38.63
5	1551.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.813	29.8	6.0500	2.466	<b>0.0386</b>	0.193	<b>1.0</b>	8.062	0.812	0.00	0.012	38.63
6	1548.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.813	29.9	6.0512	2.466	<b>0.0386</b>	0.232	<b>1.2</b>	8.065	0.812	0.00	0.017	38.64
7	1545.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.812	29.9	6.0530	2.467	<b>0.0386</b>	0.271	<b>1.4</b>	8.070	0.811	0.00	0.024	38.65
8	1542.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.812	29.9	6.0554	2.469	<b>0.0386</b>	0.309	<b>1.6</b>	8.076	0.811	0.00	0.031	38.67
9	1539.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.812	29.9	6.0585	2.471	<b>0.0386</b>	0.348	<b>1.8</b>	8.083	0.810	0.00	0.039	38.69
10	1536.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.812	30.0	6.0624	2.473	<b>0.0387</b>	0.387	<b>2.0</b>	8.093	0.809	0.00	0.048	38.71
11	1533.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.812	29.7	6.0356	2.769	<b>0.0385</b>	0.425	<b>1.0</b>	8.339	0.812	0.00	0.008	38.54
12	1530.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.812	29.7	6.0364	2.770	<b>0.0385</b>	0.464	<b>1.0</b>	8.341	0.812	0.00	0.009	38.55
13	1527.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.812	29.7	6.0373	2.770	<b>0.0385</b>	0.502	<b>1.1</b>	8.344	0.812	0.00	0.011	38.55
14	1524.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.812	29.7	6.0384	2.771	<b>0.0385</b>	0.541	<b>1.2</b>	8.346	0.812	0.00	0.012	38.56
15	1521.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.812	29.7	6.0397	2.772	<b>0.0385</b>	0.579	<b>1.3</b>	8.349	0.811	0.00	0.014	38.57
16	1518.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.812	29.8	6.0411	2.773	<b>0.0385</b>	0.618	<b>1.4</b>	8.353	0.811	0.00	0.016	38.58
17	1515.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.811	29.8	6.0427	2.774	<b>0.0385</b>	0.656	<b>1.5</b>	8.357	0.811	0.00	0.018	38.59
18	1512.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.811	29.8	6.0446	2.775	<b>0.0385</b>	0.695	<b>1.6</b>	8.361	0.811	0.00	0.020	38.60
19	1509.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.811	29.8	6.0467	2.776	<b>0.0385</b>	0.733	<b>1.7</b>	8.367	0.810	0.00	0.023	38.61
20	1506.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.811	29.8	6.0490	2.777	<b>0.0385</b>	0.772	<b>1.7</b>	8.372	0.810	0.00	0.025	38.63
21	1503.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.811	29.9	6.0515	2.779	<b>0.0385</b>	0.810	<b>1.8</b>	8.379	0.810	0.00	0.028	38.64
start	1500.0									<b>Μεγ. απόκλιση=</b>	<b>0.0002</b>						

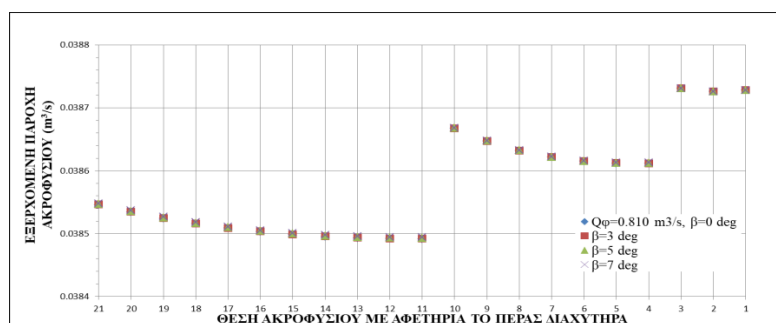
Σχήμα 5.8: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα με είκοσι ένα στόμια για διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης  $Q_\phi = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Συγκριτικά με τον πίνακα του σχήματος 5.7, ο πίνακας στο σχήμα 5.8 έχει ως πρώτη τιμή για τον συντελεστή συστολής  $C_{d,1} = 0.813$  αντί  $C_{d,1} = 0.807$  (αυξημένος κατά  $6 \times 10^{-3}$  μονάδες), χαρακτηριστικό που κατευθύνει την τιμή για την παροχή στον άξονα του διαχυτήρα στο ακροφύσιο No21 στην επιθυμητή, τουτέστιν  $Q_{d,30} = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$ . Στο σύνολο τους, όλα τα άλλα αρχικά δεδομένα διατηρούν ακριβώς την ίδια τιμή, ακριβώς όπως και στον πίνακα του σχήματος 5.7.



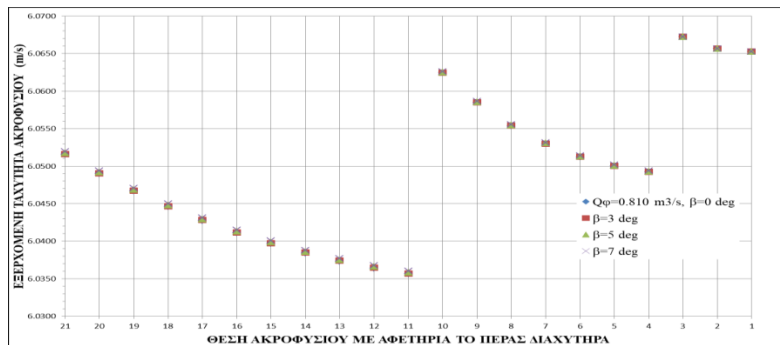
Σχήμα 5.8.1: Διάγραμμα παροχής λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα με είκοσι ένα στόμια για αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^\circ$ .

Παραπάνω (σχήμα 5.8.1), έχουμε την απεικόνιση της παροχής των λυμάτων στον άξονα του διαχυτή στον κατακόρυφο άξονα σε μονάδες  $\text{m}^3/\text{s}$ , για τις μελετώμενες διατομές που φέρουν ακροφύσια, όπως είναι διακριτό κατά τον οριζόντιο άξονα. Η αξονική παροχή ξεκινάει από την τιμή  $Q_{d,21} = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$  και κάθε φορά μειώνεται προσεγγιστικά κατά  $0.039 \text{ m}^3/\text{s}$ , έως ότου το ακροφύσιο No1 καταλήγει να έχει αξονική παροχή  $Q_{d,1} = 0.039 \text{ m}^3/\text{s}$ .



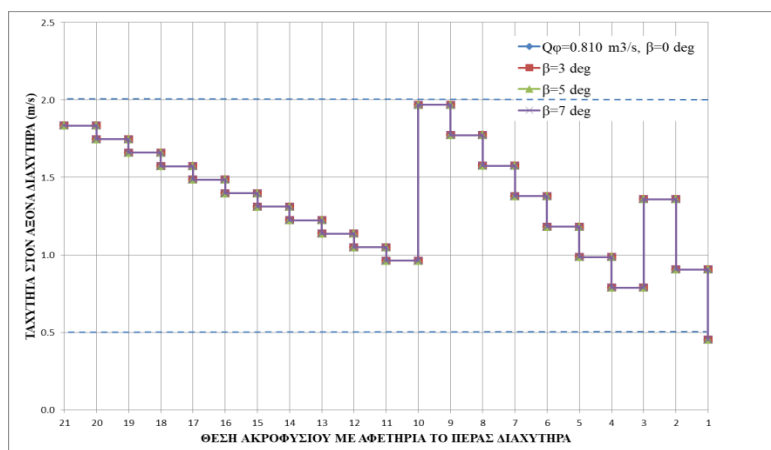
Σχήμα 5.8.2: Τιμές εξερχόμενης παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι ένα στόμια με αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^\circ$ .

Κατά το σχήμα 5.8.2 έχουμε τις τιμές της εκρέουσας παροχής από κάθε ακροφύσιο. Στον κατακόρυφο άξονα έχουμε την εξερχόμενη παροχή από τα ακροφύσια σε μονάδες  $m^3/s$  και στον οριζόντιο άξονα έχουμε τις διατομές μελέτης που υπάρχουν τα στόμια. Παρατηρείται και εδώ μια μικρή υπέρβαση του ορίου 0.02%, αλλά όπως και για τη περίπτωση του σχήματος 5.7.2, η στρογγυλοποίηση στο τέταρτο δεκαδικό ψηφίο οδηγεί στην αποδοχή του αποτελέσματος.



Σχήμα 5.8.3: Τιμές εξερχόμενης ταχύτητας λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι ένα στόμια με αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.810 m^3/s$  και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.

Παραπάνω, στο σχήμα 5.8.3 έχουμε τις τιμές της εξερχόμενης ταχύτητας λυμάτων που εδράζεται στον κατακόρυφο άξονα σε μονάδες  $m/s$  και τις θέσεις των στομιών πάνω στον διαχυτήρα κατά τον οριζόντιο άξονα. Είναι φανερό ότι στις αλλαγές διατομής του διαχυτήρα, έχουμε μεταξύ των ακροφυσίων Νο11 και Νο10 αύξηση κατά  $(6.0624-6.0356) m/s = 0.0268 m/s$  και ανάμεσα στα ακροφύσια Νο4 και Νο3 έχουμε αύξηση κατά  $(6.0672-6.0492) m/s = 0.018 m/s$ , όπου τις ίδιες τιμές διαφορών είχαμε και στη περίπτωση του σχήματος 5.7.3.



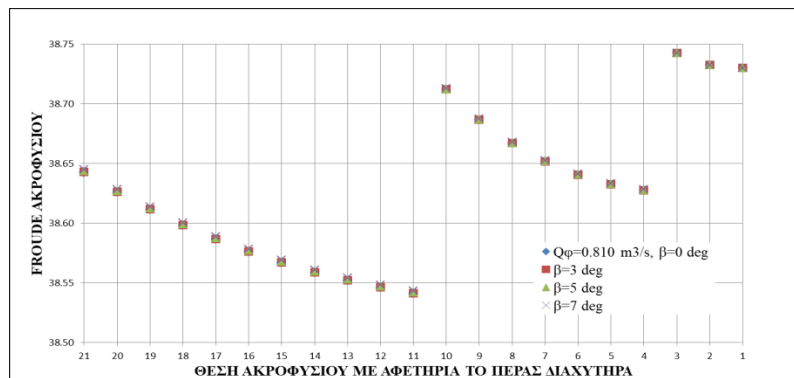
Σχήμα 5.8.4: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι ένα στόμια με αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.810 m^3/s$  και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.

Παραπάνω (σχήμα 5.8.4), παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας των λυμάτων σε μονάδες  $m/s$ , όπως φαίνεται στον κατακόρυφο άξονα, για τα είκοσι ένα στόμια μελέτης που τοποθετούνται κατά τον οριζόντιο άξονα. Γίνεται φανερό πως τηρούνται οι περιορισμοί για την αξονική ταχύτητα χωρίς να παρουσιάζονται προβλήματα στη ροή των λυμάτων.



Σχήμα 5.8.5: Τιμές συντελεστή συστολής  $C_d$  ανά διατομή ακροφυσίου για είκοσι ένα στόμια με  $Q_\phi=0.810 m^3/s$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^\circ$ .

Στο παραπάνω σχήμα (5.8.5) έχουμε τις τιμές του συντελεστή  $C_d$  (κατακόρυφος άξονας) για κάθε διατομή του διαχυτήρα (οριζόντιος άξονας). Για το ακροφύσιο Νο21 που εδράζεται στην αρχή του διαχυτήρα η τιμή του συντελεστή είναι  $0.811$  και σε κάθε επόμενη διατομή μειώνεται κατά  $0.0001$ .



Σχήμα 5.8.6: Τιμές αριθμού Froude ανά διατομή ακροφυσίου για είκοσι ένα στόμια με αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.810 m^3/s$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^\circ$ .

### • Αποτελέσματα

Συγκριτικά μεταξύ των ίδιων ποιοτικά διαγραμμάτων για τις δύο διαφορετικές περιπτώσεις διερχόμενης παροχής, οι διαφορές που εμφανίζονται είναι οι εξής:

- Το διάγραμμα παροχής στον άξονα του διαχυτήρα στη δεύτερη περίπτωση (σχήμα 5.8.1) έχει παρόμοια μορφή με την πρώτη περίπτωση (σχήμα 5.7.1), με τη διαφορά ότι η γραμμή είναι υψωμένη κατακόρυφα καθώς οι τιμές είναι προσ αυξημένες κατά  $(0.425-0.423) \text{ m}^3/\text{s} = 0.003 \text{ m}^3/\text{s}$  κατά τον μέσο όρο τους.
- Ακόμη, παρόμοια περίπτωση με τα ανωτέρω αποτελεί και η απεικόνιση της εκκρινόμενης παροχής, καθώς στη δεύτερη περίπτωση (σχήμα 5.8.2) υφίσταται μια κατακόρυφη ανύψωση κατά  $(0.0386-0.0384) = 0.0002$ , σύμφωνα με τη διαφορά των μέσων όρων των σχημάτων.
- Επιπλέον, η ταχύτητα των εκκρινόμενων λυμάτων έχει αυξηθεί στην δεύτερη περίπτωση (σχήμα 5.8.3), με βάση τον μέσο όρο των τιμών, κατά  $(6.05956-6.04937) \text{ m/s} = 0.01013 \text{ m/s}$  σε σχέση με την πρώτη περίπτωση (σχήμα 5.7.3).
- Επίσης, οι τιμές του διαγράμματος της ταχύτητας του άξονα του διαχυτήρα στην δεύτερη περίπτωση (σχήμα 5.8.4) έχουν αυξηθεί στον μέσο όρο τους κατά  $(1.321-1.315) \text{ m/s} = 0.006 \text{ m/s}$ .
- Το ίδιο ισχύει και για το σχήμα του συντελεστή συστολής  $C_d$ , καθώς στη δεύτερη περίπτωση (σχήμα 5.8.5) οι τιμές είναι υπερυψωμένες κατακόρυφα κατά  $0.812-0.808 = 0.004$ .
- Όσον αφορά το σχήμα για τον πυκνομετρικό αριθμό *Froude*, έτσι και εδώ, στην δεύτερη περίπτωση (σχήμα 5.8.6) παρατηρείται μια ανύψωση κατακόρυφα του σχήματος κατά  $38.630-38.628 = 0.0002$ , με βάση τη διαφορά των μέσων όρων των τιμών τους.

