

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Διπλωματική Εργασία

**«ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΕΔΙΟΥ ΡΟΗΣ ΑΝΩΣΤΙΚΗΣ ΦΛΕΒΑΣ ΣΕ
ΗΡΕΜΟ ΚΑΙ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟ ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ
ΜΟΝΤΕΛΟΥ VISJET»**

ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΠΟΥΛΟΥ, ΑΜ 0226

Επιβλέπων

Αριστείδης Μπλούτσος, Ακαδημαϊκός Υπότροφος ΠΑΔΑ

ΑΘΗΝΑ 2021



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: **ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΠΟΥΛΟΥ**

Τίτλος
Διπλωματικής Εργασίας:

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΕΔΙΟΥ ΡΟΗΣ ΑΝΩΣΤΙΚΗΣ ΦΛΕΒΑΣ ΣΕ
ΗΡΕΜΟ ΚΑΙ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟ ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ
ΜΟΝΤΕΛΟΥ VISJET**

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, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2021

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Κωνσταντινοπούλου Παναγιώτα του Νικολάου-Ηρακλή με αριθμό μητρώου 44366050226 φοιτήτρια 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 διπλώματός μου».

Η Δηλούσα

Κωνσταντινοπούλου Παναγιώτα



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε για την Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής και ολοκληρώθηκε με την επίβλεψη του κ. Αριστείδη Μπλούτσου, καθηγητή της σχολής στον τομέα των Υδραυλικών Έργων.

Θέμα της εργασίας είναι η προσομοίωση του πεδίου ροής μιας ανωστικής φλέβας, σε ήρεμο και κινούμενο αποδέκτη από διαχυτήρα. Για την μελέτη των προσομοιώσεων χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό σύστημα μοντελοποίησης VISJET, που προβλέπει το πεδίο ροής μιας ή περισσότερων φλεβών στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Στο σημείο αυτό επειδή ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Αριστείδη Μπλούτσο, Καθηγητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, που ανέλαβε την επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Χάρη στην συνεχή βοήθεια του στη συλλογή βιβλιογραφίας και στοιχείων για την κατανόηση του θέματος, καθώς και με την αφιέρωση του πολύτιμου χρόνου που διέθεσε για την οργάνωση και τη διόρθωσή της, όλα εξελίχθηκαν ομαλά. Χωρίς την αμέριστη συμπαράσταση του δε θα ήταν εφικτή η ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Το μεγαλύτερο, όμως, ευχαριστώ το χρωστάω στην οικογένειά μου, που πάντα με στηρίζει στις επιλογές μου και που με την απεριόριστη αγάπη και προσφορά της, μου δίνει τη δυνατότητα να επιτύχω κάθε στόχο και επιδίωξή μου.

Αθήνα, Ιούλιος 2021

Κωνσταντινοπούλου Παναγιώτα



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: **ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΠΟΥΛΟΥ**

Τίτλος Διπλωματικής εργασίας:

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΕΔΙΟΥ ΡΟΗΣ ΑΝΩΣΤΙΚΗΣ ΦΛΕΒΑΣ ΣΕ
ΗΡΕΜΟ ΚΑΙ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟ ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ
ΜΟΝΤΕΛΟΥ VISJET**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην περιβαλλοντική υδραυλική διαπιστώνουμε, ότι η μελέτη των ροών φλεβών άνωσης παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, διότι αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι πριν την κατασκευή ενός θαλάσσιου αγωγού. Η μελέτη τους είναι απαραίτητη και αποτελεί ένα βασικό κεφαλαίο στις γνώσεις ενός μελετητή μηχανικού.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, διερευνήθηκε η διάθεση των υγρών αποβλήτων εντός του θαλάσσιου περιβάλλοντος από υποβρύχιο αγωγό. Αυτή η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε προσομοιώνοντας το πεδίο ροής της τυρβώδους ανωστικής φλέβας που σχηματίζεται, για διαφορετικές αρχικές συνθήκες εκροής (γωνία εκτόξευσης, ταχύτητα εκτόξευσης κλπ), και συνθήκες περιβάλλοντος (ύπαρξη ή μη ρεύματος). Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού VISJET. Για κάθε περίπτωση υπολογίστηκαν οι βασικές παράμετροι του σχηματιζόμενου πεδίου ροής (μεταβολή αξονικής ταχύτητας, μεταβολή αραίωσης, αξονική τροχιά) και συγκρίθηκαν με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα, ώστε να ελεγχθεί η συμπεριφορά και η εγκυρότητα του συγκεκριμένου μοντέλου.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας, παρουσιάζονται εισαγωγικά στοιχεία για τα ειδή των ανωστικών φλεβών, καθώς και τα χαρακτηριστικά των εκροών σε υδάτινο αποδέκτη. Επίσης, πραγματοποιείται αναφορά στα βασικά μεγέθη προσδιορισμού του πεδίου ροής ανωστικής φλέβας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφονται τα συνήθη έργα που περιλαμβάνονται σε ένα σύστημα διάθεσης υγρών απόβλητων στη θάλασσα. Επίσης, μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης παρουσιάζονται εμπειρικές εξισώσεις υπολογισμού της αραίωσης για διάφορες περιπτώσεις αρχικής εκροής και περιβαλλοντικών συνθηκών.

Στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφεται το μοντέλο JETLAG το οποίο αποτελεί το μοντέλο υπολογισμού του πεδίου ροής τυρβωδών ανωστικών φλεβών που χρησιμοποιείται από το λογισμικό VISJET. Παρουσιάζονται οι βασικές εξισώσεις του μοντέλου και παρατίθενται οι εξισώσεις προσδιορισμού των απαιτούμενων μεγεθών. Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα απεικόνισης της τρισδιάστατης οπτικής ροής της προβλεπόμενης τροχιάς και της ανάμιξης μιας κεκλιμένης ανωστικής φλέβας σε κινούμενο ή μη περιβάλλον ρευστό που δύναται να είναι πυκνομετρικά στρωματοποιημένο. Το VISJET μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μελετήσει το πεδίο ροής, είτε μεμονωμένης φλέβας, είτε ομάδας κεκλιμένων ανωστικών φλεβών σε τρισδιάστατο χώρο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, αρχικά, παρουσιάζονται τα βασικά βήματα που ακολουθήθηκαν κατά την προσομοίωση χρησιμοποιώντας το λογισμικό VISJET. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αρχικά δεδομένα και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, για διάφορες περιπτώσεις κεκλιμένων φλεβών θετικής άνωσης σε ακίνητο και κινούμενο αποδέκτη. Σε κάθε προσομοίωση υπολογίζεται η τροχιά του άξονα της ανωστικής φλέβας, η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας, η μεταβολή της αραιώσης και του εύρους της ανωστικής φλέβας. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα της διεθνούς βιβλιογραφίας, ώστε να αξιολογηθεί η συμπεριφορά του μοντέλου στις διάφορες περιπτώσεις. Προέκυψε ότι η συμπεριφορά του μοντέλου στις περισσότερες περιπτώσεις συμβαδίζει με τα πειραματικά δεδομένα, ώστε δύναται να θεωρηθεί αξιόπιστο για χρήση για ερευνητικούς σκοπούς.

Στο πέμπτο και τελευταίο, κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τις διάφορες περιπτώσεις. Τέλος, η παρούσα εργασία ολοκληρώνεται διατυπώνοντας ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα στα πλαίσια του επιστημονικού πεδίου της διάθεσης υγρών λυμάτων.

Λέξεις κλειδιά: ανωστική φλέβα, πλούμιο, πεδίο ροής, διάθεση λυμάτων, VISJET, JETLAG, τροχιά, αραιώση, ταχύτητα, ιχνηθέτης, ακίνητος και κινούμενος αποδέκτης, υποβρύχιος αγωγός



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
ENGINEERING SCHOOL
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT

Student's Name: **PANAGIOTA KONSTANTINOPOULOU**

*Title of
Dipoma Thesis:*

**SIMULATION OF THE FLOW FIELD OF TURBULENT
BUOYANT JET IN A CALM AND MOVING AMBIENT USING
THE VISJET MODEL**

ABSTRACT

In the environmental hydraulics we find that the study of buoyancy jet flows it is very interesting because it is an integral part before the construction of an underwater pipeline. Their study is necessary part and is a key in the knowledge of an engineer.

This thesis research the disposal of liquid waste into the sea environment by an underwater pipeline. This study performed with the creation of simulations of the flow field of buoyancy jets for different initial outflow conditions (launch angle, speed launch etc.) and environmental conditions (existence current or not).The simulations was carried out through a computer modeling system that uses the VISJET software. For each case they are calculated the basic parameters of the formed flow field and compared with available experimental data to test the behavior and validity of the specific model.

In the first chapter are presented the introductory elements for the types of the buoyancy jets as well as the characteristics of the outputs in a water recipient. Also, they are analyzed the basic sizes that determines the flow field of buoyancy jets.

The second chapter describes the usual projects in a system of the disposal of waste water at the sea. Also, through the literature review, are presented empirical equations for the calculation of the dilution for various cases of initial outflow and environmental conditions.

The third chapter describes the JETLAG model which is the model for the calculation of the flow field of buoyancy jets and used by VISJET software.

Furthermore, are presented the basic equations of the model and the equations of the determining required sizes. The software enables the visualization of the three-dimensional visual flow of the predicted trajectory and the mixing of an inclined ascending buoyancy jet in a fluid environment or not that can be densitometrically layered. VISJET can be used to investigate the flow field of one buoyancy jet or a group of inclined buoyancy jets in 3D visual.

The fourth chapter presents the basic steps that have been followed during the simulations by using the VISJET software. Then, are presented the initial data and the results of the simulations for various cases of positive buoyancy jets in a stationary and moving field. In each simulation, are calculated the axis trajectory of the buoyancy jet, the change of the axial velocity, the change of the dilution and the width of the buoyancy jet. The results are compared with available experimental data from the international literature to evaluate the behavior of the model in different cases.

The fifth and the last chapter presents the conclusions that emerged from the results of the simulations for the various cases. Finally, the present thesis is completed by formulating some proposals for future research in the scientific field of wastewater disposal.

Keywords: buoyancy jet, plume, flow field, waste water disposal, VISJET, JETLAG, trajectory, dilution, velocity, tracker, stationary-moving recipient, underwater pipelines.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	Error! Bookmark not defined.
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	9
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	11
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	12
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	16
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	18
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	23
1.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΚΡΟΗΣ.....	24
1.3 ΦΥΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΡΟΗΣ	26
1.3.1 Αριθμοί Froude και Richardson	27
1.3.2 Απλή Κυκλική Φλέβα	28
1.3.3 Απλό Πλούμιο	29
2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΑΡΑΙΩΣΗΣ.....	30
2.1.1 Κυλινδρική φλέβα (εκροή από μια οπή).....	30
2.1.1.1 Εκροή σε ομογενές και ακίνητο περιβάλλον.....	30
2.1.1.2 Εκροή σε στρωματοποιημένο και ακίνητο περιβάλλον βαθιών νερών.....	32
2.1.1.3 Εκροή παρουσία θαλάσσιου ρεύματος.....	33
2.1.2 Γραμμική ή Δισδιάστατη Φλέβα (εκροή από διαχυτήρα).....	34
2.1.2.1 Εκροή σε ομογενές και ακίνητο περιβάλλον.....	35
2.1.2.2 Εκροή σε γραμμικά στρωματοποιημένο περιβάλλον.....	36
2.1.2.3 Αραίωση στην περίπτωση ύπαρξης θαλασσιών ρευμάτων.....	37
2.2 ΑΡΑΙΩΣΗ ΛΥΜΑΤΩΝ Ή ΙΧΝΗΘΕΤΗ ΣΤΟ ΜΑΚΡΙΝΟ ΠΕΔΙΟ	38
2.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ.....	41
2.3.1 Βασικές αρχές σχεδιασμού.....	41
2.3.2 Υδραυλικός υπολογισμός του διαχυτήρα	42
2.3.3 Φρεάτιο φόρτισης.....	45
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ JETLAG	47
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ JETLAG.....	47
3.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ JETLAG ΚΑΤΑ LAGRANGE	48
3.3.1 Ανάπτυξη μοντέλου	49
3.3.2 Εξισώσεις προσδιορισμού μεγεθών	49
3.3.3 Διατμητική και στροβιλώδης συμπαράσυρση παραμόρφωση.....	51
3.3.3.1 Συμπαράσυρση λόγω διάτμησης.....	52

3.3.3.2 Προβαλλόμενη Επιφάνεια Συμπαράσυρσης(Projected Area Entrainment PAE)	52
3.3.3.3 Συνολική εισροή συμπαράσυρσης	54
3.3.4 Μαθηματική Διαμόρφωση για τη μετάβαση στο εγγύς πεδίο.....	55
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΓΡΑΜΑΤΟΣ VISJET.....	59
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ VISJET	60
4.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΑΚΙΝΗΤΟ ΑΠΟΔΕΚΤΗ	65
4.2.1 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=0^\circ$	66
4.2.2 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=30^\circ$	71
4.2.3 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=45^\circ$	76
4.2.4 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=60^\circ$	80
4.2.5 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=75^\circ$	85
4.2.6 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=90^\circ$	89
4.3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟ ΑΠΟΔΕΚΤΗ	94
4.3.1 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=0^\circ$	94
4.3.2 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=30^\circ$	109
4.3.3 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=45^\circ$	122
4.3.4 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=60^\circ$	137
4.3.5 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=75^\circ$	151
4.3.6 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=90^\circ$	166
4.4 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΣΕ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟ ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	180
4.4.1 Αποτελέσματα προσομοιώσεων με αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=0^\circ$	180
4.4.2 Αποτελέσματα προσομοιώσεων με αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=90^\circ$	183
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	192
5.1 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	193
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	194
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	218
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	291

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. 1	Ανωστική φλέβα.....	23
Σχήμα 1. 2	Σχηματική παρουσίαση διεργασιών μείξης ανωστικής φλέβας λυμάτων.....	24
Σχήμα 1. 3	Σκαρίφημα τμήματος διαχυτήρα (μεσαίο σκαρίφημα) και ενδεικτικές λεπτομέρειες τομών διαχυτήρα με ανυψωτήρα και στόμια εκροής εκατέρωθεν του ανυψωτήρα (αριστερά) και μόνο από τη μία πλευρά του ανυψωτήρα (δεξιά).....	25
Σχήμα 1. 4	Εκροή υγρού πυκνότητας ρ_0 σε υδάτινο αποδέκτη με πυκνότητα $\rho_a > \rho_0$ από κατακόρυφο στόμιο (αριστερά) ή στόμιο κεκλιμένο ως προς την ελεύθερη επιφάνεια (δεξιά). Τα βέλη σχηματοποιούν τη διεργασία της αδρανειακής συμπαράσυρσης στο θαλάσσιο αποδέκτη.....	25
Σχήμα 1. 5	Κοντινό και μακρινό πεδίο διάλυσης των υγρών αποβλήτων.....	26
Σχήμα 1. 6	Φωτογραφία εκροής από διαχυτήρα όπου διακρίνονται η σταθερή NFA και η πιο δυναμικά μεταβαλλόμενη FFA.....	26
Σχήμα 1. 7	Εκροή λυμάτων από αγωγό κυκλικής διατομής.....	28
Σχήμα 2. 1	Εκροή από διαχυτήρα με την κεντρική γραμμή και την κατανομή Gauss συγκέντρωσης ρύπου.....	30
Σχήμα 2. 2	Αρχική αραίωση Sc πλουμίου λυμάτων εκροής από αγωγό κυλινδρικής διατομής στο κοντινό πεδίο ομογενούς και στάσιμου θαλάσσιου αποδέκτη.....	32
Σχήμα 2. 3	Παγίωση του πεδίου λυμάτων στον αποδέκτη για μεμονωμένη εκροή παρουσία θαλάσσιου ρεύματος.....	33
Σχήμα 2. 4	Εκροή λυμάτων από διαχυτήρα–επιμήκης αξονοσυμμετρική ροή (s: απόσταση μεταξύ διαδοχικών στομιών εκροής, U: κατανεμημένη κατά Gauss ταχύτητα εκροής σε κάθε μεμονωμένη φλέβα).....	36
Σχήμα 2. 5	Διάγραμμα του Roberts (1979) για τον υπολογισμό της ελάχιστης αρχικής αραίωσης και τιμές της παραμέτρου $\Lambda > 0,1$	37
Σχήμα 3. 1	Γενική μορφή μοντέλου ανωστικής φλέβας κατά Lagrange με τρισδιάστατη τροχιά (διάγραμμα τροχιάς φλέβας με τα στοιχεία του πλουμίου κατά Lagrange).....	48
Σχήμα 3. 2	Απεικόνιση τριών διορθωτικών όρων της Προβαλλόμενης Επιφάνειας Συμπαράσυρσης (PAE): όρος προβαλλόμενης επιφάνειας A_p , αύξηση περιοχής λόγω ανάπτυξης πλουμίου A_w , επιδιόρθωση περιοχής λόγω καμπυλότητας πλουμίου A_c και σύνολο όλων των τριών όρων.....	54
Σχήμα 3. 3	Ασθενής καμπυλωτή ανωστική φλέβα σε εγκάρσια ροή.....	55
Σχήμα 3. 4	Καθαρή ακτινική ταχύτητα στα όρια της φλέβας όπου α) Συνολική συμπαράσυρση=τυρβώδη συμπαράσυρση $E=Es$ β) $E \geq Es$ με σταθερό σημείο την γωνία φ (τελικό σχήμα).....	56
Σχήμα 3. 5	Μοτίβο εισροής για: α) φλέβα σε αδύναμη εγκάρσια ροή και β) φλέβα σε ισχυρή εγκάρσια ροή.....	56
Σχήμα 4. 1	Εικόνα εισαγωγής παραμέτρων περιβάλλοντος στο λογισμικό.....	60
Σχήμα 4. 2	Επιλογή τρόπου λειτουργίας της εκροής.....	61
Σχήμα 4. 3	Επιλογή τρόπου λειτουργίας της εκροής χωρίς ανυψωτήρα.....	62
Σχήμα 4. 4	Εισαγωγή παραμέτρων εκροής φλέβας.....	62
Σχήμα 4. 5	Εισαγωγή παραμέτρων εκροής.....	63
Σχήμα 4. 6	Εισαγωγή αρχικών παραμέτρων εκτοξευόμενης φλέβας.....	64
Σχήμα 4. 7	Επιλογές αναπαραγωγής φλέβας.....	65