Στη συνέχεια, θα γίνει χρήση της τελευταίας αποδεκτής τιμής διερχόμενης παροχής του πίνακα 5.3 που αποτελεί την τελική τιμή του εύρους που προέκυψε.

- **Περίπτωση διερχόμενης παροχής  $Q_p = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$  για μεταβλητής διατομής διαχυτήρα με είκοσι ένα ακροφύσια.**

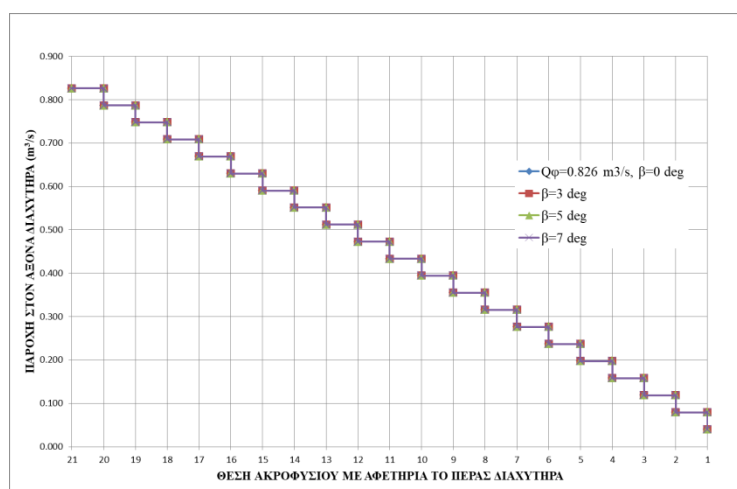


Παρακάτω, παρουσιάζονται για την τελευταία αποδεκτή τιμή της διερχόμενης παροχής  $Q_\varphi = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$  ο πίνακας με τα αντίστοιχα δεδομένα του και τα διαγράμματα που προκύπτουν.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ι(ακρ.)	x(i) (m)	Z <sub>α(i)</sub> (m)	Z <sub>β(i)</sub> (m)	D <sub>β(i)</sub> (m)	D <sub>ρ(i)</sub> (m)	C <sub>d(i)</sub>	E <sub>ρ(i)</sub> (m)	V <sub>ρ(i)</sub> (m/s)	H <sub>ρ(i)</sub> (m)	Q <sub>ρ(i)</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>α(i)</sub> (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>α(i)</sub> (m/s)	H <sub>α(i)</sub> (m)	C <sub>d'</sub>	D <sub>α(%)</sub>	h <sub>ρ(i)</sub> (m)	F
1	1563.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.829	30.0	6.0653	2.263	<b>0.0395</b>	0.039	<b>0.5</b>	7.888	0.829	0.00	0.004	38.73
2	1560.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.829	30.0	6.0657	2.263	<b>0.0395</b>	0.079	<b>0.9</b>	7.889	0.828	0.00	0.016	38.73
3	1557.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.829	30.0	6.0673	2.264	<b>0.0395</b>	0.118	<b>1.4</b>	7.893	0.827	0.00	0.036	38.74
4	1554.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.829	29.8	6.0494	2.465	<b>0.0394</b>	0.158	<b>0.8</b>	8.061	0.828	0.00	0.008	38.63
5	1551.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.829	29.9	6.0503	2.466	<b>0.0394</b>	0.197	<b>1.0</b>	8.063	0.828	0.00	0.013	38.63
6	1548.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.829	29.9	6.0515	2.467	<b>0.0394</b>	0.237	<b>1.2</b>	8.066	0.828	0.00	0.018	38.64
7	1545.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.828	29.9	6.0533	2.468	<b>0.0394</b>	0.276	<b>1.4</b>	8.071	0.827	0.00	0.025	38.65
8	1542.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.828	29.9	6.0558	2.469	<b>0.0394</b>	0.315	<b>1.6</b>	8.077	0.826	0.00	0.032	38.67
9	1539.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.828	29.9	6.0591	2.471	<b>0.0394</b>	0.355	<b>1.8</b>	8.085	0.826	0.00	0.041	38.69
10	1536.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.828	30.0	6.0632	2.474	<b>0.0394</b>	0.394	<b>2.0</b>	8.095	0.825	0.00	0.050	38.72
11	1533.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.828	29.7	6.0366	2.770	<b>0.0393</b>	0.433	<b>1.0</b>	8.342	0.828	0.00	0.008	38.55
12	1530.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.828	29.7	6.0374	2.770	<b>0.0393</b>	0.473	<b>1.1</b>	8.344	0.828	0.00	0.009	38.55
13	1527.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.828	29.7	6.0383	2.771	<b>0.0393</b>	0.512	<b>1.2</b>	8.346	0.828	0.00	0.011	38.56
14	1524.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.828	29.7	6.0395	2.772	<b>0.0393</b>	0.551	<b>1.2</b>	8.349	0.827	0.00	0.013	38.57
15	1521.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.828	29.8	6.0408	2.772	<b>0.0393</b>	0.591	<b>1.3</b>	8.352	0.827	0.00	0.015	38.57
16	1518.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.828	29.8	6.0423	2.773	<b>0.0393</b>	0.630	<b>1.4</b>	8.356	0.827	0.00	0.017	38.58
17	1515.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.827	29.8	6.0440	2.774	<b>0.0393</b>	0.669	<b>1.5</b>	8.360	0.827	0.00	0.019	38.59
18	1512.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.827	29.8	6.0459	2.776	<b>0.0393</b>	0.708	<b>1.6</b>	8.365	0.826	0.00	0.021	38.61
19	1509.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.827	29.8	6.0480	2.777	<b>0.0393</b>	0.748	<b>1.7</b>	8.370	0.826	0.00	0.024	38.62
20	1506.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.827	29.9	6.0504	2.778	<b>0.0393</b>	0.787	<b>1.8</b>	8.376	0.826	0.00	0.026	38.64
21	1503.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.827	29.9	6.0531	2.780	<b>0.0393</b>	0.826	<b>1.9</b>	8.382	0.826	0.00	0.029	38.65
start	1500.0							Μεγ. απόκλιση=		<b>0.0002</b>							

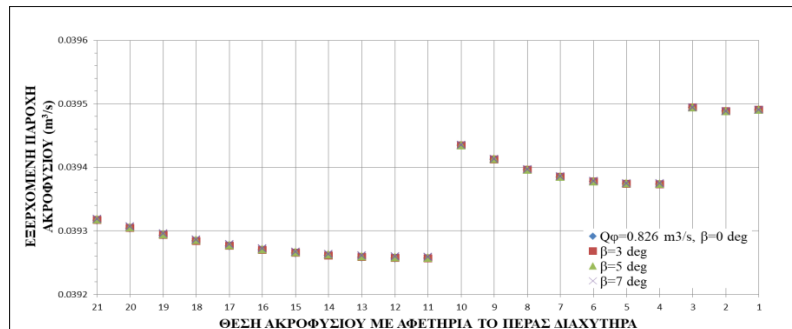
Σχήμα 5.9: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι ένα στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης  $Q_\varphi = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Όπως γίνεται διακριτό (σχήμα 5.9), η τροποποίηση που υπέστη ο πίνακας για να αποκτήσει την τελική του μορφή, αναφέρεται στην αρχική τιμή του συντελεστή συστολής  $C_d$ , ο οποίος προκειμένου να εξυπηρετήσει την διερχόμενη παροχή λαμβάνει τιμή  $C_{d,1} = 0.829$ . Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζουμε παροχή στον άξονα του διαχυτήρα στη διατομή του ακροφυσίου No21 ίση με την επιθυμητή. Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα που συνοδεύουν τον ανωτέρω πίνακα αποτελεσμάτων.



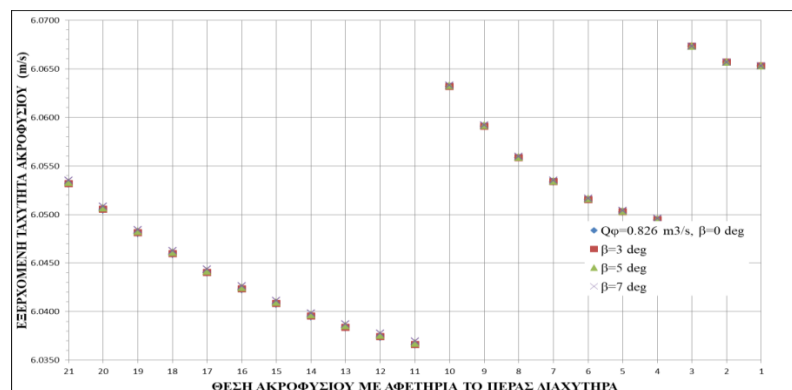
Σχήμα 5.9.1: Διάγραμμα παροχής λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα ανά διατομή ακροφυσίου για είκοσι ένα στόμια με αρχική παροχή  $Q_\varphi = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^\circ$ .

Κατά το σχήμα 5.9.1, έχουμε την παροχή που μελετάται στον άξονα του διαχυτήρα σε μονάδες  $m^3/s$  κατά τον κατακόρυφο άξονα και τις θέσεις των στομιών στον οριζόντιο άξονα. Παρατηρούμε ότι η γραμμή αρχίζει από την τιμή  $Q_d, 21 = 0.826 m^3/s$ , όπως ορίζει η παροχή πηγάζουσα του φρεατίου φόρτισης.



Σχήμα 5.9.2: Τιμές εξερχόμενης παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι ένα στομια με αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.826 m^3/s$  και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °.

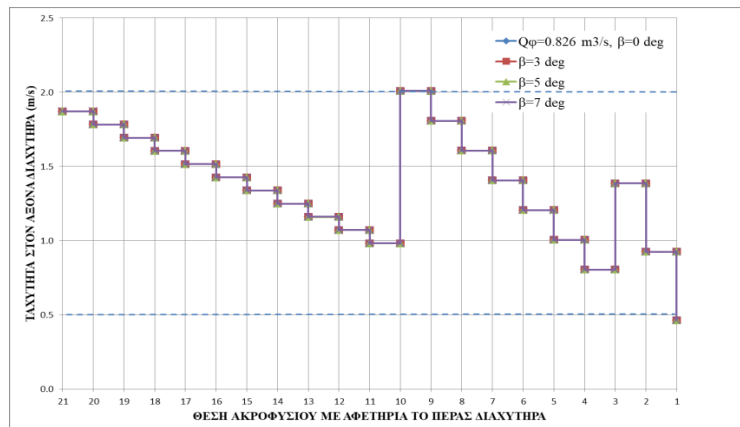
Στο σχήμα 5.9.2 έχουμε τις τιμές της εξερχόμενης παροχής στον κατακόρυφο άξονα σε μονάδες  $m^3/s$  και τις διατομές μελέτης που φέρουν ακροφύσια στον οριζόντιο άξονα για τη προκειμένη περίπτωση.



Σχήμα 5.9.3: Τιμές εξερχόμενης ταχύτητας λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι ένα ακροφύσια με αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.826 m^3/s$  και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα (5.9.3), προβάλλονται οι τιμές της εξερχόμενης ταχύτητας των λυμάτων σε μονάδες  $m/s$  σύμφωνα με τη θέση του ακροφυσίου, όπως σημειώνεται κατά τον οριζόντιο άξονα. Οι μεγάλες αποκλίσεις στις θέσεις αλλαγής διατομής βρίσκουν τόπο στο τμήμα μεταξύ ακροφυσίου No11 και ακροφυσίου No10 καθώς σημειώνεται αύξηση κατά  $(6.0632-6.0366) m/s = 0.0266 m/s$  και στο τμήμα μεταξύ ακροφυσίου No4 και No3, όπου έχουμε αύξηση κατά  $(6.0673-6.0494) m/s = 0.0179 m/s$ . Συγκριτικά με τη περίπτωση του σχήματος 5.8.3, οι

διαφορές εν προκειμένω μειώθηκαν κατά  $2 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  για το τμήμα ακροφυσίων Νο11 με Νο10 και κατά  $1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  για το τμήμα ακροφυσίων Νο4 με Νο3.



Σχήμα 5.9.4: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι ένα ακροφύσια με αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^{\circ}$ .

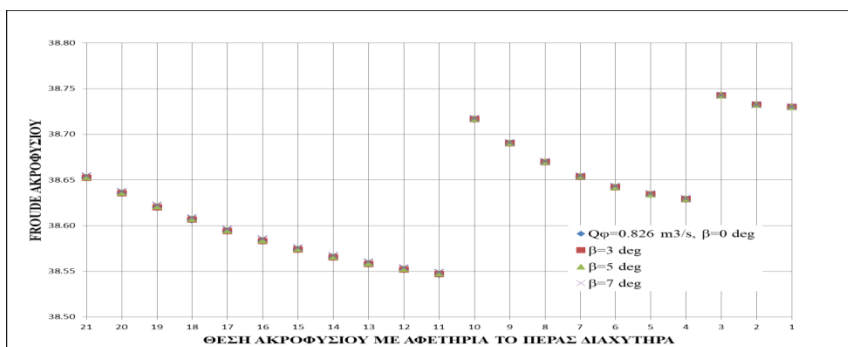
Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 5.9.4), έχουμε τη μεταβολή της ταχύτητας στον άξονα του διαχυτήρα σε μονάδες  $\text{m/s}$  στον κατακόρυφο άξονα, ενώ στον οριζόντιο άξονα έχουμε τις διατομές του διαχυτήρα που φέρουν ακροφύσια. Παρατηρούμε ότι για το ακροφύσιο Νο10 η τιμή της αξονικής ταχύτητας είναι  $V_{d, 10} = 2.008 \text{ m/s}$ , που με τη στρογγυλοποίηση στο πρώτο δεκαδικό ψηφίο η ταχύτητα λαμβάνει την ανώτατη οριακή τιμή της και για τον λόγο αυτό ορίζεται ως τελευταία αποδεκτή περίπτωση η διερχόμενη παροχή αυτή. Για τιμές διερχόμενης παροχής μεγαλύτερη από την μελετώμενη, η αξονική ταχύτητα στο ακροφύσιο Νο10 λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες του ορίου των  $2.0 \text{ m/s}$  με συνέπεια να τις απορρίπτουμε.



Σχήμα 5.9.5: Τιμές συντελεστή συστολής  $C_d$  ανά διατομή ακροφυσίου για είκοσι ένα ακροφύσια με διερχόμενη παροχή  $Q_{\phi} = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^{\circ}$ .

Κατά το παραπάνω σχήμα (5.9.5), έχουμε τις τιμές του αδιάστατου συντελεστή συστολής  $C_d$  όπως τοποθετείται στον κατακόρυφο άξονα σύμφωνα με τις διατομές του

διαχυτήρα που φέρουν στόμια που παρουσιάζονται κατά τον οριζόντιο άξονα. Η αρχή του διαχυτήρα που φιλοξενεί το ακροφύσιο No21 έχει τιμή  $C_d, 21 = 0.829$ , που είναι μεγαλύτερη σχετικά με την περίπτωση του σχήματος 5.8.5 κατά  $0.829-0.811 = 0.018$ . Το αποτέλεσμα της διαφοράς αυτής προσεγγίζει το αποτέλεσμα της διαφοράς των διερχόμενων παροχών, δηλαδή  $(0.826-0.810) m^3/s = 0.016 m^3/s$ . Αυτό είναι λογικό καθώς το αποτέλεσμα της διερχόμενης παροχής για το πλέον ανάντη ακροφύσιο ρυθμίζεται με την μεταβολή της τιμής του συντελεστή  $C_d$  για το πλέον κατάντη ακροφύσιο, σύμφωνα με τη δομή σύνταξης του πίνακα ανάλυσης δεδομένων στο υπολογιστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε.



Σχήμα 5.9.6.: Τιμές αριθμού *Froude* ανά διατομή ακροφυσίου για είκοσι ένα ακροφύσια με αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.826 m^3/s$  και γωνίες 0, 3, 5 και 7°.

Κατά το παραπάνω σχήμα (5.9.6), έχουμε τις τιμές του αδιάστατου πυκνομετρικού αριθμού *Froude* κατά τον κατακόρυφο άξονα, σύμφωνα με την διατομή μελέτης που φέρει στόμιο, όπως παρουσιάζεται στον οριζόντιο άξονα. Γίνεται διακριτό από τα προκύπτοντα σημεία ότι καθ'όλο το μήκος του διαχυτήρα ο αριθμός *Froude* λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες της τιμής 1.0.

#### • Αποτελέσματα

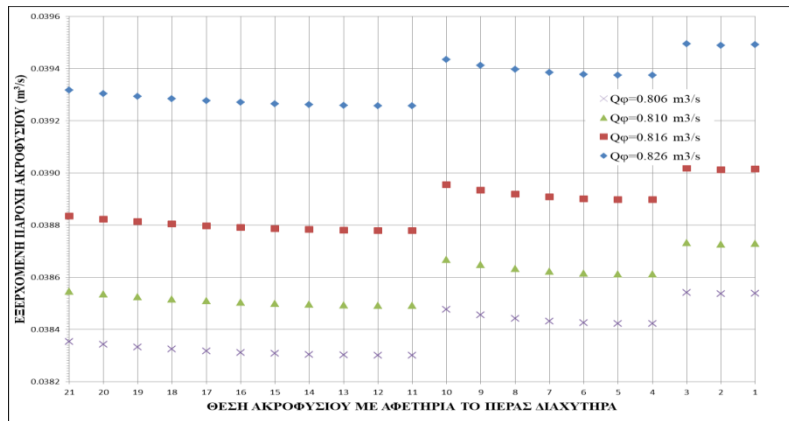
Συγκριτικά μεταξύ των διαγραμμάτων για την τελική αποδεκτή παροχή  $Q_\phi = 0.826 m^3/s$  και την αποδεκτή τιμή  $Q_\phi = 0.810 m^3/s$ , ως αξιοσημείωτα σημεία υπογραμμίζονται τα εξής:

- Αρχικά, έχει γίνει αύξηση της αρχικής παροχής κατά  $(0.826-0.810) m^3/s = 0.016 m^3/s$ , που ποσοστιαία αντιστοιχεί σε:

$$\frac{Q_{\text{τελ}} - Q_{\text{αρχ}}}{Q_{\text{αρχ}}} = \frac{0.826 - 0.810}{0.810} = 1.975\% \text{ αύξηση διερχόμενης παροχής.}$$

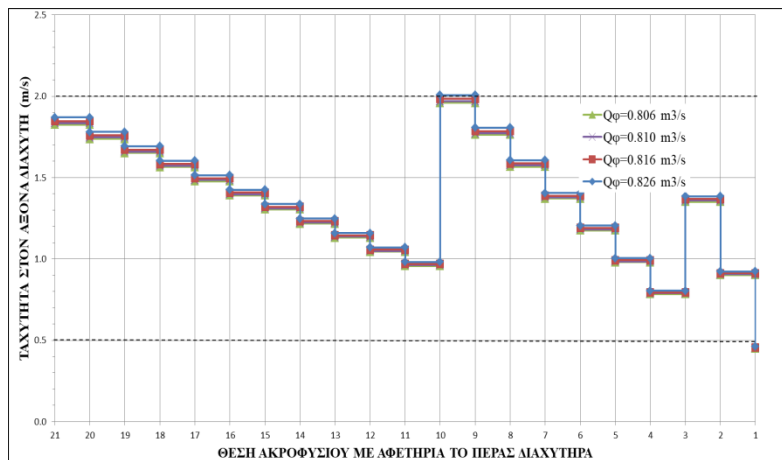
- Κατά δεύτερον, η ταχύτητα με την οποία διαθέτονται τα λύματα στον υδάτινο αποδέκτη έχει αυξηθεί κατά μέσο όρο κατά  $(6.05034 - 6.04956) \text{ m/s} = 0.00078 \text{ m/s}$ .
- Ακόμη, η ταχύτητα στον άξονα του διαχυτήρα έχει υποστεί αύξηση κατά μέσο όρο κατά  $(1.347 - 1.321) \text{ m/s} = 0.026 \text{ m/s}$ .
- Ύστερα, παρατηρείται αύξηση κατά  $(0.0393 - 0.0386) \text{ m}^3/\text{s} = 0.0007 \text{ m}^3/\text{s}$  στον μέσο όρο των τιμών που αντιπροσωπεύουν την εκρέουσα παροχή των ακροφυσίων.
- Πρόσθετα, εμφανίζεται αύξηση της παροχής στον άξονα του διαχυτήρα κατά  $(0.433 - 0.425) \text{ m}^3/\text{s} = 0.008 \text{ m}^3/\text{s}$ , σύμφωνα με τη διαφορά των μέσων όρων των τιμών τους.
- Έπειτα, έχουμε την αύξηση την τιμή του συντελεστή συστολής κατά  $0.828 - 0.812 = 0.016$  βάση της διαφοράς των μέσων όρων των τιμών των δύο περιπτώσεων.
- Εν κατακλείδι, σχετικά με τον πυκνομετρικό αριθμό *Froude*, συναντάμε αύξηση κατά  $38.634 - 38.630 = 0.004$ , αναφορικά με τον μέσο όρο των περιπτώσεων.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το παρακάτω συγκεντρωτικό σχήμα (5.9.7) που αναπαριστά την εκκρινόμενη παροχή ανά ακροφύσιο για τις αποδεκτές τιμές διερχόμενης παροχής σύμφωνα με τον πίνακα 5.3.



Σχήμα 5.9.7: Συγκεντρωτικό σχήμα εξερχόμενης παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα ανά διατομή ακροφυσίου με είκοσι ένα στόμια για τις αποδεκτές τιμές του πίνακα 5.3.

Η τιμή της διερχόμενης παροχής που θα χρησιμοποιηθεί για την περαιτέρω ανάλυση ευαισθησίας ως προς τον αριθμό των ακροφυσίων είναι η αποτελεσματικότερη από τις μελετώμενες περιπτώσεις (σχήμα 5.9.7) και γίνεται επιλογή της τιμής  $Q_{\phi} = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ο λόγος που προέκυψε το αποτέλεσμα αυτό είναι ότι σύμφωνα με το σχήμα 5.9.8 η αντίστοιχη γραμμή καταφέρνει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στις διακεκομμένες γραμμές χωρίς να τις ξεπερνάει.



Σχήμα 5.9.8: Συγκεντρωτικό διάγραμμα αξονικής ταχύτητας λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα ανά διατομή ακροφυσίου με είκοσι ένα στόμια για τις αποδεκτές τιμές του πίνακα 5.3.

Παραπάνω (σχήμα 5.9.8), έχουμε την απεικόνιση της αξονικής ταχύτητας για τις διάφορες αποδεκτές περιπτώσεις που ορίζει ο πίνακας 5.3 τοποθετούμενες στον κατακόρυφο άξονα σε μονάδες  $m/s$  και στον οριζόντιο άξονα έχουμε τις θέσεις του διαχυτήρα που υπάρχουν τα ακροφύσια. Προκύπτει ότι για την περίπτωση της  $Q_{\phi} = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$  η καμπύλη παραμένει εντός και όσο το δυνατόν πιο κοντά στα

διακεκομμένα όρια και συνεχίζουμε έτσι στην ανάλυση ευαισθησίας ως προς τον αριθμό των ακροφυσίων

#### 5.4.2.4 Ανάλυση ευαισθησίας ως προς το πλήθος των ακροφυσίων.

Ύστερα, για τις αποδεκτές τιμές του πίνακα 5.3 πραγματοποιήθηκε για κάθε μια τιμή ανάλυση ευαισθησίας ως προς το πλήθος των ακροφυσίων έτσι ώστε κάθε φορά να προσθέτουμε ή να αφαιρούμε ένα ακροφύσιο έως ότου δεν επαληθεύονται οι περιορισμοί του πίνακα 5.2. Ισχύει ότι όσο αυξάνει ο αριθμός ακροφυσίων, κατά επέκταση αυξάνει και το μήκος του διαχυτήρα, με συνέπεια να χρειάζεται περισσότερο χρονικό διάστημα στο οποίο λαμβάνει χώρα η αραίωση των λυμάτων, ούτως ώστε να αφομοιωθούν ομαλότερα από το υδάτινο οικοσύστημα που θα τα φιλοξενήσει. Η λογική της ανάλυσης αυτής, ορίζει ότι όλα τα αρχικά δεδομένα της πρώτης γραμμής του πίνακα δεδομένων διατηρούνται ίδια, με την διαφοροποίηση ότι προστίθεται ή αφαιρείται κάθε φορά ένα ακροφύσιο, έως ότου να μην ισχύουν οι περιορισμοί που αρχικώς έχουμε θέσει. Με βάση τα κριτήρια αυτά, έγινε μεταβολή στον αριθμό των ακροφυσίων στην αρχική ποσότητα των είκοσι ένα ακροφυσίων με διαφοροποίηση ως προς το κατάντη τμήμα του διαχυτήρα. Έπειτα από δοκιμές, οι περιπτώσεις που εξετάστηκαν είναι οι παρακάτω (πίνακας 5.4) και προέκυψαν τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

α/α	Τιμή παροχής $Q_{\phi}$ ( $m^3/s$ )	Αριθμός ακροφυσίων ( $N$ )	Αποτέλεσμα
1	0.806	20	Απορρίπτεται
2	0.806	21	Αποδεκτή
3	0.806	22	Απορρίπτεται
4	0.810	20	Απορρίπτεται
5	0.810	21	Αποδεκτή
6	0.810	22	Απορρίπτεται
7	0.816	20	Απορρίπτεται
8	0.816	21	Αποδεκτή
9	0.816	22	Απορρίπτεται
10	0.826	20	Απορρίπτεται
11	0.826	21	Αποδεκτή
12	0.826	22	Απορρίπτεται

Πίνακας 5.4: Ανάλυση ευαισθησίας ως προς το πλήθος των ακροφυσίων

Σύμφωνα με το παραπάνω (πίνακας 5.4), οι λόγοι που απορρίπτονται οι περιπτώσεις που εξετάστηκαν για αριθμό ακροφυσίων ίσο με  $N = 20$  είναι ότι παρατηρήθηκε η αξονική ταχύτητα του διαχυτήρα να έχει τιμή σε διατομή του μεγαλύτερη του ορίου των  $2 \text{ m/s}$ . Επιπρόσθετα και για τις τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις διερχόμενης παροχής και αριθμό ακροφυσίων ίσο με  $N = 22$  ο λόγος απόρριψης είναι επίσης κοινός, εφόσον δεν πληρούν τις προϋποθέσεις του πίνακα 5.2 σχετικά με την κατώτατη οριακή τιμή της τάξης του  $0.5 \text{ m/s}$  για την αξονική ταχύτητα που προέκυψε  $0.4 \text{ m/s}$  και τις μέγιστης απόκλισης μεταξύ της παροχής που εξέρχεται από τα ακροφύσια που προέκυψε  $0.0003 \text{ m}^3/\text{s}$ . Συμπερασματικά, αποδεκτές περιπτώσεις προέκυψαν μόνο για αριθμό ακροφυσίων  $N=21$  για όλες τις πιθανές διερχόμενες παροχές, επομένως η σύγκριση για εύρεση της αποτελεσματικότερης περίπτωσης βρίσκεται τόπο στη προηγούμενη ενότητα με την ανάλυση ευαισθησίας ως προς τη διερχόμενη παροχή (σχήμα 5.9.8).

- **Ανάλυση ευαισθησίας ως προς το πλήθος των ακροφυσίων ( $N=20, 22$ ) για διερχόμενη παροχή  $Q_\phi = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$ .**

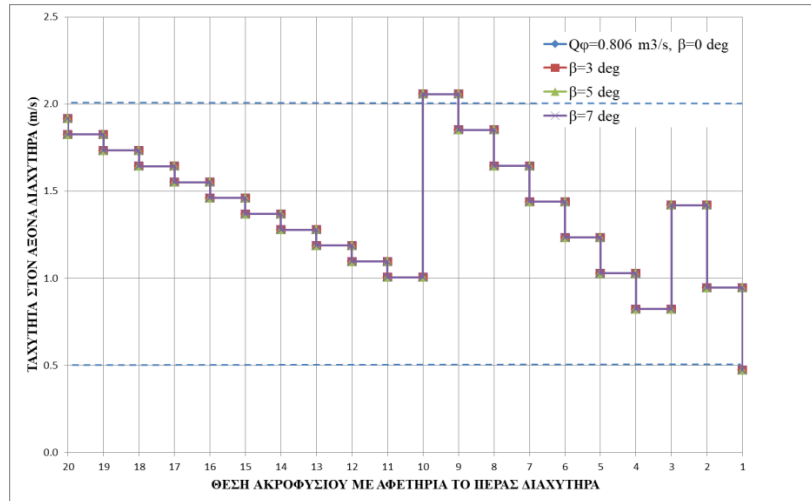
1. Για αριθμό ακροφυσίων  $N = 20$  και  $Q_\phi = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$ .