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1	Συνοπτικός πίνακας περιπτώσεων που προσομοιώθηκαν για ακίνητο αποδέκτη.	65
Πίνακας 4.2	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.	66
Πίνακας 4.3	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.	66
Πίνακας 4.4	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.	66
Πίνακας 4.5	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=30^\circ, F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.	71
Πίνακας 4.6	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=30^\circ, F_0=10$ και $U_a=0$ m/s. ...	72
Πίνακας 4.7	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=30^\circ, F_0=50$ και $U_a=0$ m/s. ...	72
Πίνακας 4.8	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=45^\circ, F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.	76
Πίνακας 4.9	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=45^\circ, F_0=10$ και $U_a=0$ m/s. ...	77
Πίνακας 4.10	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=45^\circ, F_0=50$ και $U_a=0$ m/s. ...	77
Πίνακας 4.11	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=60^\circ, F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.	80
Πίνακας 4.12	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=60^\circ, F_0=10$ και $U_a=0$ m/s. ...	80
Πίνακας 4.13	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=60^\circ, F_0=50$ και $U_a=0$ m/s. ...	81
Πίνακας 4.14	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=75^\circ, F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.	85
Πίνακας 4.15	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=75^\circ, F_0=10$ και $U_a=0$ m/s. ...	85
Πίνακας 4.16	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=75^\circ, F_0=50$ και $U_a=0$ m/s. ...	85
Πίνακας 4.17	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ, F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.	89
Πίνακας 4.18	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ, F_0=10$ και $U_a=0$ m/s. ...	89
Πίνακας 4.19	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ, F_0=50$ και $U_a=0$ m/s. ...	89
Πίνακας 4.20	Συνοπτικός πίνακας περιπτώσεων που προσομοιώθηκαν για κινούμενο αποδέκτη.....	94
Πίνακας 4.21	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s. ...	95
Πίνακας 4.22	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s. ...	95
Πίνακας 4.23	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s. ...	95
Πίνακας 4.24	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 0^\circ, F_0 = 10$ και $U_a = 0,01$ m/s	99
Πίνακας 4.25	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 0^\circ, F_0 = 10$ και $U_a = 0,10$ m/s.	99
Πίνακας 4.26	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 0^\circ, F_0 = 10$ και $U_a = 0,25$ m/s.	100
Πίνακας 4.27	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 0^\circ, F_0 = 50$ και $U_a = 0,01$ m/s.	104
Πίνακας 4.28	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 0^\circ, F_0 = 50$ και $U_a = 0,10$ m/s.	105
Πίνακας 4.29	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 0^\circ, F_0 = 50$ και $U_a = 0,25$ m/s.	105
Πίνακας 4.30	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 30^\circ, F_0 = 3$ και $U_a = 0,01$ m/s.	109
Πίνακας 4.31	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 30^\circ, F_0 = 3$ και $U_a = 0,10$ m/s.	109
Πίνακας 4.32	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 30^\circ, F_0 = 3$ και $U_a = 0,25$ m/s. 110	110
Πίνακας 4.33	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 30^\circ, F_0 = 10$ και $U_a = 0,01$ m/s 113	113
Πίνακας 4.34	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 30^\circ, F_0 = 10$ και $U_a = 0,10$ m/s. 114	114

- Πίνακας 4.35 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 30^\circ$, $F_0 = 10$ και $U_a = 0,25$ m/s.
114
- Πίνακας 4.36 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 30^\circ$, $F_0 = 50$ και $U_a = 0,01$ m/s.
118
- Πίνακας 4.37 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 30^\circ$, $F_0 = 50$ και $U_a = 0,10$ m/s.
118
- Πίνακας 4.38 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 30^\circ$, $F_0 = 50$ και $U_a = 0,25$ m/s.
118
- Πίνακας 4.39 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 45^\circ$, $F_0 = 3$ και $U_a = 0,01$ m/s.
122
- Πίνακας 4.40 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 45^\circ$, $F_0 = 3$ και $U_a = 0,10$ m/s.
122
- Πίνακας 4.41 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 45^\circ$, $F_0 = 3$ και $U_a = 0,25$ m/s.
123
- Πίνακας 4.42 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 45^\circ$, $F_0 = 10$ και $U_a = 0,01$ m/s.
127
- Πίνακας 4.43 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 45^\circ$, $F_0 = 10$ και $U_a = 0,10$ m/s.
127
- Πίνακας 4.44 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 45^\circ$, $F_0 = 10$ και $U_a = 0,25$ m/s.
127
- Πίνακας 4.45 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 45^\circ$, $F_0 = 50$ και $U_a = 0,01$ m/s.
132
- Πίνακας 4.46 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 45^\circ$, $F_0 = 50$ και $U_a = 0,10$ m/s.
133
- Πίνακας 4.47 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 45^\circ$, $F_0 = 50$ και $U_a = 0,25$ m/s.
133
- Πίνακας 4.48 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 60^\circ$, $F_0 = 3$ και $U_a = 0,01$ m/s.
137
- Πίνακας 4.49 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 60^\circ$, $F_0 = 3$ και $U_a = 0,10$ m/s.
138
- Πίνακας 4.50 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 60^\circ$, $F_0 = 3$ και $U_a = 0,25$ m/s.
138
- Πίνακας 4.51 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 60^\circ$, $F_0 = 10$ και $U_a = 0,01$ m/s.
142
- Πίνακας 4.52 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 60^\circ$, $F_0 = 10$ και $U_a = 0,10$ m/s.
142
- Πίνακας 4.53 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 60^\circ$, $F_0 = 10$ και $U_a = 0,25$ m/s.
143
- Πίνακας 4.54 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 60^\circ$, $F_0 = 50$ και $U_a = 0,01$ m/s.
147
- Πίνακας 4.55 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 60^\circ$, $F_0 = 50$ και $U_a = 0,10$ m/s.
147
- Πίνακας 4.56 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 60^\circ$, $F_0 = 50$ και $U_a = 0,25$ m/s.
147
- Πίνακας 4.57 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 75^\circ$, $F_0 = 3$ και $U_a = 0,01$ m/s.
151
- Πίνακας 4.58 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0 = 75^\circ$, $F_0 = 3$ και $U_a = 0,10$ m/s.
152