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
i(ακρ.)	x(i) (m)	Z <sub>a</sub> (i) (m)	Z <sub>p</sub> (i) (m)	D <sub>a</sub> (i) (m)	D <sub>p</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> (i)	E <sub>p</sub> (i) (m)	V <sub>p</sub> (i) (m/s)	H <sub>p</sub> (i) (m)	Q <sub>p</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>d</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>d</sub> (i) (m/s)	H <sub>d</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> '	D <sub>cs</sub> (%)	h <sub>f</sub> (i) (m)	F
1	1563.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.849	30.0	6.0653	2.263	<b>0.0404</b>	0.040	<b>0.5</b>	7.888	0.849	0.00	0.004	38.73
2	1560.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.849	30.0	6.0657	2.263	<b>0.0404</b>	0.081	<b>0.9</b>	7.889	0.848	0.00	0.017	38.73
3	1557.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.849	30.0	6.0674	2.264	<b>0.0404</b>	0.121	<b>1.4</b>	7.893	0.847	0.00	0.038	38.74
4	1554.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.849	29.8	6.0497	2.465	<b>0.0403</b>	0.162	<b>0.8</b>	8.062	0.848	0.00	0.008	38.63
5	1551.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.849	29.9	6.0506	2.466	<b>0.0403</b>	0.202	<b>1.0</b>	8.064	0.848	0.00	0.013	38.64
6	1548.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.849	29.9	6.0519	2.467	<b>0.0403</b>	0.242	<b>1.2</b>	8.067	0.847	0.00	0.019	38.64
7	1545.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.848	29.9	6.0538	2.468	<b>0.0403</b>	0.283	<b>1.4</b>	8.072	0.847	0.00	0.026	38.66
8	1542.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.848	29.9	6.0564	2.470	<b>0.0404</b>	0.323	<b>1.6</b>	8.078	0.846	0.00	0.034	38.67
9	1539.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.848	29.9	6.0598	2.472	<b>0.0404</b>	0.363	<b>1.9</b>	8.087	0.846	0.00	0.042	38.69
10	1536.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.848	30.0	6.0641	2.474	<b>0.0404</b>	0.404	<b>2.1</b>	8.097	0.845	0.00	0.052	38.72
11	1533.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.848	29.7	6.0378	2.771	<b>0.0402</b>	0.444	<b>1.0</b>	8.345	0.848	0.00	0.008	38.55
12	1530.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.848	29.7	6.0386	2.771	<b>0.0402</b>	0.484	<b>1.1</b>	8.347	0.848	0.00	0.010	38.56
13	1527.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.848	29.7	6.0396	2.772	<b>0.0402</b>	0.524	<b>1.2</b>	8.349	0.848	0.00	0.012	38.57
14	1524.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.848	29.8	6.0408	2.772	<b>0.0402</b>	0.565	<b>1.3</b>	8.352	0.847	0.00	0.014	38.57
15	1521.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.848	29.8	6.0422	2.773	<b>0.0402</b>	0.605	<b>1.4</b>	8.355	0.847	0.00	0.016	38.58
16	1518.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.848	29.8	6.0437	2.774	<b>0.0402</b>	0.645	<b>1.5</b>	8.359	0.847	0.00	0.018	38.59
17	1515.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.847	29.8	6.0455	2.775	<b>0.0402</b>	0.685	<b>1.6</b>	8.364	0.847	0.00	0.020	38.60
18	1512.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.847	29.8	6.0475	2.777	<b>0.0402</b>	0.726	<b>1.6</b>	8.369	0.846	0.00	0.022	38.62
19	1509.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.847	29.8	6.0498	2.778	<b>0.0403</b>	0.766	<b>1.7</b>	8.374	0.846	0.00	0.025	38.63
20	1506.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.847	29.9	6.0523	2.780	<b>0.0403</b>	0.806	<b>1.8</b>	8.381	0.846	0.00	0.028	38.65

Σχήμα 5.10: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης  $Q_\phi = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Κατά το παραπάνω (σχήμα 5.10) έχουμε τον πίνακα ανάλυσης δεδομένων που προέκυψε για διαχυτήρα μεταβλητής διατομής, με αριθμό ακροφυσίων  $N = 20$  και διερχόμενη παροχή  $Q_\varphi = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$ . Όπως γίνεται φανερό, η περίπτωση αυτή δεν γίνεται δεκτή καθώς για το ακροφύσιο No10 η αξονική ταχύτητα έχει τιμή  $V_d, 10 = 2.1 \text{ m/s}$ .



Σχήμα 5.10.1: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι ακροφύσια με αρχική παροχή  $Q_\varphi = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^\circ$ .

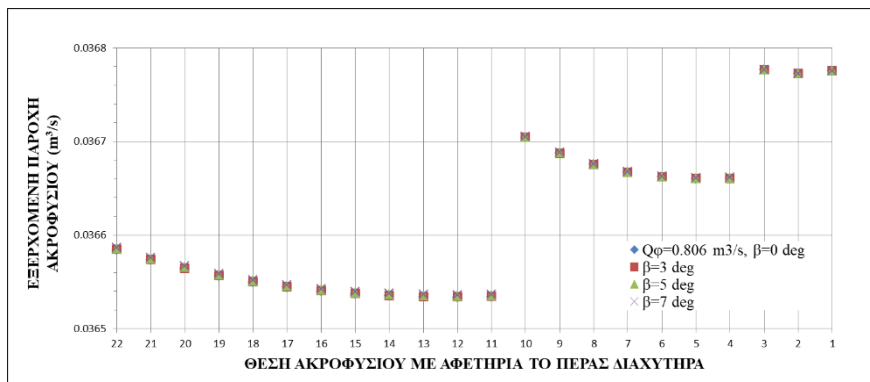
Κατά το παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 5.10.1), απεικονίζεται η αξονική ταχύτητα των λυμάτων σε μονάδες  $\text{m/s}$  κατά τον κατακόρυφο άξονα, για κάθε διατομή που υπάρχει στόμιο όπως φαίνεται στον οριζόντιο άξονα. Παρατηρούμε ότι στο ακροφύσιο No10 η γραμμή υπερβαίνει τη διακεκομμένη γραμμή που συμβολίζει το όριο των  $2 \text{ m/s}$ , επομένως η περίπτωση με τα είκοσι ακροφύσια δεν μας εξυπηρετεί.

2. Για αριθμό ακροφυσίων  $N = 22$  και  $Q_\phi = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$ .

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ι(ακρ.)	xi(ι) (m)	Z <sub>α</sub> (ι) (m)	Z <sub>β</sub> (ι) (m)	D <sub>α</sub> (ι) (m)	D <sub>β</sub> (ι) (m)	C <sub>d</sub> (ι)	E <sub>ρ</sub> (ι) (m)	V <sub>ρ</sub> (ι) (m/s)	H <sub>ρ</sub> (ι) (m)	Q <sub>ρ</sub> (ι) (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>α</sub> (ι) (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>α</sub> (ι) (m/s)	H <sub>α</sub> (ι) (m)	C <sub>d</sub>	D <sub>α</sub> (%)	h <sub>ρ</sub> (ι) (m)	F
1	1566.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.772	30.0	6.0653	2.263	<b>0.0368</b>	0.037	<b>0.4</b>	7.888	0.772	0.00	0.003	38.73
2	1563.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.772	30.0	6.0656	2.263	<b>0.0368</b>	0.074	<b>0.9</b>	7.888	0.771	0.00	0.014	38.73
3	1560.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.772	30.0	6.0670	2.264	<b>0.0368</b>	0.110	<b>1.3</b>	7.892	0.770	0.00	0.031	38.74
4	1557.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.772	29.8	6.0487	2.465	<b>0.0367</b>	0.147	<b>0.7</b>	8.059	0.771	0.00	0.007	38.62
5	1554.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.772	29.8	6.0494	2.465	<b>0.0367</b>	0.184	<b>0.9</b>	8.061	0.771	0.00	0.011	38.63
6	1551.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.772	29.9	6.0505	2.466	<b>0.0367</b>	0.220	<b>1.1</b>	8.063	0.771	0.00	0.016	38.64
7	1548.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.771	29.9	6.0521	2.467	<b>0.0367</b>	0.257	<b>1.3</b>	8.067	0.770	0.00	0.021	38.65
8	1545.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.771	29.9	6.0542	2.468	<b>0.0367</b>	0.294	<b>1.5</b>	8.073	0.770	0.00	0.028	38.66
9	1542.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.771	29.9	6.0570	2.470	<b>0.0367</b>	0.330	<b>1.7</b>	8.080	0.769	0.00	0.035	38.68
10	1539.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.771	30.0	6.0606	2.472	<b>0.0367</b>	0.367	<b>1.9</b>	8.088	0.769	0.00	0.043	38.70
11	1536.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.771	29.7	6.0333	2.768	<b>0.0365</b>	0.404	<b>0.9</b>	8.334	0.771	0.00	0.007	38.53
12	1533.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.771	29.7	6.0340	2.768	<b>0.0365</b>	0.440	<b>1.0</b>	8.335	0.771	0.00	0.008	38.53
13	1530.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.771	29.7	6.0348	2.769	<b>0.0365</b>	0.477	<b>1.1</b>	8.337	0.771	0.00	0.010	38.54
14	1527.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.771	29.7	6.0358	2.769	<b>0.0365</b>	0.513	<b>1.2</b>	8.340	0.771	0.00	0.011	38.54
15	1524.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.771	29.7	6.0369	2.770	<b>0.0365</b>	0.550	<b>1.2</b>	8.343	0.770	0.00	0.013	38.55
16	1521.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.771	29.7	6.0382	2.771	<b>0.0365</b>	0.586	<b>1.3</b>	8.346	0.770	0.00	0.015	38.56
17	1518.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.770	29.7	6.0397	2.772	<b>0.0365</b>	0.623	<b>1.4</b>	8.349	0.770	0.00	0.016	38.57
18	1515.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.770	29.8	6.0414	2.773	<b>0.0365</b>	0.659	<b>1.5</b>	8.354	0.770	0.00	0.018	38.58
19	1512.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.770	29.8	6.0433	2.774	<b>0.0366</b>	0.696	<b>1.6</b>	8.358	0.770	0.00	0.021	38.59
20	1509.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.770	29.8	6.0453	2.775	<b>0.0366</b>	0.732	<b>1.7</b>	8.363	0.769	0.00	0.023	38.60
21	1506.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.770	29.8	6.0476	2.777	<b>0.0366</b>	0.769	<b>1.7</b>	8.369	0.769	0.00	0.025	38.62
22	1503.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.770	29.9	6.0502	2.778	<b>0.0366</b>	0.806	<b>1.8</b>	8.375	0.769	0.00	0.027	38.63
start	1500.0									Μεγ. απόκλιση=	<b>0.0003</b>						

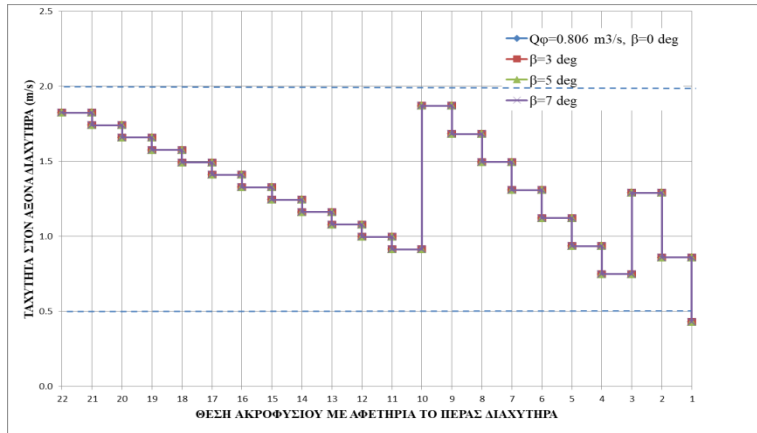
Σχήμα 5.10.2: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι δύο στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης  $Q_\phi = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Κατά τον παραπάνω πίνακα (σχήμα 5.10.2), έχουμε τους υπολογισμούς των υδραυλικών μεγεθών για κάθε ακροφύσιο για διαχυτήρα μεταβλητής διατομής, με αριθμό ακροφυσίων  $N = 22$  και διερχόμενη παροχή  $Q_\phi = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$ . Προέκυψε το αποτέλεσμα ότι, για το ακροφύσιο Νο1 η αξονική ταχύτητα έχει τιμή κάτω του ορίου των  $0.5 \text{ m/s}$ , καθώς και η απόκλιση της εκρέουσας παροχής έχει τιμή  $Q_{p, \max} - Q_{p, \min} = 0.0368 - 0.0365 = 0.0003 > 0.0002$ , που αποτελεί το ανώτατο όριο. Άρα και εδώ η περίπτωση αυτή δεν μας εξυπηρετεί.



Σχήμα 5.10.3: Τιμές εξερχόμενης παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι δύο στόμια με αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.806 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^\circ$ .

Κατά το παραπάνω, (σχήμα 5.10.3), παρουσιάζεται η εκρέουσα παροχή από τα ακροφύσια σε μονάδες  $m^3/s$  κατά τον κατακόρυφο άξονα για κάθε διατομή που φέρει στόμιο όπως τοποθετείται κατά τον οριζόντιο άξονα για τη προκειμένη περίπτωση.



Σχήμα 5.10.4: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι δύο ακροφύσια με αρχική παροχή  $Q_0 = 0.806 m^3/s$  και γωνίες 0, 3, 5 και 7°.

Παραπάνω (σχήμα 5.10.4), έχουμε την αξονική ταχύτητα στον διαχυτήρα σε μονάδες  $m/s$  τοποθετούμενη στον κατακόρυφο άξονα, για κάθε διατομή που φέρει στόμιο, όπως φαίνεται στον οριζόντιο άξονα. Συμπεραίνουμε ότι στο ακροφύσιο Νο1 η αξονική ταχύτητα είναι  $V_{d, 1} = 0.4 m/s$ , στοιχείο που μας προτρέπει να μην δεχθούμε την περίπτωση με τα είκοσι δύο ακροφύσια ως ορθή.

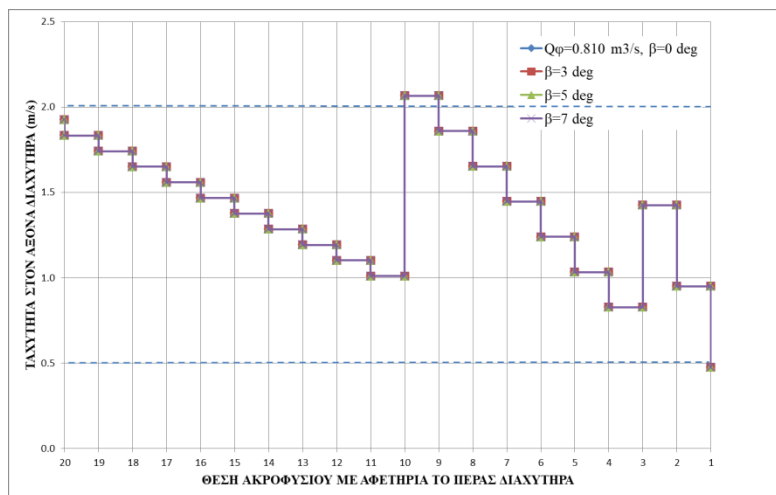
- Ανάλυση ευαισθησίας ως προς το πλήθος των ακροφυσίων ( $N=20, 22$ ) για διερχόμενη παροχή  $Q_\phi = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$ .

1. Για αριθμό ακροφυσίων  $N = 20$  και  $Q_\phi = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$ .

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ί(ακρ.)	χ(ί) (m)	Z <sub>α</sub> (ί) (m)	Z <sub>β</sub> (ί) (m)	D <sub>α</sub> (ί) (m)	D <sub>β</sub> (ί) (m)	C <sub>α</sub> (ί)	E <sub>α</sub> (ί) (m)	V <sub>α</sub> (ί) (m/s)	H <sub>α</sub> (ί) (m)	Q <sub>α</sub> (ί) (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>β</sub> (ί) (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>β</sub> (ί) (m/s)	H <sub>β</sub> (ί) (m)	C <sub>β</sub> '	D <sub>α</sub> (%)	h <sub>β</sub> (ί) (m)	F
1	1563.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.853	30.0	6.0653	2.263	<b>0.0406</b>	0.041	<b>0.5</b>	7.888	0.853	0.00	0.004	38.73
2	1560.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.853	30.0	6.0657	2.263	<b>0.0406</b>	0.081	<b>1.0</b>	7.889	0.852	0.00	0.017	38.73
3	1557.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.853	30.0	6.0674	2.264	<b>0.0406</b>	0.122	<b>1.4</b>	7.893	0.851	0.00	0.038	38.74
4	1554.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.853	29.8	6.0498	2.465	<b>0.0405</b>	0.162	<b>0.8</b>	8.062	0.852	0.00	0.008	38.63
5	1551.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.853	29.9	6.0506	2.466	<b>0.0405</b>	0.203	<b>1.0</b>	8.064	0.852	0.00	0.013	38.64
6	1548.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.853	29.9	6.0520	2.467	<b>0.0405</b>	0.243	<b>1.2</b>	8.067	0.851	0.00	0.019	38.64
7	1545.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.852	29.9	6.0539	2.468	<b>0.0405</b>	0.284	<b>1.4</b>	8.072	0.851	0.00	0.026	38.66
8	1542.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.852	29.9	6.0565	2.470	<b>0.0405</b>	0.325	<b>1.7</b>	8.078	0.850	0.00	0.034	38.67
9	1539.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.852	29.9	6.0600	2.472	<b>0.0406</b>	0.365	<b>1.9</b>	8.087	0.850	0.00	0.043	38.70
10	1536.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.852	30.0	6.0643	2.474	<b>0.0406</b>	0.406	<b>2.1</b>	8.098	0.849	0.00	0.053	38.72
11	1533.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.852	29.7	6.0380	2.771	<b>0.0404</b>	0.446	<b>1.0</b>	8.345	0.852	0.00	0.008	38.56
12	1530.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.852	29.7	6.0389	2.771	<b>0.0404</b>	0.486	<b>1.1</b>	8.347	0.852	0.00	0.010	38.56
13	1527.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.852	29.7	6.0399	2.772	<b>0.0404</b>	0.527	<b>1.2</b>	8.350	0.852	0.00	0.012	38.57
14	1524.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.852	29.8	6.0411	2.773	<b>0.0404</b>	0.567	<b>1.3</b>	8.353	0.851	0.00	0.014	38.58
15	1521.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.852	29.8	6.0425	2.773	<b>0.0404</b>	0.608	<b>1.4</b>	8.356	0.851	0.00	0.016	38.58
16	1518.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.852	29.8	6.0440	2.774	<b>0.0404</b>	0.648	<b>1.5</b>	8.360	0.851	0.00	0.018	38.59
17	1515.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.851	29.8	6.0458	2.776	<b>0.0404</b>	0.689	<b>1.6</b>	8.365	0.851	0.00	0.020	38.61
18	1512.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.851	29.8	6.0479	2.777	<b>0.0404</b>	0.729	<b>1.7</b>	8.370	0.850	0.00	0.023	38.62
19	1509.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.851	29.9	6.0502	2.778	<b>0.0404</b>	0.769	<b>1.7</b>	8.375	0.850	0.00	0.025	38.63
20	1506.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.851	29.9	6.0527	2.780	<b>0.0405</b>	0.810	<b>1.8</b>	8.381	0.850	0.00	0.028	38.65

Σχήμα 5.10.5: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης  $Q_\phi = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Σχετικά με το παραπάνω (σχήμα 5.10.5), παρουσιάζεται ο απορριπτός πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών για αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$  και αριθμό ακροφυσίων  $N = 20$ . Οδηγούμαστε στο να μην αποδεχτούμε ως ορθά τα αποτελέσματα που προέκυψαν καθώς στο ακροφύσιο No10 η αξονική ταχύτητα έχει τιμή άνω του ορίου των  $2 \text{ m/s}$ .



Σχήμα 5.10.6: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι ακροφύσια με αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^\circ$ .

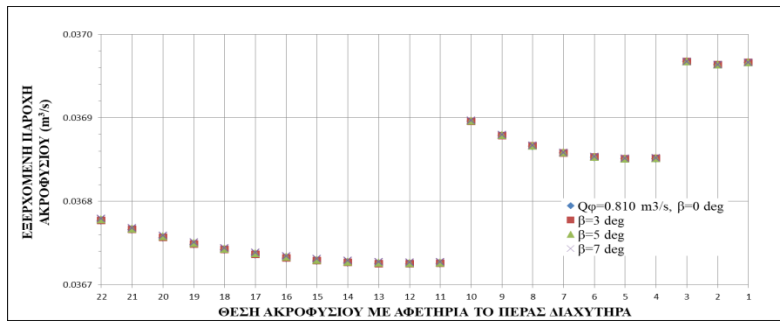
Στο παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 5.10.6), έχουμε την γραμμή που περιγράφει τη μεταβολή της αξονικής ταχύτητας στον διαχυτήρα σε μονάδες  $m/s$  κατά τον κατακόρυφο άξονα, ανά θέση ακροφυσίου όπως διακρίνεται από τον οριζόντιο άξονα. Απορρίπτουμε αυτή τη περίπτωση με είκοσι ακροφύσια, καθώς η καμπύλη στη θέση του ακροφυσίου No10 έχει τιμή  $V_d 10 = 2.1 m/s$ .

2. Για αριθμό ακροφυσίων  $N = 22$  και  $Q_\phi = 0.810 m^3/s$ .

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ι(ακρ.)	xi(i) (m)	Z <sub>α</sub> (i) (m)	Z <sub>β</sub> (i) (m)	D <sub>α</sub> (i) (m)	D <sub>β</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> (i)	E <sub>β</sub> (i) (m)	V <sub>β</sub> (i) (m/s)	H <sub>β</sub> (i) (m)	Q <sub>β</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>α</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>α</sub> (i) (m/s)	H <sub>α</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> '	D <sub>α</sub> (%)	h <sub>β</sub> (i) (m)	F
1	1566.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.776	30.0	6.0653	2.263	<b>0.0370</b>	0.037	<b>0.4</b>	7.888	0.776	0.00	0.004	38.73
2	1563.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.776	30.0	6.0656	2.263	<b>0.0370</b>	0.074	<b>0.9</b>	7.888	0.775	0.00	0.014	38.73
3	1560.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.776	30.0	6.0670	2.264	<b>0.0370</b>	0.111	<b>1.3</b>	7.892	0.774	0.00	0.032	38.74
4	1557.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.776	29.8	6.0487	2.465	<b>0.0369</b>	0.148	<b>0.8</b>	8.059	0.775	0.00	0.007	38.62
5	1554.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.776	29.8	6.0494	2.465	<b>0.0369</b>	0.185	<b>0.9</b>	8.061	0.775	0.00	0.011	38.63
6	1551.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.776	29.9	6.0506	2.466	<b>0.0369</b>	0.221	<b>1.1</b>	8.064	0.775	0.00	0.016	38.64
7	1548.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.775	29.9	6.0522	2.467	<b>0.0369</b>	0.258	<b>1.3</b>	8.068	0.774	0.00	0.021	38.65
8	1545.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.775	29.9	6.0543	2.468	<b>0.0369</b>	0.295	<b>1.5</b>	8.073	0.774	0.00	0.028	38.66
9	1542.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.775	29.9	6.0572	2.470	<b>0.0369</b>	0.332	<b>1.7</b>	8.080	0.773	0.00	0.035	38.68
10	1539.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.775	30.0	6.0608	2.472	<b>0.0369</b>	0.369	<b>1.9</b>	8.089	0.773	0.00	0.044	38.70
11	1536.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.775	29.7	6.0335	2.768	<b>0.0367</b>	0.406	<b>0.9</b>	8.334	0.775	0.00	0.007	38.53
12	1533.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.775	29.7	6.0342	2.768	<b>0.0367</b>	0.442	<b>1.0</b>	8.336	0.775	0.00	0.008	38.53
13	1530.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.775	29.7	6.0351	2.769	<b>0.0367</b>	0.479	<b>1.1</b>	8.338	0.775	0.00	0.010	38.54
14	1527.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.775	29.7	6.0361	2.769	<b>0.0367</b>	0.516	<b>1.2</b>	8.340	0.775	0.00	0.011	38.54
15	1524.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.775	29.7	6.0372	2.770	<b>0.0367</b>	0.553	<b>1.3</b>	8.343	0.774	0.00	0.013	38.55
16	1521.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.775	29.7	6.0385	2.771	<b>0.0367</b>	0.589	<b>1.3</b>	8.346	0.774	0.00	0.015	38.56
17	1518.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.774	29.8	6.0400	2.772	<b>0.0367</b>	0.626	<b>1.4</b>	8.350	0.774	0.00	0.017	38.57
18	1515.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.774	29.8	6.0417	2.773	<b>0.0367</b>	0.663	<b>1.5</b>	8.354	0.774	0.00	0.019	38.58
19	1512.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.774	29.8	6.0436	2.774	<b>0.0367</b>	0.700	<b>1.6</b>	8.359	0.774	0.00	0.021	38.59
20	1509.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.774	29.8	6.0457	2.775	<b>0.0368</b>	0.736	<b>1.7</b>	8.364	0.773	0.00	0.023	38.60
21	1506.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.774	29.8	6.0480	2.777	<b>0.0368</b>	0.773	<b>1.7</b>	8.370	0.773	0.00	0.025	38.62
22	1503.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.774	29.9	6.0506	2.778	<b>0.0368</b>	0.810	<b>1.8</b>	8.376	0.773	0.00	0.028	38.64
start	1500.0							Μεγ. απόκλιση=		<b>0.0003</b>							

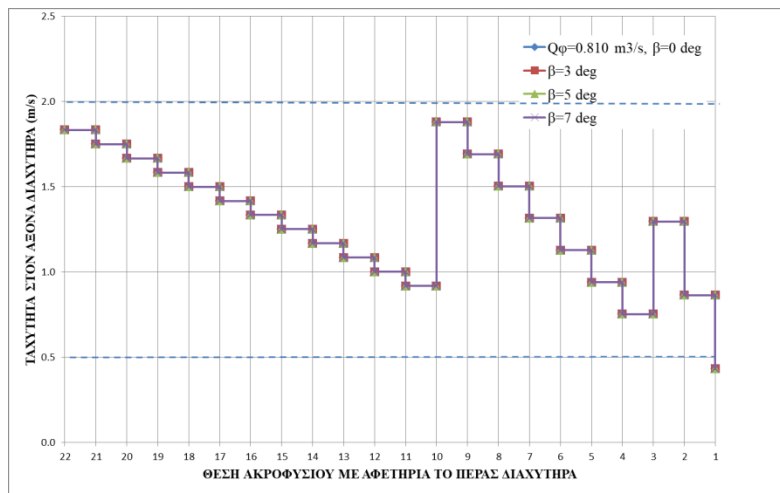
Σχήμα 5.10.7: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι δύο στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης  $Q_\phi = 0.810 m^3/s$ .

Κατά το παραπάνω (σχήμα 5.10.7), έχουμε τον απορριπτό πίνακα υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών για το διαχυτήρα που έχει παροχή φρεατίου φόρτισης  $Q_\phi = 0.810 m^3/s$  και φέρει είκοσι δύο στόμια. Συμπεραίνουμε ότι δεν δύναται να φέρει ο διαχυτήρας είκοσι δύο στόμια και να έχει ορθή λειτουργία, διότι αφενός για το ακροφύσιο No1 η αξονική ταχύτητα είναι κάτω του ορίου των  $0.5 m/s$  και αφετέρου για το λόγο ότι η απόκλιση ανάμεσα στις παροχές που εξέρχονται από τα στόμια είναι άνω του ορίου της τάξης του  $0.02\%$ , εφόσον από τον πίνακα είναι φανερό ότι  $(0.0370-0.0367) m^3/s = 0.0003 m^3/s$ .