Πίνακας 4.59	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 75^\circ$, $F_o = 3$ και $U_a = 0,25$ m/s. 152
Πίνακας 4.60	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 75^\circ$, $F_o = 10$ και $U_a = 0,01$ m/s. 156
Πίνακας 4.61	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 75^\circ$, $F_o = 10$ και $U_a = 0,10$ m/s. 156
Πίνακας 4.62	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 75^\circ$, $F_o = 10$ και $U_a = 0,25$ m/s. 157
Πίνακας 4.63	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 75^\circ$, $F_o = 50$ και $U_a = 0,01$ m/s. 161
Πίνακας 4.64	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 75^\circ$, $F_o = 50$ και $U_a = 0,10$ m/s. 162
Πίνακας 4.65	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 75^\circ$, $F_o = 50$ και $U_a = 0,25$ m/s. 162
Πίνακας 4.66	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 90^\circ$, $F_o = 3$ και $U_a = 0,01$ m/s. 166
Πίνακας 4.67	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 90^\circ$, $F_o = 3$ και $U_a = 0,10$ m/s. 166
Πίνακας 4.68	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 90^\circ$, $F_o = 3$ και $U_a = 0,25$ m/s. 167
Πίνακας 4.69	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 90^\circ$, $F_o = 10$ και $U_a = 0,01$ m/s. 170
Πίνακας 4.70	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 90^\circ$, $F_o = 10$ και $U_a = 0,10$ m/s. 171
Πίνακας 4.71	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 90^\circ$, $F_o = 10$ και $U_a = 0,25$ m/s. 171
Πίνακας 4.72	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 90^\circ$, $F_o = 50$ και $U_a = 0,01$ m/s. 175
Πίνακας 4.73	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 90^\circ$, $F_o = 50$ και $U_a = 0,10$ m/s. 176
Πίνακας 4.74	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 90^\circ$, $F_o = 50$ και $U_a = 0,25$ m/s. 176
Πίνακας 4.75	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 0^\circ$, $F_o = 6,66$ και $U_a = 0,6319$ m/s.....180
Πίνακας 4.76	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 0^\circ$, $F_o = 15$ και $U_a = 0,5693$ m/s 181
Πίνακας 4.77	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 0^\circ$, $F_o = 15$ και $U_a = 0,1423$ m/s 181
Πίνακας 4.78	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 0^\circ$, $F_o = 15$ και $U_a = 0,3795$ m/s 181
Πίνακας 4.79	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 90^\circ$, $F_o = 10$ και $U_a = 0,4744$ m/s 183
Πίνακας 4.80	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 90^\circ$, $F_o = 10$ και $U_a = 0,2372$ m/s 184
Πίνακας 4.81	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 90^\circ$, $F_o = 20$ και $U_a = 0,9489$ m/s 184
Πίνακας 4.82	Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o = 90^\circ$, $F_o = 20$ και $U_a = 0,4744$ m/s 184

- Πίνακας 4.83 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ$, $F_0= 20$ και $U_a=0,3163$ m/s
185
- Πίνακας 4.84 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ$, $F_0= 40$ και $U_a=1,8978$ m/s
185
- Πίνακας 4.85 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ$, $F_0= 40$ και $U_a=0,9489$ m/s
185
- Πίνακας 4.86 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ$, $F_0= 40$ και $U_a=0,6326$ m/s
186
- Πίνακας 4.87 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ$, $F_0= 40$ και $U_a=0,4744$ m/s
186
- Πίνακας 4.88 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ$, $F_0= 80$ και $U_a=0,9489$ m/s
186

- Εικόνα 4. 22 Οπτική παράσταση πεδίου ροής κατακόρυφης φλέβας ($\theta_o=90^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s.....167
- Εικόνα 4. 23 Οπτική παράσταση πεδίου ροής κατακόρυφης φλέβας ($\theta_o=90^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s.....172
- Εικόνα 4. 24 Οπτική παράσταση πεδίου ροής κατακόρυφης φλέβας ($\theta_o=90^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s.....177
- Εικόνα 4. 25 Οπτική παράσταση πεδίου ροής οριζόντιας φλέβας ($\theta_o=0^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με: (α) $F_o=6,66$ και $U_a=0,6319$ m/s, (β) $F_o=15$ και $U_a=0,1423$ m/s, (γ) $F_o=15$ και $U_a=0,5693$ m/s και (δ) $F_o=30$ και $U_a=0,3795$ m/s182
- Εικόνα 4. 26 Οπτική παράσταση πεδίου ροής κατακόρυφης φλέβας ($\theta_o = 90^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με: (α) $F_o=10$ και $U_a = 0,4744$ m/s και (β) $F_o=10$ και $U_a = 0,2372$ m/s
187
- Εικόνα 4. 27 Οπτική παράσταση πεδίου ροής κατακόρυφης φλέβας ($\theta_o=90^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με : (γ) $F_o=20$ και $U_a=0,9489$ m/s, (δ) $F_o=20$ και $U_a=0,4744$ m/s και (ε) $F_o=20$ και $U_a=0,3163$ m/s.....187
- Εικόνα 4. 28 Οπτική παράσταση πεδίου ροής κατακόρυφης φλέβας ($\theta_o=90^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με : (ζ) $F_o=40$ και $U_a=1,8975$ m/s, (η) $F_o=40$ και $U_a=0,9489$ m/s, (θ) $F_o=40$ και $U_a=0,6326$ m/s, (ι) $F_o=40$ και $U_a=0,4744$ m/s188
- Εικόνα 4. 29 Οπτική παράσταση πεδίου ροής κατακόρυφης φλέβας ($\theta_o=90^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με : (κ) $F_o=80$ και $U_a=0,9489$ m/s188

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 4. 1	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=0^\circ$, $U_a=0$ m/s και $F_o=3,10,50$	68
Διάγραμμα 4. 2	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αδιαστατοποιημένων τροχιών με πειραματικά δεδομένα Anwar (1972), Cederwall (1968), Davidson & Pun (2000), Fan (1967), Hansen and Schroder (1968), Syrbın (1936) και Kikkert (2006) για $\theta_o=0^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.....	69
Διάγραμμα 4. 3	Διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=0^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.....	70
Διάγραμμα 4. 4	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραίωσης για $\theta_o=0^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	70
Διάγραμμα 4. 5	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume radius για $\theta_o=0^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	71
Διάγραμμα 4. 6	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=30^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.....	73
Διάγραμμα 4. 7	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αδιαστατοποιημένων τροχιών με πειραματικά δεδομένα Kikkert (2006) για $\theta_o=30^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.....	74
Διάγραμμα 4. 8	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=30^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	74
Διάγραμμα 4. 9	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραίωσης για $\theta_o=30^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	75
Διάγραμμα 4. 10	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_o=30^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	76
Διάγραμμα 4. 11	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=45^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.....	78
Διάγραμμα 4. 12	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=45^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	79
Διάγραμμα 4. 13	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραίωσης για $\theta_o=45^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	79
Διάγραμμα 4. 14	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_o=45^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	80
Διάγραμμα 4. 15	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=60^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.....	82
Διάγραμμα 4. 16	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αδιαστατοποιημένων τροχιών με πειραματικά δεδομένα Kikkert (2006) για $\theta_o=60^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.....	82
Διάγραμμα 4. 17	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=60^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	83
Διάγραμμα 4. 18	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραίωσης για $\theta_o=60^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	84
Διάγραμμα 4. 19	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_o=60^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	84
Διάγραμμα 4. 20	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=75^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.....	86
Διάγραμμα 4. 21	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=75^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	87
Διάγραμμα 4. 22	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραίωσης για $\theta_o=75^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	88
Διάγραμμα 4. 23	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_o=75^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	88

Διάγραμμα 4. 24	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=90^\circ, F_0=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	90
Διάγραμμα 4. 25	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αδιαστατοποιημένης ταχύτητας με πειραματικά δεδομένα Wang & Law (2002), Yannopoulos & Noutsopoulos (1987) και Yannopoulos (2006) για $\theta_0=90^\circ, F_0=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s. ...	91
Διάγραμμα 4. 26	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=90^\circ, F_0=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	92
Διάγραμμα 4. 27	Συγκριτικό διάγραμμα αδιαστατοποιημένης αραίωσης με πειραματικά δεδομένα Wang & Law (2002), Yannopoulos & Noutsopoulos (1987) και Yannopoulos (2006) για $\theta_0=90^\circ, F_0=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	93
Διάγραμμα 4. 28	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=90^\circ, F_0=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.	94
Διάγραμμα 4. 29	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0 = 0^\circ, F_0 = 3$ και $U_a = 0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	97
Διάγραμμα 4. 30	Διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.....	97
Διάγραμμα 4. 31	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=0^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	98
Διάγραμμα 4. 32	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=0^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	99
Διάγραμμα 4. 33	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=0^\circ, F_0=10$ και $U_a =0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	101
Διάγραμμα 4. 34	Διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.....	102
Διάγραμμα 4. 35	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=0^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	103
Διάγραμμα 4. 36	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=0^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	104
Διάγραμμα 4. 37	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=0^\circ, F_0= 50$ και $U_a =0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	106
Διάγραμμα 4. 38	Διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.....	107
Διάγραμμα 4. 39	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=0^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	108
Διάγραμμα 4. 40	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=0^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	108
Διάγραμμα 4. 41	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0 =30^\circ, F_0 =3$ και $U_a =0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	111
Διάγραμμα 4. 42	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	111
Διάγραμμα 4. 43	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=30^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	112
Διάγραμμα 4. 44	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=30^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	113
Διάγραμμα 4. 45	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=30^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	115
Διάγραμμα 4. 46	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	116

Διάγραμμα 4. 47	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=30^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	116
Διάγραμμα 4. 48	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=30^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	117
Διάγραμμα 4. 49	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=30^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	119
Διάγραμμα 4. 50	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	120
Διάγραμμα 4. 51	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=30^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	121
Διάγραμμα 4. 52	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=30^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	122
Διάγραμμα 4. 53	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=45^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	124
Διάγραμμα 4. 54	Διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	125
Διάγραμμα 4. 55	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=45^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	126
Διάγραμμα 4. 56	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=45^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	126
Διάγραμμα 4. 57	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=45^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	129
Διάγραμμα 4. 58	Διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	130
Διάγραμμα 4. 59	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=45^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	131
Διάγραμμα 4. 60	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=45^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	132
Διάγραμμα 4. 61	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=45^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	134
Διάγραμμα 4. 62	Διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	135
Διάγραμμα 4. 63	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=45^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	136
Διάγραμμα 4. 64	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=45^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	137
Διάγραμμα 4. 65	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=60^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	139
Διάγραμμα 4. 66	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=60^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	140
Διάγραμμα 4. 67	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=60^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	141
Διάγραμμα 4. 68	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=60^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	141
Διάγραμμα 4. 69	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=60^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	144
Διάγραμμα 4. 70	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=60^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	144

Διάγραμμα 4. 71	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_o=60^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	145
Διάγραμμα 4. 72	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_o=60^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	146
Διάγραμμα 4. 73	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=60^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	148
Διάγραμμα 4. 74	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=60^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	149
Διάγραμμα 4. 75	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_o=60^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	150
Διάγραμμα 4. 76	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_o=60^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	151
Διάγραμμα 4. 77	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=75^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	153
Διάγραμμα 4. 78	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=75^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	154
Διάγραμμα 4. 79	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_o=75^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	155
Διάγραμμα 4. 80	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_o=75^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	155
Διάγραμμα 4. 81	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=75^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	158
Διάγραμμα 4. 82	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=75^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	159
Διάγραμμα 4. 83	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_o=75^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	160
Διάγραμμα 4. 84	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_o=75^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	161
Διάγραμμα 4. 85	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=75^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	163
Διάγραμμα 4. 86	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=75^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	164
Διάγραμμα 4. 87	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_o=75^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	165
Διάγραμμα 4. 88	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_o=75^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	165
Διάγραμμα 4. 89	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=90^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	168
Διάγραμμα 4. 90	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=90^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	168
Διάγραμμα 4. 91	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_o=90^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	169
Διάγραμμα 4. 92	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_o=90^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	170
Διάγραμμα 4. 93	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=90^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	172
Διάγραμμα 4. 94	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=90^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	173

Διάγραμμα 4. 95	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραιώσης για $\theta_o=90^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	174
Διάγραμμα 4. 96	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_o=90^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	175
Διάγραμμα 4. 97	Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=90^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	177
Διάγραμμα 4. 98	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=90^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	178
Διάγραμμα 4. 99	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραιώσης για $\theta_o=90^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	179
Διάγραμμα 4. 100	Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_o=90^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.	180
Διάγραμμα 4. 101	Συγκριτικό διάγραμμα αδιαστατοποιημένων τροχιών με πειραματικά δεδομένα Ayoub (1971) για $\theta_o=0^\circ$	183
Διάγραμμα 4. 102	Συγκριτικό διάγραμμα αδιαστατοποιημένων τροχιών με πειραματικά δεδομένα Fan (1967) για $\theta_o=90^\circ$ και $F_o=10$	189
Διάγραμμα 4. 103	Συγκριτικό διάγραμμα αδιαστατοποιημένων τροχιών με πειραματικά δεδομένα Fan (1967) για $\theta_o=90^\circ$ και $F_o=20$	190
Διάγραμμα 4. 104	Συγκριτικό διάγραμμα αδιαστατοποιημένων τροχιών με πειραματικά δεδομένα Fan (1967) για $\theta_o=90^\circ$ και $F_o=40$	191
Διάγραμμα 4. 105	Συγκριτικό διάγραμμα αδιαστατοποιημένων τροχιών με πειραματικά δεδομένα Fan (1967) για $\theta_o=90^\circ$ και $F_o=80$	192

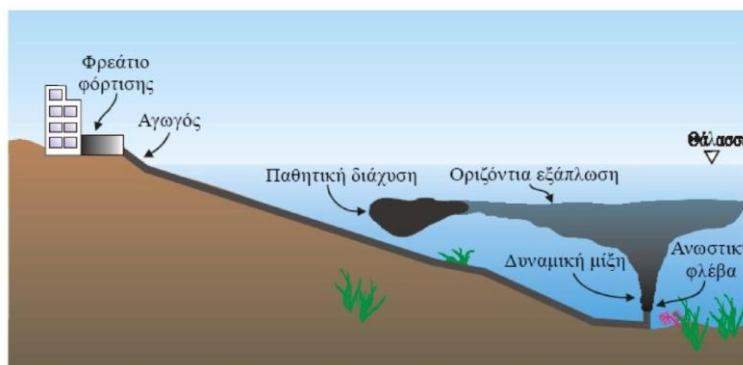
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι περισσότερες παραθαλάσσιες πόλεις εκρέουν ή διαθέτουν τα επεξεργασμένα ή τα μη επεξεργασμένα υγρά τους απόβλητά μέσω ενός αγωγού στη θάλασσα. Η μελέτη της μηχανικής διασποράς αστικών λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων μέσα στη θάλασσα παρουσιάζει ενδιαφέρον, καθώς αποτελεί το αναγκαίο υπόβαθρο για το μελετητή μηχανικό που αναζητεί απάντηση σε διάφορα ερωτήματα. Ορισμένα από αυτά τα ερωτήματα, θα μπορούσαν να είναι σχετικά με την επιλογή της απαραίτητης απόστασης από την ακτή, που πρέπει να γίνεται η εκροή των λυμάτων στην θάλασσα, ώστε οι ακτές να μη μολύνονται και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες δραστηριότητες. Ακόμα, θα μπορούσαν να αφορούν το βάθος της εκροής των λυμάτων που κρίνεται ως απαραίτητο για κάθε περίπτωση που ερευνάται, καθώς επίσης και για τον αναγκαίο βαθμό καθαρισμού των λυμάτων πριν τη διάθεσή τους σε κάποιο υδάτινο όγκο. Πιο συγκεκριμένα, τα οικιακά λύματα και τα βιομηχανικά απόβλητα είναι συνήθως ελαφρύτερα του θαλασσινού νερού όπου η πυκνότητα του κυμαίνεται περίπου στο $1,025 \text{ gr/cm}^3$. Αυτό οφείλεται στην πυκνότητά τους που είναι ίδια με την πυκνότητα του γλυκού νερού, όπου κυμαίνεται περίπου στο $1,0 \text{ gr/cm}^3$. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τα λύματα να δέχονται τη δύναμη της άνωσης, λόγω της διαφοράς της πυκνότητας από το θαλάσσιο περιβάλλον, ($\Delta\rho = \rho_\alpha - \rho_\sigma$) όπου ως ρ_σ ορίζεται η αρχική πυκνότητα των λυμάτων και ως ρ_α η πυκνότητα σε ένα σχεδόν ακίνητο περιβάλλον, και να αναδύονται στην επιφάνεια της θάλασσας. Δημιουργούνται, επομένως τριών ειδών εκροές που ανάλογα με την πυκνότητα τους καθορίζεται και το είδος τους. Πιο συγκεκριμένα όταν υπάρχει ισότητα των πυκνοτήτων ($\rho_\sigma = \rho_\alpha$) τότε η εκροή είναι φλέβα. Επίσης, αν ισχύει ότι η διαφορά των πυκνοτήτων είναι διάφορη του μηδενός ($\Delta\rho = \rho_\alpha - \rho_\sigma \neq 0$) και η αξονική ταχύτητα είναι αμελητέα, τότε η εκροή έχει την μορφή πλουμίου. Τέλος, αν ισχύει ότι η διαφορά των πυκνοτήτων είναι διάφορη του μηδενός ($\Delta\rho = \rho_\alpha - \rho_\sigma \neq 0$) και η αξονική ταχύτητα είναι σημαντική, τότε η εκροή έχει την μορφή ανωστικής φλέβας. (Σχήμα 1.1)