Σχήμα 5.10.8: Τιμές εξερχόμενης παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι δύο στόμια με αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^{\circ}$

Στο παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 5.10.8) απεικονίζονται οι τιμές της εκρέουσας παροχής σε μονάδες  $\text{m}^3/\text{s}$  όπως τοποθετούνται στον κατακόρυφο άξονα, για κάθε διατομή ακροφυσίου όπως φαίνεται στον οριζόντιο άξονα. Προέκυψε ότι η καμπύλη υπερβαίνει κατά  $0.01\%$  το όριο για τη μέγιστη απόκλιση παροχής ακροφυσίων οπότε η περίπτωση για τα είκοσι δύο ακροφύσια απορρίπτεται.



Σχήμα 5.10.9: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι δύο ακροφύσια με αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^{\circ}$ .

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 5.10.9), έχουμε την μεταβολή της αξονικής ταχύτητας στο τμήμα του διαχυτήρα σε μονάδες  $\text{m}/\text{s}$  κατά τον κατακόρυφο άξονα για κάθε διατομή που υπάρχει στόμιο όπως φαίνεται από τον οριζόντιο άξονα. Διακρίνεται ότι για το ακροφύσιο Νο1 η αξονική ταχύτητα είναι αρκετά κάτω από το όριο των  $0.5 \text{ m}/\text{s}$  και επομένως απορρίπτεται και αυτή η περίπτωση.

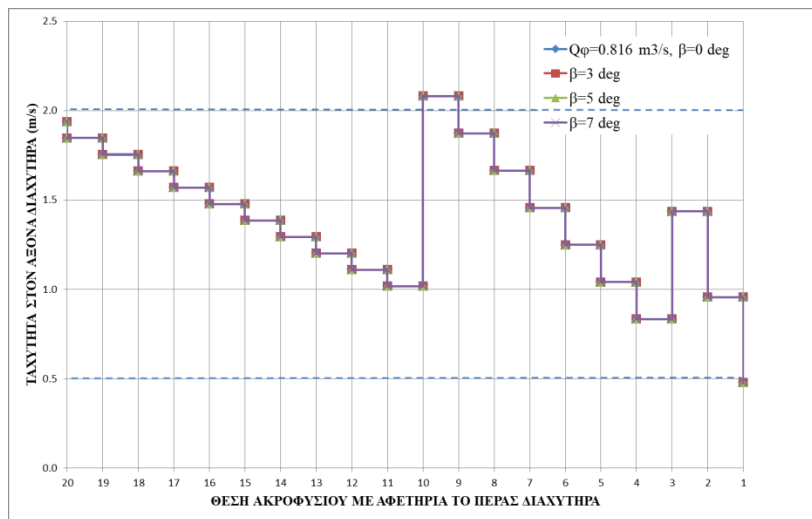
- Ανάλυση ευαισθησίας ως προς το πλήθος των ακροφυσίων ( $N=20, 22$ ) για διερχόμενη παροχή  $Q_\phi = 0.816 \text{ m}^3/\text{s}$ .

1. Για αριθμό ακροφυσίων  $N = 20$  και  $Q_\phi = 0.816 \text{ m}^3/\text{s}$ .

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
i (ακρ.)	x(i) (m)	Z <sub>0</sub> (i) (m)	Z <sub>p</sub> (i) (m)	D <sub>0</sub> (i) (m)	D <sub>p</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> (i)	E <sub>p</sub> (i) (m)	V <sub>p</sub> (i) (m/s)	H <sub>p</sub> (i) (m)	Q <sub>p</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>d</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>d</sub> (i) (m/s)	H <sub>d</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> '	D <sub>ex</sub> (%)	h <sub>f</sub> (i) (m)	F
1	1563.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.859	30.0	6.0653	2.263	<b>0.0409</b>	0.041	<b>0.5</b>	7.888	0.859	0.00	0.004	38.73
2	1560.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.859	30.0	6.0657	2.263	<b>0.0409</b>	0.082	<b>1.0</b>	7.889	0.858	0.00	0.017	38.73
3	1557.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.859	30.0	6.0674	2.264	<b>0.0409</b>	0.123	<b>1.4</b>	7.893	0.857	0.00	0.039	38.74
4	1554.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.859	29.8	6.0499	2.465	<b>0.0408</b>	0.164	<b>0.8</b>	8.062	0.858	0.00	0.009	38.63
5	1551.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.859	29.9	6.0507	2.466	<b>0.0408</b>	0.204	<b>1.0</b>	8.064	0.858	0.00	0.013	38.64
6	1548.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.859	29.9	6.0521	2.467	<b>0.0408</b>	0.245	<b>1.2</b>	8.067	0.857	0.00	0.019	38.65
7	1545.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.858	29.9	6.0541	2.468	<b>0.0408</b>	0.286	<b>1.5</b>	8.072	0.857	0.00	0.026	38.66
8	1542.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.858	29.9	6.0567	2.470	<b>0.0408</b>	0.327	<b>1.7</b>	8.079	0.856	0.00	0.034	38.68
9	1539.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.858	29.9	6.0602	2.472	<b>0.0408</b>	0.368	<b>1.9</b>	8.087	0.856	0.00	0.043	38.70
10	1536.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.858	30.0	6.0646	2.475	<b>0.0409</b>	0.409	<b>2.1</b>	8.098	0.855	0.00	0.054	38.73
11	1533.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.858	29.7	6.0384	2.771	<b>0.0407</b>	0.449	<b>1.0</b>	8.346	0.858	0.00	0.009	38.56
12	1530.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.858	29.7	6.0392	2.771	<b>0.0407</b>	0.490	<b>1.1</b>	8.348	0.858	0.00	0.010	38.56
13	1527.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.858	29.8	6.0403	2.772	<b>0.0407</b>	0.531	<b>1.2</b>	8.351	0.858	0.00	0.012	38.57
14	1524.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.858	29.8	6.0415	2.773	<b>0.0407</b>	0.571	<b>1.3</b>	8.354	0.857	0.00	0.014	38.58
15	1521.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.858	29.8	6.0429	2.774	<b>0.0407</b>	0.612	<b>1.4</b>	8.357	0.857	0.00	0.016	38.59
16	1518.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.858	29.8	6.0445	2.775	<b>0.0407</b>	0.653	<b>1.5</b>	8.361	0.857	0.00	0.018	38.60
17	1515.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.857	29.8	6.0463	2.776	<b>0.0407</b>	0.693	<b>1.6</b>	8.366	0.857	0.00	0.020	38.61
18	1512.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.857	29.8	6.0484	2.777	<b>0.0407</b>	0.734	<b>1.7</b>	8.371	0.856	0.00	0.023	38.62
19	1509.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.857	29.9	6.0507	2.779	<b>0.0407</b>	0.775	<b>1.8</b>	8.377	0.856	0.00	0.025	38.64
20	1506.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.857	29.9	6.0533	2.780	<b>0.0407</b>	0.816	<b>1.8</b>	8.383	0.856	0.00	0.028	38.65

Σχήμα 5.10.10: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης  $Q_\phi = 0.816 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Κατά το παραπάνω (σχήμα 5.10.10), παρουσιάζεται ο πίνακας υπολογισμού των υδραυλικών μεγεθών στις διατομές των ακροφυσίων, για περίπτωση αγωγού μεταβλητής διατομής, με είκοσι ακροφύσια και διερχόμενη παροχή  $Q_\phi = 0.816 \text{ m}^3/\text{s}$ . Παρατηρήθηκε και εδώ, όπως στο σχήμα 5.10.4, ότι για το ακροφύσιο Νο10 η αξονική του ταχύτητα υπερβαίνει το όριο των  $2 \text{ m/s}$ , επομένως απορρίπτουμε αυτή τη περίπτωση ως ορθή.



Σχήμα 5.10.11: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι ακροφύσια με αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.816 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^\circ$ .

Αναφορικά με το παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 5.10.11), έχουμε την γραμμή που αντιπροσωπεύει την αξονική ταχύτητα στο τμήμα του διαχυτήρα σε μονάδες  $m/s$  καθώς τοποθετείται στον κατακόρυφο άξονα, για κάθε διατομή του διαχυτήρα που φέρει ακροφύσιο κατά τον οριζόντιο άξονα. Γίνεται φανερό ότι για το ακροφύσιο Νο10 η καμπύλη υπερβαίνει το όριο των  $2 m/s$ , επομένως δεν μας εξυπηρετεί αυτή η περίπτωση.

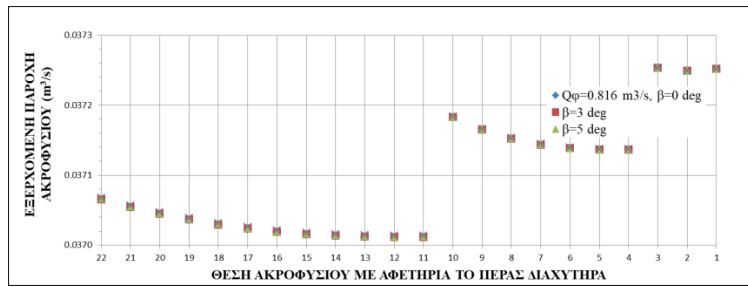
2. Για αριθμό ακροφυσίων  $N = 22$  και  $Q_{\phi} = 0.816 m^3/s$ .

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$i(\text{ακρ.})$	$x(i)$ (m)	$Z_d(i)$ (m)	$Z_p(i)$ (m)	$D_d(i)$ (m)	$D_p(i)$ (m)	$C_d(i)$	$E_p(i)$ (m)	$V_p(i)$ (m/s)	$H_p(i)$ (m)	$Q_d(i)$ ( $m^3/s$ )	$Q_p(i)$ ( $m^3/s$ )	$V_d(i)$ (m/s)	$H_d(i)$ (m)	$C_d'$	$D_{ex}(\%)$	$h_f(i)$ (m)	F
1	1566.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.782	30.0	6.0653	2.263	<b>0.0373</b>	0.037	<b>0.4</b>	7.888	0.782	0.00	0.004	38.73
2	1563.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.782	30.0	6.0656	2.263	<b>0.0372</b>	0.075	<b>0.9</b>	7.888	0.781	0.00	0.014	38.73
3	1560.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.782	30.0	6.0671	2.264	<b>0.0373</b>	0.112	<b>1.3</b>	7.892	0.780	0.00	0.032	38.74
4	1557.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.782	29.8	6.0488	2.465	<b>0.0371</b>	0.149	<b>0.8</b>	8.059	0.781	0.00	0.007	38.62
5	1554.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.782	29.8	6.0495	2.465	<b>0.0371</b>	0.186	<b>0.9</b>	8.061	0.781	0.00	0.011	38.63
6	1551.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.782	29.9	6.0507	2.466	<b>0.0371</b>	0.223	<b>1.1</b>	8.064	0.781	0.00	0.016	38.64
7	1548.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.781	29.9	6.0523	2.467	<b>0.0371</b>	0.260	<b>1.3</b>	8.068	0.780	0.00	0.022	38.65
8	1545.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.781	29.9	6.0545	2.468	<b>0.0372</b>	0.297	<b>1.5</b>	8.073	0.780	0.00	0.028	38.66
9	1542.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.781	29.9	6.0574	2.470	<b>0.0372</b>	0.335	<b>1.7</b>	8.080	0.779	0.00	0.036	38.68
10	1539.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.781	30.0	6.0610	2.472	<b>0.0372</b>	0.372	<b>1.9</b>	8.090	0.778	0.00	0.044	38.70
11	1536.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.781	29.7	6.0338	2.768	<b>0.0370</b>	0.409	<b>0.9</b>	8.335	0.781	0.00	0.007	38.53
12	1533.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.781	29.7	6.0346	2.769	<b>0.0370</b>	0.446	<b>1.0</b>	8.337	0.781	0.00	0.008	38.53
13	1530.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.781	29.7	6.0354	2.769	<b>0.0370</b>	0.483	<b>1.1</b>	8.339	0.781	0.00	0.010	38.54
14	1527.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.781	29.7	6.0364	2.770	<b>0.0370</b>	0.520	<b>1.2</b>	8.341	0.781	0.00	0.011	38.55
15	1524.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.781	29.7	6.0376	2.770	<b>0.0370</b>	0.557	<b>1.3</b>	8.344	0.780	0.00	0.013	38.55
16	1521.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.781	29.7	6.0389	2.771	<b>0.0370</b>	0.594	<b>1.3</b>	8.347	0.780	0.00	0.015	38.56
17	1518.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.780	29.8	6.0404	2.772	<b>0.0370</b>	0.631	<b>1.4</b>	8.351	0.780	0.00	0.017	38.57
18	1515.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.780	29.8	6.0422	2.773	<b>0.0370</b>	0.668	<b>1.5</b>	8.355	0.780	0.00	0.019	38.58
19	1512.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.780	29.8	6.0441	2.774	<b>0.0370</b>	0.705	<b>1.6</b>	8.360	0.779	0.00	0.021	38.59
20	1509.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.780	29.8	6.0462	2.776	<b>0.0370</b>	0.742	<b>1.7</b>	8.365	0.779	0.00	0.023	38.61
21	1506.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.780	29.8	6.0486	2.777	<b>0.0371</b>	0.779	<b>1.8</b>	8.371	0.779	0.00	0.026	38.62
22	1503.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.780	29.9	6.0512	2.779	<b>0.0371</b>	0.816	<b>1.8</b>	8.378	0.779	0.00	0.028	38.64
start	1500.0									Μεγ. απόκλιση=	<b>0.0003</b>						

Σχήμα 5.10.12: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι δύο στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης  $Q_{\phi} = 0.816 m^3/s$ .