Σχήμα 1. 1 Ανωστική φλέβα (Πηγή : Γ. Συλαίος, 2015)

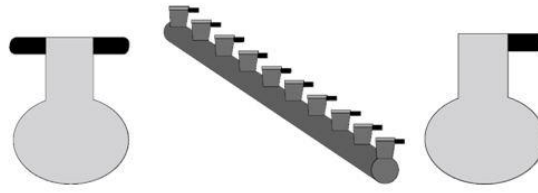
Στο Σχήμα 1.2 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι διεργασίες που πραγματοποιούνται για την περίπτωση της ανωστικής φλέβας, από το φρεάτιο φόρτισης των λυμάτων, που έχουν καταλήξει μετά την συλλογή τους από κατάλληλα αποχετευτικά συστήματα, την μεταφορά τους με την βοήθεια του αγωγού καθώς και την τελική τους θέση μέσα στο θαλάσσιο περιβάλλον με τέτοιο τρόπο ώστε να μην δημιουργούνται μη αναστρέψιμες συνθήκες για το παράκτιο οικοσύστημα.



Σχήμα 1.2 Σχηματική παρουσίαση διεργασιών μείξης ανωστικής φλέβας λυμάτων. (Πηγή : Γ. Συλαίος, 2015)

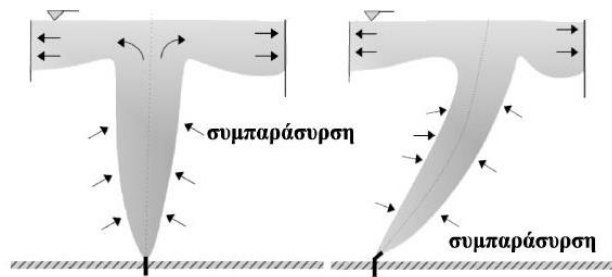
1.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΚΡΟΗΣ

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, η εκροή υγρών αποβλήτων σε κατάλληλα βάθη μέσω υποβρύχιων αγωγών, αποτελεί μέχρι σήμερα την πιο συνηθισμένη πρακτική για την επίλυση προβλημάτων σχετικά με την προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Η διαδικασία της εκροής επιτυγχάνει την έντονη ανάμειξη, όπου οφείλεται κατά κύριο λόγο στη συμπαρασύρση (Σχήμα 1.4) του υγρού του θαλάσσιου περιβάλλοντος από το πεδίο ροής των λυμάτων. Έτσι η ανάμειξη αυτή προκαλεί την αραίωση των υγρών αποβλήτων που καταλήγουν στο θαλάσσιο περιβάλλον και αυτή επιτυγχάνεται με την βοήθεια κατάλληλου διαχυτήρα, όπου έχει τοποθετηθεί στην άκρη του ακροφυσίου του υποβρύχιου αγωγού μεταφοράς. Ο διαχυτήρας αποτελεί τμήμα κλειστού αγωγού, κυκλικής διατομής, κατά μήκος του οποίου προσαρμόζονται είτε ακροφύσια είτε στόμια εκροής. (Σχήμα 1.3) Όσον αφορά τα στόμια εκροής, αποτελούν την συνέχεια του διαχυτήρα καθώς συνδέονται με ανυψωτήρες, όπου είναι κατακόρυφοι σωλήνες μικρότερης διαμέτρου και βοηθούν ώστε η εκροή των υγρών αποβλήτων να πραγματοποιείται σε κάποια σχετική απόσταση από τον πυθμένα της θάλασσας. Συνήθως η τιμή που κυμαίνεται αυτή η απόσταση είναι περίπου 1m.

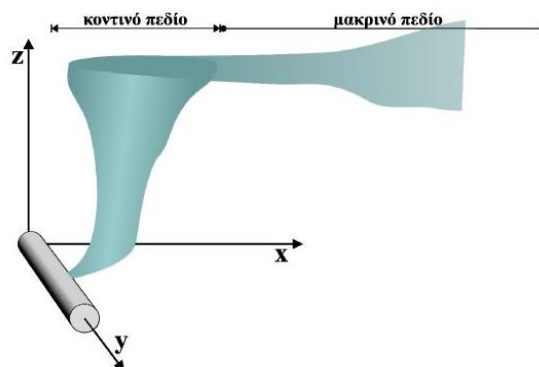


Σχήμα 1.3 Σκαρίφημα τμήματος διαχυτήρα (μεσαίο σκαρίφημα) και ενδεικτικές λεπτομέρειες τομών διαχυτήρα με ανυψωτήρα και στόμια εκροής εκατέρωθεν του ανυψωτήρα (αριστερά) και μόνο από τη μία πλευρά του ανυψωτήρα (δεξιά). (Πηγή : Γ. Κρεστενίτης , 2015)

Η συνολική αραίωση $S_{ολ}$ των λυμάτων που πρέπει να επιτυγχάνεται είναι τέτοια, ώστε να ισχύει η ακόλουθη ανίσωση : $S_{ολ} \geq \max(C_{\lambda}/C_{\alpha})$, με C_{λ} να είναι η συγκέντρωση ρύπανσης στα λύματα και C_{α} το επιτρεπόμενο όριο της συγκέντρωσης ρύπανσης στο θαλάσσιο περιβάλλον.



Σχήμα 1.4 Εκροή υγρού πυκνότητας ρ_0 σε υδάτινο αποδέκτη με πυκνότητα $\rho_a > \rho_0$ από κατακόρυφο στόμιο (αριστερά) ή στόμιο κεκλιμένο ως προς την ελεύθερη επιφάνεια (δεξιά). Τα βέλη σχηματοποιούν τη διεργασία της αδρανειακής συμπαράσυρσης στο θαλάσσιο αποδέκτη. (Πηγή : Γ. Κρεστενίτης , 2015)



Σχήμα 1.5 Κοντινό και μακρινό πεδίο διάλυσης των υγρών αποβλήτων. (Πηγή : Γ. Κρεστενίτης , 2015)

Στο Σχήμα 1.5 απεικονίζονται τα πεδία αραίωσης κατά την εκροή των λυμάτων σε έναν υδάτινο αποδέκτη. Πιο συγκεκριμένα, αν η αραίωση προκληθεί κατά την περίοδο της ανόδου των λυμάτων, θα ήταν κατανοητό ότι το πεδίο εκδήλωσης θα ήταν το εγγύς ή κοντινό (near field area, NFA). Αν όμως προκληθεί κατά την περίοδο της μεταφοράς ή τη στιγμή της βιοαποδόμησης θα ήταν κατανοητό ότι το πεδίο εκδήλωσης θα ήταν το απομακρυσμένο (far field area, FFA). (Σχήμα 1.6)



Σχήμα 1.6 Φωτογραφία εκροής από διαχυτήρα όπου διακρίνονται η σταθερή NFA και η πιο δυναμικά μεταβαλλόμενη FFA. (Πηγή : Γ. Συλαίος, 2015)

Η αραίωση που επιτυγχάνεται κατά την περίοδο της ανόδου, στο κοντινό πεδίο, χαρακτηρίζεται ως αρχική αραίωση $S_{αρχ}$, ενώ αυτή που επιτυγχάνεται κατά την περίοδο της μεταφοράς ή τη στιγμή της βιοαποδόμησης, στο μακρινό πεδίο, ως επόμενη αραίωση.