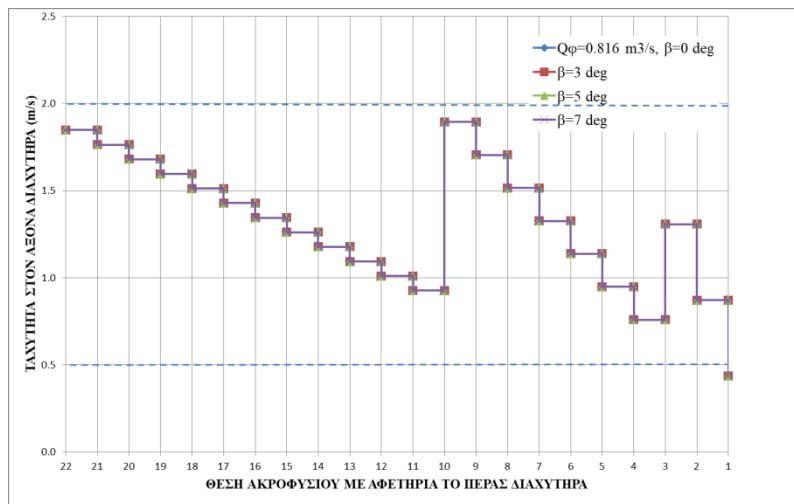
Παραπάνω (σχήμα 5.10.12), έχουμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με τα υδραυλικά μεγέθη στις διατομές των ακροφυσίων για αγωγό μεταβλητής διατομής ο οποίος συνολικά φέρει είκοσι δύο στόμια και έχει διερχόμενη παροχή  $Q_{\phi} = 0.816 m^3/s$ . Η περίπτωση αυτή απορρίπτεται αφενός διότι έχουμε αξονική ταχύτητα στο ακροφύσιο Νο1 κάτω του επιτρεπτού ορίου των  $0.5 m/s$  καθώς και αφετέρου η μέγιστη απόκλιση ανάμεσα στην παροχή που εξέρχεται των ακροφυσίων έχει τιμή  $(0.0373-0.0370) m^3/s = 0.0003 m^3/s > 0.0002 m^3/s$ , που είναι το ανώτατο όριο σύμφωνα με τον πίνακα 5.2.





Σχήμα 5.10.13: Τιμές εξερχόμενης παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι δύο στόμια με αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.816 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °

Κατά το παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 5.10.13), έχουμε τις τιμές της εξερχόμενης από τα στόμια του διαχυτήρα παροχής σε μονάδες  $\text{m}^3/\text{s}$  όπως τοποθετείται στον κατακόρυφο άξονα, σχετικά με τη θέση στομίου κατά το διαχυτήρα, όπως ορίζει ο οριζόντιος άξονας. Προκύπτει ότι η καμπύλη κατακόρυφα ξεφεύγει του ορίου του 0.02%, επομένως ούτε αυτή η περίπτωση μας εξυπηρετεί.



Σχήμα 5.10.14: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι δύο ακροφύσια με αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.816 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες 0, 3, 5 και 7 °

Στο παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 5.10.14) έχουμε την αξονική ταχύτητα του διαχυτήρα σε μονάδες  $\text{m}/\text{s}$  που λαμβάνει χώρα στον κατακόρυφο άξονα ανάλογα τη διατομή μελέτης που φέρει ακροφύσιο, όπως γίνεται διακριτό από τον οριζόντιο άξονα. Απορρίπτουμε αυτή τη περίπτωση ανάλυσης ευαισθησίας ως προς το πλήθος ακροφυσίων γιατί μας δημιουργεί πρόβλημα στο ακροφύσιο No1 καθώς η αξονική ταχύτητα στη διατομή αυτή έχει τιμή  $V_d, I = 0.4 \text{ m}/\text{s}$ .

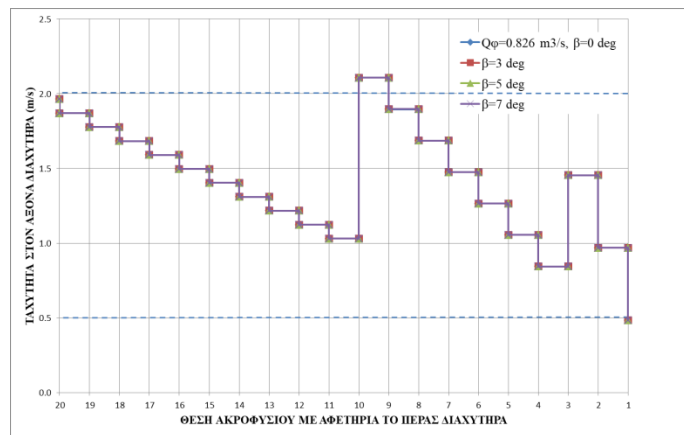
- Ανάλυση ευαισθησίας ως προς το πλήθος των ακροφυσίων ( $N = 20, 22$ ) για διερχόμενη παροχή  $Q_\phi = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$ .

1. Για αριθμό ακροφυσίων  $N = 20$  και  $Q_\phi = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$ .

i (ακρ.)	x(i) (m)	Z <sub>g</sub> (i) (m)	Z <sub>φ</sub> (i) (m)	D <sub>g</sub> (i) (m)	D <sub>φ</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> (i)	E <sub>p</sub> (i) (m)	V <sub>p</sub> (i) (m/s)	H <sub>p</sub> (i) (m)	Q <sub>g</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>φ</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>d</sub> (i) (m/s)	H <sub>d</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> '	D <sub>ex</sub> (%)	h <sub>f</sub> (i) (m)	F
1	1563.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.870	30.0	6.0653	2.263	<b>0.0414</b>	0.041	<b>0.5</b>	7.888	0.870	0.00	0.004	38.73
2	1560.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.870	30.0	6.0657	2.263	<b>0.0414</b>	0.083	<b>1.0</b>	7.889	0.869	0.00	0.018	38.73
3	1557.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.870	30.0	6.0675	2.264	<b>0.0414</b>	0.124	<b>1.5</b>	7.893	0.868	0.00	0.040	38.74
4	1554.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.870	29.8	6.0500	2.466	<b>0.0413</b>	0.166	<b>0.8</b>	8.062	0.869	0.00	0.009	38.63
5	1551.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.870	29.9	6.0509	2.466	<b>0.0413</b>	0.207	<b>1.1</b>	8.065	0.869	0.00	0.014	38.64
6	1548.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.870	29.9	6.0523	2.467	<b>0.0413</b>	0.248	<b>1.3</b>	8.068	0.868	0.00	0.020	38.65
7	1545.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.869	29.9	6.0543	2.468	<b>0.0413</b>	0.290	<b>1.5</b>	8.073	0.868	0.00	0.027	38.66
8	1542.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.869	29.9	6.0570	2.470	<b>0.0414</b>	0.331	<b>1.7</b>	8.080	0.867	0.00	0.035	38.68
9	1539.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.869	30.0	6.0606	2.472	<b>0.0414</b>	0.372	<b>1.9</b>	8.088	0.866	0.00	0.045	38.70
10	1536.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.869	30.0	6.0651	2.475	<b>0.0414</b>	0.414	<b>2.1</b>	8.100	0.866	0.00	0.055	38.73
11	1533.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.869	29.7	6.0391	2.771	<b>0.0412</b>	0.455	<b>1.0</b>	8.348	0.869	0.00	0.009	38.56
12	1530.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.869	29.7	6.0399	2.772	<b>0.0412</b>	0.496	<b>1.1</b>	8.350	0.869	0.00	0.010	38.57
13	1527.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.869	29.8	6.0410	2.773	<b>0.0412</b>	0.537	<b>1.2</b>	8.353	0.869	0.00	0.012	38.57
14	1524.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.869	29.8	6.0422	2.773	<b>0.0412</b>	0.579	<b>1.3</b>	8.356	0.868	0.00	0.014	38.58
15	1521.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.869	29.8	6.0437	2.774	<b>0.0412</b>	0.620	<b>1.4</b>	8.359	0.868	0.00	0.016	38.59
16	1518.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.869	29.8	6.0453	2.775	<b>0.0412</b>	0.661	<b>1.5</b>	8.363	0.868	0.00	0.019	38.60
17	1515.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.868	29.8	6.0472	2.776	<b>0.0412</b>	0.702	<b>1.6</b>	8.368	0.867	0.00	0.021	38.61
18	1512.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.868	29.8	6.0493	2.778	<b>0.0413</b>	0.744	<b>1.7</b>	8.373	0.867	0.00	0.023	38.63
19	1509.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.868	29.9	6.0517	2.779	<b>0.0413</b>	0.785	<b>1.8</b>	8.379	0.867	0.00	0.026	38.64
20	1506.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.868	29.9	6.0543	2.781	<b>0.0413</b>	0.826	<b>1.9</b>	8.386	0.867	0.00	0.029	38.66

Σχήμα 5.10.15: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης  $Q_\phi = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Στον παραπάνω πίνακα (σχήμα 5.10.15) έχουμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν σχετικά με τα υπολογιζόμενα υδραυλικά μεγέθη για διαχυτήρα μεταβλητής διατομής ο οποίος φέρει είκοσι ακροφύσια και έχει διερχόμενη παροχή  $Q_\phi = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$ . Όπως γίνεται φανερό, στο ακροφύσιο Νο10 παρατηρείται μη επιτρεπτή τιμή της αξονικής ταχύτητας ( $V_d, 10 = 2.1 \text{ m/s} > 2 \text{ m/s}$ ), επομένως και αυτή η περίπτωση απορρίπτεται.



Σχήμα 5.10.16: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι ακροφύσια με αρχική παροχή  $Q_\phi = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $\theta, 3, 5$  και  $7^\circ$

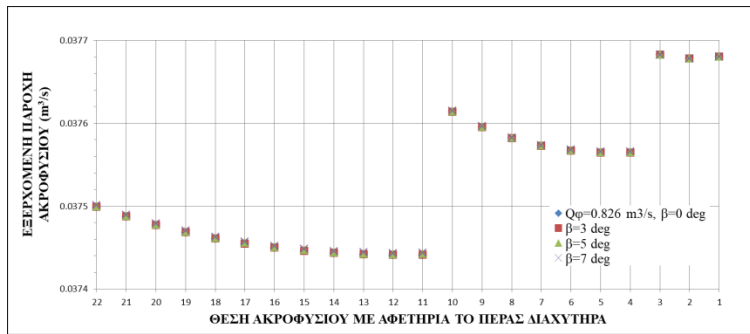
Στο ανωτέρω διάγραμμα (σχήμα 5.10.16), έχουμε την αξονική ταχύτητα στο διαχυτήρα σε μονάδες  $m/s$  τοποθετημένη στον κατακόρυφο άξονα για κάθε τιμή μελέτης που αντιστοιχεί σε ακροφύσιο που επί τούτου γίνεται χρήση του οριζόντιου άξονα. Έτσι και εδώ, στο ακροφύσιο Νο10 φαίνεται πως η γραμμή της αξονικής ταχύτητας υπερβαίνει το όριο των  $2 m/s$ , επομένως δεν μας εξυπηρετεί η ανάλυση ευαισθησίας αυτή.

2. Για αριθμό ακροφυσίων  $N = 22$  και  $Q_{\phi} = 0.826 m^3/s$ .

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
i(ακρ.)	x(i) (m)	Z <sub>α</sub> (i) (m)	Z <sub>β</sub> (i) (m)	D <sub>α</sub> (i) (m)	D <sub>β</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub> (i)	E <sub>β</sub> (i) (m)	V <sub>β</sub> (i) (m/s)	H <sub>β</sub> (i) (m)	Q <sub>β</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>α</sub> (i) (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>α</sub> (i) (m/s)	H <sub>α</sub> (i) (m)	C <sub>d</sub>	D <sub>α</sub> (%)	h <sub>f</sub> (i) (m)	F
1	1566.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.791	30.0	6.0653	2.263	0.0377	0.038	0.791	7.888	0.791	0.00	0.004	38.73
2	1563.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.791	30.0	6.0656	2.263	0.0377	0.075	0.9	7.888	0.790	0.00	0.015	38.73
3	1560.0	16.50	15.50	0.33	0.10	0.791	30.0	6.0671	2.264	0.0377	0.113	1.3	7.892	0.789	0.00	0.033	38.74
4	1557.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.791	29.8	6.0489	2.465	0.0376	0.151	0.8	8.060	0.790	0.00	0.007	38.63
5	1554.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.791	29.8	6.0497	2.465	0.0376	0.188	1.0	8.061	0.790	0.00	0.011	38.63
6	1551.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.791	29.9	6.0508	2.466	0.0376	0.226	1.1	8.064	0.790	0.00	0.016	38.64
7	1548.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.790	29.9	6.0525	2.467	0.0376	0.263	1.3	8.068	0.789	0.00	0.022	38.65
8	1545.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.790	29.9	6.0547	2.468	0.0376	0.301	1.5	8.074	0.789	0.00	0.029	38.66
9	1542.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.790	29.9	6.0577	2.470	0.0376	0.338	1.7	8.081	0.788	0.00	0.037	38.68
10	1539.0	25.00	24.00	0.50	0.10	0.790	30.0	6.0614	2.473	0.0376	0.376	1.9	8.090	0.787	0.00	0.046	38.71
11	1536.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.790	29.7	6.0344	2.768	0.0374	0.414	0.9	8.336	0.790	0.00	0.007	38.53
12	1533.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.790	29.7	6.0351	2.769	0.0374	0.451	1.0	8.338	0.790	0.00	0.009	38.54
13	1530.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.790	29.7	6.0360	2.769	0.0374	0.488	1.1	8.340	0.790	0.00	0.010	38.54
14	1527.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.790	29.7	6.0370	2.770	0.0374	0.526	1.2	8.343	0.790	0.00	0.012	38.55
15	1524.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.790	29.7	6.0382	2.771	0.0374	0.563	1.3	8.346	0.789	0.00	0.013	38.56
16	1521.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.790	29.7	6.0395	2.772	0.0374	0.601	1.4	8.349	0.789	0.00	0.015	38.57
17	1518.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.789	29.8	6.0411	2.773	0.0375	0.638	1.4	8.353	0.789	0.00	0.017	38.58
18	1515.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.789	29.8	6.0429	2.774	0.0375	0.676	1.5	8.357	0.789	0.00	0.019	38.59
19	1512.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.789	29.8	6.0448	2.775	0.0375	0.713	1.6	8.362	0.788	0.00	0.022	38.60
20	1509.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.789	29.8	6.0470	2.776	0.0375	0.751	1.7	8.367	0.788	0.00	0.024	38.61
21	1506.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.789	29.8	6.0494	2.778	0.0375	0.788	1.8	8.373	0.788	0.00	0.026	38.63
22	1503.0	37.50	36.50	0.75	0.10	0.789	29.9	6.0521	2.779	0.0375	0.826	1.9	8.380	0.788	0.00	0.029	38.65
start	1500.0									Μεγ. απόκλιση=	0.0003						

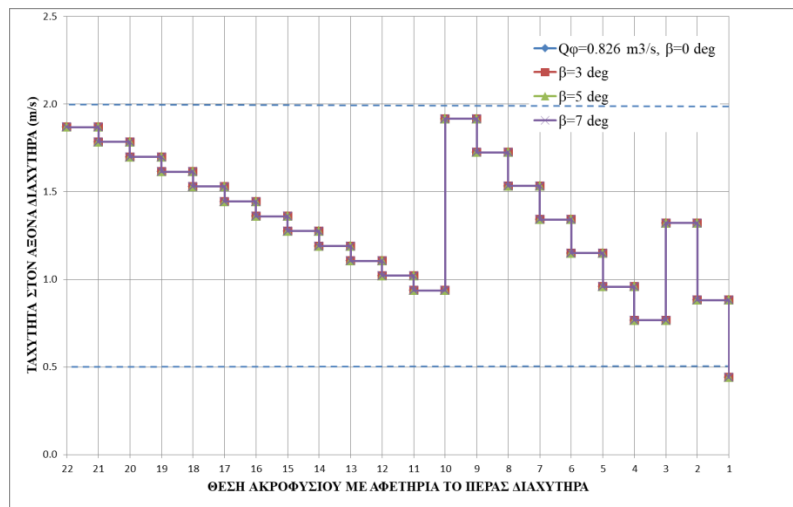
Σχήμα 5.10.17: Πίνακας υπολογισμού υδραυλικών μεγεθών διαχυτήρα σε κάθε ακροφύσιο για είκοσι δύο στόμια με διερχόμενη παροχή φρεατίου φόρτισης  $Q_{\phi} = 0.826 m^3/s$ .

Στον ανωτέρω πίνακα που προέκυψε (σχήμα 5.10.17), υπολογίζονται τα υδραυλικά μεγέθη του μεταβλητής διατομής διαχυτήρα για κάθε διατομή που φέρει στόμιο, από συνολικά είκοσι δύο στόμια και διερχόμενη παροχή  $Q_{\phi} = 0.826 m^3/s$ . Τελικά προέκυψε ότι ούτε αυτή η περίπτωση δύναται να μας εξυπηρετήσει διότι αφενός η εκρέουσα παροχή εκ των στομιών έχει απόκλιση  $Q_{p, max} - Q_{p, min} = (0.0377 - 0.0374) m^3/s = 0.0003 m^3/s > 0.0002 m^3/s$ , αποτέλεσμα άνω του μεγίστου ορίου και αφετέρου διότι στο ακροφύσιο Νο1 έχουμε μικρότερη αξονική ταχύτητα από την ελάχιστη επιτρεπτή.



Σχήμα 5.10.18: Τιμές εξερχόμενης παροχής λυμάτων από τα ακροφύσια του διαχυτήρα για είκοσι δύο στόμια με αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^\circ$

Παραπάνω (σχήμα 5.10.18), παρουσιάζονται οι τιμές της εκρέουσας παροχής σε μονάδες  $\text{m}^3/\text{s}$  από τα ακροφύσια για το τμήμα του διαχυτήρα και αντιστοιχούνται στον κατακόρυφο άξονα, ενώ στον οριζόντιο άξονα έχουμε τις θέσεις των ακροφυσίων. Προέκυψε ότι η καμπύλη κατακόρυφα έχει εύρος άνω της τάξης του  $0.02\%$ , σύμφωνα και με τα αποτελέσματα του πίνακα του σχήματος 5.10.17, επομένως δεν δύναται να αξιοποιηθεί η ανάλυση ευαισθησίας αυτή.



Σχήμα 5.10.19: Διάγραμμα ταχύτητας λυμάτων στον άξονα του διαχυτήρα για είκοσι δύο ακροφύσια με αρχική παροχή  $Q_{\phi} = 0.826 \text{ m}^3/\text{s}$  και γωνίες  $0, 3, 5$  και  $7^\circ$

Τελικά, στο παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 5.10.19) έχουμε τη μεταβολή της αξονικής ταχύτητας στο τμήμα του διαχυτήρα σε μονάδες  $\text{m}/\text{s}$  και χρησιμοποιείται ο κατακόρυφος άξονας, ενώ ο οριζόντιος άξονας αναπαριστά τις θέσεις των ακροφυσίων. Η περίπτωση αυτή της ανάλυσης ευαισθησίας απορρίπτεται καθώς παρατηρείται στο ακροφύσιο No1 αξονική ταχύτητα μικρότερη του δοσμένου από τον πίνακα 5.2 επιτρεπτού ορίου των  $0.5 \text{ m}/\text{s}$ .

- **Αποτελέσματα**

Κατά την ενότητα που αφορά την ανάλυση ευαισθησίας ως προς το πλήθος των ακροφυσίων, πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι κατά τους οποίους μεταβάλαμε τον αριθμό των ακροφυσίων για κάθε αποδεκτή περίπτωση διερχόμενης παροχής που αναλύθηκε και στην ενότητα ανάλυσης ευαισθησίας διερχόμενης παροχής. Προέκυψε το συμπέρασμα ότι καθώς διατηρούμε όλα τα υπόλοιπα δεδομένα ίδια και αυξάνουμε ή μειώνουμε κατά ένα κάθε φορά τα ακροφύσια, από τη πρώτη κιάλας δοκιμή για όλες τις περιπτώσεις παροχών παρουσιάζονται μη επιτρεπτά αποτελέσματα που δεν συνάδουν με τα όρια του πίνακα 5.2, άρα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι δεν μπορεί να επιδεχθεί μεταβολή πέρα των είκοσι ένα ακροφυσίων ο διαχυτήρας με τα συγκεκριμένα δεδομένα που έχουμε ορίσει.

## Συμπεράσματα

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας αυτής είναι να επιτευχθεί ο προσδιορισμός βασικών υδραυλικών μεγεθών ενός διαχυτήρα που φέρει πολλαπλά ακροφύσια και αποτελείται από τρεις διαφορετικές διαμέτρους. Έτσι, κατασκευάστηκαν σε περιβάλλον υπολογιστικού προγράμματος φύλλα εργασιών διάφορες περιπτώσεις με αφενός διαφορετικές διερχόμενες παροχές και αφετέρου διαφορετικό αριθμό ακροφυσίων διαχυτήρα.

Συγκεκριμένα, αρχικά παρουσιάστηκαν τα βιβλιογραφικά στοιχεία που συσχετίζονται με το αντικείμενο της διπλωματικής, όπως η θεωρία με την οποία πραγματοποιείται η κατασκευή και η εγκατάσταση ενός διαχυτήρα στον πυθμένα ενός υδάτινου αποδέκτη. Στη συνέχεια, αναλύθηκε η μεθοδολογία με την οποία γίνεται υπολογιστικά η διαστασιολόγηση του διαχύτη και ύστερα έγινε σχολιασμός των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, καταλήγει στο συμπέρασμα κανείς πως το δομημένο ως ανωτέρω φύλλο εργασίας μπορεί να υπολογίσει τις τιμές των βασικών υδραυλικών στοιχείων του διαχυτήρα για την εκάστοτε δοθείσα γωνία  $\beta$  του διαχυτήρα με το οριζόντιο επίπεδο και κατά επέκταση του πυθμένα του υδάτινου οικοσυστήματος μελέτης, σύμφωνα με τα αξιοποιούμενα δεδομένα. Επίσης αξίζει να αναφερθεί ότι για τις δοθείσες τιμές στα δεδομένα, το πρόγραμμα προβλέπει για την ορθότητα των αποτελεσμάτων με τις ανάλογες ενδείξεις σε κάθε περίπτωση για να ισχύουν τα όρια τιμών που έχουν τεθεί με στόχο την σωστή λειτουργία της εγκατάστασης.

Από τα διαγράμματα που κατασκευάστηκαν, προκύπτει αρχικά ότι η εκάστοτε γωνία του διαχύτη επηρεάζει το βάθος τοποθέτησης του διαχυτήρα και των τμημάτων που φέρουν διατομές με ίδια διάμετρο αγωγού, όπως επίσης και τη τιμή της ολικής υδραυλικής ενέργειας στη στάθμη του άξονα του διαχύτη και του ακροφυσίου για κάθε διατομή. Αναφέρεται ότι η γωνία κλίσης του διαχυτήρα δεν μεταβάλλει σημαντικά τις τιμές ταχύτητας και παροχών στον άξονα και στα στόμια του διαχύτη. Ακόμη, διευκρινίζεται ότι η απόκλιση μεταξύ των εκκρινόμενων παροχών ρυθμίζεται βάσει του συντελεστή τοπικών απωλειών  $k_m$  και την τιμή της διαμέτρου του ακροφυσίου. Επι παραδείγματι, όσο αυξάνει η τιμή του συντελεστή τοπικών απωλειών  $k_m$  τόσο μειώνεται η απόκλιση, όπως και με την αύξηση της διαμέτρου των ακροφυσίων αυξάνεται και η απόκλιση των εκκρινόμενων παροχών από αυτά. Πρόσθετα, οι όροι

που ρυθμίζουν την τιμή της ταχύτητας στον άξονα του διαχυτήρα είναι η τιμή του συντελεστή συστολής  $C_d$ , η τιμή του συντελεστή τοπικών απωλειών  $k_m$  και η τιμή της διαμέτρου του διαχυτήρα. Επί τούτου, η ταχύτητα στον άξονα του διαχυτήρα θα αυξηθεί όταν αυξηθεί η τιμή του συντελεστή συστολής  $C_d$ , είτε μειωθεί η τιμή του συντελεστή τοπικών απωλειών  $k_m$ , είτε μειωθεί η διάμετρος του διαχυτήρα.

Τελικά, για να καταλήξουμε στην αποτελεσματικότερη περίπτωση συνδυασμού ακροφυσίων – παροχής που μελετήθηκε, γίνεται επιλογή της διερχόμενης παροχής  $Q_\varphi = 0.810 \text{ m}^3/\text{s}$  και αριθμό ακροφυσίων  $N = 21$ . Όπως προαναφέρθηκε, καταλήγουμε σε αυτό το συμπέρασμα διότι σύμφωνα με το σχήμα 5.9.8 η αντίστοιχη γραμμή καταφέρνει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στις διακεκομμένες γραμμές χωρίς να τις ξεπερνάει, συγκριτικά με τις άλλες καμπύλες.

## Προτάσεις μελλοντικής έρευνας

Σχετικά με τη περαιτέρω εντριβή με το αντικείμενο της διπλωματικής, μελλοντικά θα μπορούσε να μελετηθεί ευρύτερα ούτως ώστε να δουλεύει το μοντέλο για ένα πιο ολοκληρωμένο συνδυασμό ακροφυσίων του διαχυτήρα ή μία γενικότερη περίπτωση διαχυτήρα πολλαπλών στομιών. Κατά πρώτον, θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη στους υπολογισμούς οι επιτευχθείσες τιμές αραιώσεων στις παροχές κρίσιμου ενδιαφέροντος του υδάτινου αποδέκτη. Κατά δεύτερον, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί δόμηση κώδικα σε γλώσσα προγραμματισμού – όπως η MATLAB – ώστε να υπάρξουν περισσότερες δυνατότητες.



## Βιβλιογραφία

### ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Κρεστενίτης Ι., Κομπιάδου Κ., Μακρής Χ., Ανδρουλιδάκης Ι., Καραμπάς Θ., (2015) «*Παράκτια Μηχανική - Θαλάσσια Περιβαλλοντική Υδραυλική*», Εκδόσεις Κάλλιπος, Κεφάλαιο 7, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ ([https://repository.kallipos.gr/pdfviewer/web/viewer.html?file=/bitstream/11419/2789/5/9568\\_Krestenitis.pdf](https://repository.kallipos.gr/pdfviewer/web/viewer.html?file=/bitstream/11419/2789/5/9568_Krestenitis.pdf), τελευταία επίσκεψη 11-03-2021)
- [2] Κωτσοβίνος Ν., Αγγελίδης Π., (2004) «*Διαχείριση Αστικών Υγρών Αποβλήτων*», Κεφάλαιο 5, Εκδότης: Ένωση Δημοτικών Επιχειρήσεων Ύδρευσης και Αποχέτευσης (Ε.Δ.Ε.Υ.Α.), pp.49-71 Πολυτεχνική Σχολή, ΔΠΘ (<https://repository.kallipos.gr/handle/11419/2794>, τελευταία επίσκεψη: 03-03-2021)
- [3] Λυμπεράτος Γ., Βαγενάς Δ.(2019) «*Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων*», Εκδόσεις Τζίολα, Αθήνα
- [4] Μπλούτσος Α. (2005) «*Αλληλεπίδραση κατακόρυφων ανωστικών φλεβών από διαχύτη τύπου ροζέτας*», Διατριβή διπλώματος ειδίκευσης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα
- [5] Στάμου Α. (2015), «*Μεθοδολογία σχεδιασμού διαχυτήρα πολλαπλών στομιών*», ΕΜΠ, Αθήνα
- [6] Συμπέθερος Ι. (2020), «*Θαλάσσια Υδραυλική και Λιμενικά Έργα*», Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Σχολή Μηχανικών, ΠΑΔΑ, Αθήνα
- [7] Φιλιππακοπούλου Θ. (2020) «*Υγειονομική Τεχνολογία*» (Πανεπιστημιακές Σημειώσεις), Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Σχολή Μηχανικών, ΠΑΔΑ, Αθήνα
- [8] Abraham, G. (1963). “Jet diffusion in stagnant ambient fluid”, *Delft Hydraulics Laboratory*, publication No 29
- [9] Roberts, P. J. W. (1979). “Line plume and ocean outfall dispersion”, *Journal of Hydraulic Division*, Vol. 105 (HY4), pp 313-331

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

[10] Π.Ε.ΤΕ.Π. (2006). «Λιμενικά και Θαλάσσια Έργα, Υποθαλάσσιοι Αγωγοί, Υποθαλάσσιοι Αγωγοί από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE)», 09-17-03-00, Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ., Έκδοση 1.0, Μάιος 2006 (<http://www.ggde.gr/dmdocuments/09-17-03-00.pdf>, τελευταία επίσκεψη: 03-03-2021)

[11] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, «Σχέδιο ΚΥΑ Διάθεσης Υγρών Αποβλήτων», Άρθρο 05, 2017 (<http://www.opengov.gr/minenv/?p=8792>, τελευταία επίσκεψη: 03-03-2021)