1.3 ΦΥΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΡΟΗΣ

Για τον υπολογισμό της ροής της μάζας, της ορμής και της άνωσης της φλέβας υποθέτουμε την ύπαρξη μιας κυκλικής φλέβας διαμέτρου d_o που εκρέει συνεχώς υγρά λύματα με πυκνότητα ρ_o , ομοιόμορφη ταχύτητα U_α και συγκέντρωση ρυπαντών C_o μέσα σε ένα σχεδόν ακίνητο περιβάλλον ρευστό πυκνότητας ρ_α που έχει ήδη συγκέντρωση C_α . Κατά την βιβλιογραφία του Turner (Turner, 1973) ορίζονται η τύποι για την ροή μάζας της φλέβας, τη ροή ορμής της καθώς και τη ροή άνωσης της.

Πιο συγκεκριμένα, η ροή μάζας της φλέβας που αποτελεί την ποσότητα μάζας που διέρχεται από κάποια διατομή ανά μονάδα χρόνου ορίζεται ως:

$$\rho\mu = \int_A \rho w_o dA \quad (1,1)$$

Η ροή ορμής της φλέβας που αποτελεί την ποσότητα ορμής που διέρχεται από κάποια διατομή ανά μονάδα χρόνου ορίζεται ως:

$$\rho m = \int_A \rho w_o^2 dA \quad (1,2)$$

Και τέλος, η ροή άνωσης της φλέβας που αποτελεί το ανωστικό βάρος του ρευστού που διέρχεται από κάποια διατομή ανά μονάδα χρόνου ορίζεται ως:

$$\rho \beta = \int_A g \Delta \rho w_o dA \quad (1,3)$$

όπου το A αποτελεί το εμβαδόν της διατομής, το w_o το συνολικό μέτρο της ταχύτητας της φλέβας, το m τη ειδική ροή ορμής [L^3/T], το $\Delta \rho$ την διαφορά της πυκνότητας μεταξύ του ρευστού της φλέβας και του περιβάλλοντος ρευστού στον υδάτινο όγκο ($\Delta \rho = \rho_\alpha - \rho_o$) και το β την ειδική ανωστική ροή [L^4/T^3].

Από τους παραπάνω τύπους προκύπτουν οι ακόλουθοι τύποι :

$$\mu = \int_A w_o dA \quad (1,4 \alpha)$$

$$m = \int_A w_o^2 dA \quad (1,4 \beta)$$

$$\beta = \int_A g \frac{\Delta \rho}{\rho} w_o dA \quad (1,4 \gamma)$$

με αρχικές τιμές (στην έξοδο του ακροφυσίου) τις ακόλουθες:

$$\mu_o = Q_o = \frac{1}{4} \pi d_o^2 w_o \quad (1,5 \alpha)$$

$$m_o = M_o = \frac{1}{4} \pi d_o^2 w_o^2 = Q w_o \quad (1,5 \beta)$$

$$\beta_o = B_o = F_o = g \left(\frac{\Delta \rho_o}{\rho} \right) Q = g'_o Q \quad (1,5 \gamma)$$

όπου d_o είναι η διάμετρος του ακροφυσίου εκροής, w_o η μέση ταχύτητα εκροής και g'_o είναι η αρχική φαινόμενη επιτάχυνση της βαρύτητας.

Από τους παραπάνω τύπους μπορούμε να καταλάβουμε και την μορφή της εκροής.

1.3.1 Αριθμοί Froude και Richardson

Ορίζουμε τον αδιάστατο πυκνομετρικό αριθμό Froude ως:

$$F_o = \frac{w_o}{\sqrt{\frac{\rho_\alpha - \rho_o}{\rho_o} g d_o}} \quad (1,6)$$

όπου:

w_o είναι η αρχική ταχύτητα εκροής (στο στόμιο του διαχυτήρα),

ρ_o, ρ_α είναι οι πυκνότητες εκρέοντος και περιβάλλοντος ρευστού αντίστοιχα,

d_o είναι η διάμετρος της οπής του διαχυτήρα.

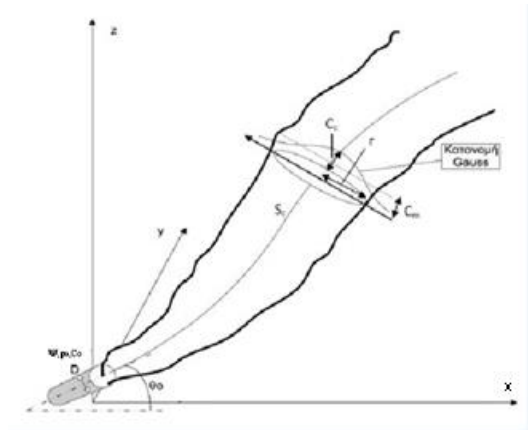
Ο πυκνομετρικός αριθμός Froude αποτελεί το πηλίκο των δυνάμεων της αρχικής ορμής προς τις υπάρχουσες ανωστικές δυνάμεις.

Όμοια ορίζουμε τον αριθμό Richardson ως:

$$R_o = \frac{\mu_o^2 \beta_o}{m_o^{5/2}} = \frac{(\rho_a - \rho_o) g d_o}{\rho_o w_o^2} \left(\frac{\pi}{4}\right)^{1/4} \quad (1,7)$$

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, με κριτήριο την πυκνότητα του εκρέοντος σε σχέση με εκείνη του περιβάλλοντος ρευστού καθορίζεται και η μορφή της εκροής. Πιο συγκεκριμένα, αν η εκροή είναι φλέβα ο αριθμός Froude τείνει στο άπειρο και ο αριθμός Richardson έχει μηδενική τιμή. Επίσης, αν η εκροή έχει την μορφή πλουμίου τότε η τιμή του αριθμού Froude είναι μικρότερη του 15. Τέλος, αν η εκροή έχει την μορφή ανωστικής φλέβας η τιμή του αριθμού Froude τείνει στο άπειρο και ο αριθμός Richardson είναι ίσος με 15.

1.3.2 Απλή Κυκλική Φλέβα



Σχήμα 1.7 Εκροή λυμάτων από αγωγό κυκλικής διατομής. (Πηγή : Γ. Κρεστανίτης , 2015)

Για την περίπτωση μιας απλής κυκλικής φλέβας όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.7, αν θεωρηθεί η εκροή ρευστού από ένα κυκλικό στόμιο σε ένα ρευστό όμοιας πυκνότητας, η συγκέντρωση του εκρέοντος ρύπου ακολουθεί την κανονική κατανομή (Gauss) η οποία ορίζεται ως:

$$C = C_m \exp[-k(r/s)^2] \quad (1,8)$$

όπου ο δείκτης m αναφέρεται στην τιμή του άξονα της φλέβας, s είναι η απόσταση κατά μήκος του άξονα και r η ακτινική απόσταση εγκάρσια στο επίπεδο της φλέβας.

Αντίστοιχα, η μέση κατανομή της ταχύτητας σε μία φλέβα δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση συναρτήσει της αξονικής τιμής της ταχύτητας :

$$w = w_m f(r/b_w) \quad (1,9)$$

όπου το m αναφέρεται στην τιμή του άξονα της φλέβας, r είναι η ακτινική απόσταση και b_w είναι η τιμή του r στην οποία η ταχύτητα w είναι ίση με το $0,37 w_m$ (συνήθως $0,37 = e^{-1}$).

Η μορφή της συνάρτησης f είναι η γνωστή κατανομή Gauss, οπότε ισχύουν οι ακόλουθοι τύποι για την συγκέντρωση C και για την ταχύτητα w :

$$C = C_m \exp[-(r/b_c)^2] \quad (1,10 \alpha)$$

$$w = w_m \exp[-(r/b_w)^2] \quad (1,10 \beta)$$

όπου b_w , b_c είναι οι τιμές της απόστασης r στις οποίες η ταχύτητα w και η συγκέντρωση C , αντιστοίχως λαμβάνουν τιμές ίσες με $0,37 w_m$ και $0,37 C_m$ αντίστοιχα .

Για μία απλή τυρβώδη κυκλική φλέβα ορίζεται μία χαρακτηριστική κλίμακα μήκους ως συνάρτηση της ροής όγκου μ_o και της ροής ορμής m_o ως:

$$I_Q = \mu_o / m_o^{1/2} = \sqrt{A_o} \quad (1,11)$$

όπου A_o το αρχικό εμβαδόν διατομής της φλέβας.

Για κυκλική φλέβα αυτό γράφεται:

$$I_Q = d_o \sqrt{\pi/4} \quad (1,12)$$

1.3.3 Απλό Πλούμιο

Για την περίπτωση του πλουμίου είναι ευκολότερη η ανάλυση από αυτή της φλέβας καθώς δεν υπάρχει αρχική ροή μάζας (μ_o) ούτε αρχική ροή ορμής (m_o) παρά μόνο η ανωστική ροή β_o .

Ο τύπος της κατακόρυφης ταχύτητας στο εσωτερικό του πλουμίου εξαρτάται από:

- Τη ροή άνωσης β_o ,
- Την κατακόρυφη απόσταση από το στόμιο της εκροής s και
- Το ιξώδες του ρευστού ν .

Συνεπώς σχηματίζεται ο τύπος που ακολουθεί :

$$w_m = f(\beta_o, s, \nu) \quad (1,13)$$

Οι παραπάνω παράμετροι συνδυάζονται στην περίπτωση που υπάρχει κυκλικής διατομής πλούμιο, και ισχύει ότι:

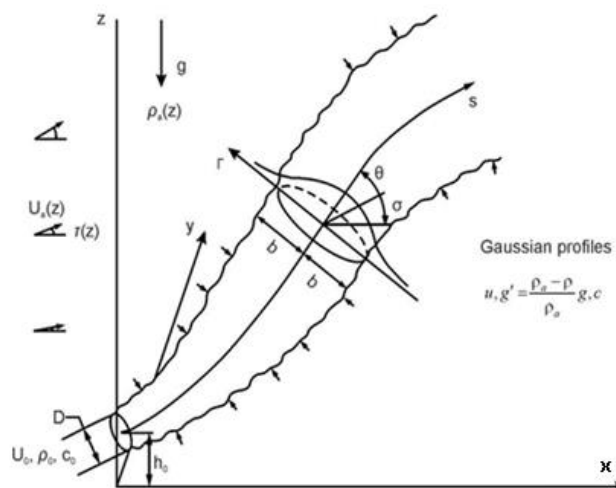
$$w_m (s/\beta_o)^{1/3} = f(\beta_o^{1/3} s^{2/3} / \nu) \quad (1,14)$$

Όπου η συνάρτηση στο δεύτερο μέλος αποτελεί μία μορφή του αριθμού Reynolds.

2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΑΡΑΙΩΣΗΣ

2.1.1 Κυλινδρική φλέβα (εκροή από μια οπή)

2.1.1.1 Εκροή σε ομογενές και ακίνητο περιβάλλον



Σχήμα 2. 1 Εκροή από διαχυτήρα με την κεντρική γραμμή και την κατανομή Gauss συγκέντρωσης ρύπου. (Πηγή : Γ. Συλαίος, 2015)

Σχετικά με την ελάχιστη αρχική αραιώση σε απόσταση x , η οποία μετράται κατά μήκος του άξονα της φλέβας από το σημείο διάθεσης, ισχύει ο τύπος $S_c(x) = C_0/C_c(x)$, όπου C_0 είναι η συγκέντρωση του ρύπου ή ιχνηθέτη στην έξοδο του ακροφυσίου στον αγωγό διάθεσης. Η μέση αραιώση S_m σε μία διατομή προκύπτει από τη σχέση:

$$\frac{S_m}{S_c} \approx \frac{C_c}{C_m} = \frac{Q(x)}{Q_0} = 1,4 \pm 0,1 \quad (2,1)$$

όπου Q είναι η παροχή της ροής του πλουμίου, ο δείκτης m υποδεικνύει τις μεσοσταθμισμένες τιμές, ο δείκτης o υποδεικνύει τις αρχικές τιμές στο διαχυτήρα και ο δείκτης c υποδεικνύει τις τιμές στον άξονα της φλέβας. Ο όγκος των εξερχόμενων λυμάτων μεγαλώνει από το σημείο της εκροής με βάθος H και έπειτα φτάνει στην ελεύθερη επιφάνεια ή στο τερματικό ύψος που έχει οριστεί εξαιτίας της άνωσης που έχει δημιουργηθεί λόγω της αρχικής διαφοράς της πυκνότητας. Η συγκέντρωση που θα έχει η σχηματιζόμενη φλέβα των εκρεόντων λυμάτων σε (κατακόρυφη) απόσταση z από το ακροφύσιο εκροής εξαρτάται κυρίως από δύο παραμέτρους. Πρώτη παράμετρος είναι η τιμή του αρχικού πυκνομετρικού αριθμού Froude στο σημείο εκροής, διότι για τιμές που ο πυκνομετρικός αριθμός Froude είναι $F_0 \approx 1$ μπορούν να εμφανιστούν συνθήκες τυρβώδους πλουμίου, ενώ για μεγάλες τιμές του πυκνομετρικού αριθμού F_0

μπορούν να εμφανιστούν συνθήκες τυρβώδους φλέβας. Η δεύτερη παράμετρος που εξαρτάται είναι η κατακόρυφη απόσταση από το στόμιο εκροής, που εκφράζεται από το λόγο z/d_o με d_o την διάμετρο του ακροφυσίου εκροής αντίστοιχα και w_o την αρχική ταχύτητα εκροής.

Το κριτήριο ώστε να θεωρηθεί τυρβώδης η ροή είναι η τιμή του αριθμού Reynolds R_e καθώς πρέπει να ισχύει: $R_e = w_o d_o / \nu > 2000$, όπου ν είναι ο συντελεστής του κινηματικού ιξώδους του νερού. Εφόσον τα λύματα φτάσουν στην επιφάνεια του νερού και εξαπλωθούν κυκλικά γύρω από τη θέση της εκροής, δημιουργείται ευστάθεια καθώς το βάθος της εκροής στον πυθμένα είναι πολύ μεγάλο.

Για τον έλεγχο σχετικά με την ευστάθεια, θα πρέπει να ισχύει ο ακόλουθος τύπος (Lee & Jirka, 1981):

$$\frac{H}{d_o} = 0,22F_o \quad (2,2)$$

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

Στην περίπτωση που η εκροή γίνεται κατακόρυφα με $\theta_o = 90^\circ$ σε βαθιά νερά, δηλαδή ισχύει το κριτήριο της εξίσωσης (2,2), η αραίωση S_c στον άξονα συμμετρίας της ανερχόμενης φλέβας σε (κατακόρυφη) απόσταση z από το στόμιο της εκροής υπολογίζεται από την εμπειρική σχέση (Rouse et al., 1952):

$$S_c = 0,11 \left(\frac{z}{d_o} \right)^{5/3} F_o = 0,11 \beta_o^{1/3} z^{5/3} Q \quad (2,3)$$

όπου Q είναι η παροχή εκροής, β_o είναι η αρχική κινηματική ανωστική ροή, $S_c = C_o/C_c$ είναι η αραίωση στον άξονα της φλέβας, C_o είναι η αρχική συγκέντρωση του ιχνηθέτη της συντηρητικής ουσίας στη θέση εκροής (ίση προφανώς και με τη συγκέντρωση της ουσίας στην είσοδο του συστήματος υποβρύχιας διάθεσης) και C_c η συγκέντρωση της ουσίας στον άξονα της φλέβας σε απόσταση z από την εκροή.

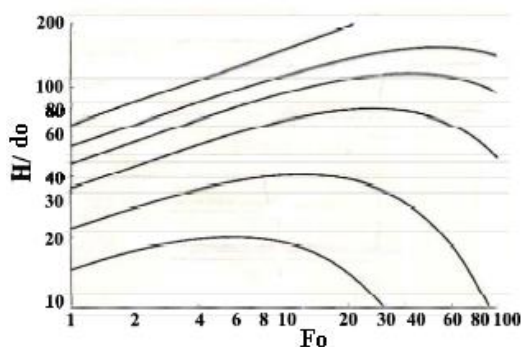
Στην περίπτωση που η εκροή γίνεται σε βαθιά νερά και η εκροή είναι οριζόντια, δηλαδή με $\theta_o = 0^\circ$, η αραίωση υπολογίζεται από τις σχέσεις κατά του Cederwall (1968), όπως δίνονται από τους Lee & Chu (2003):

$$S_c = 0,54F_o \left(0,38 \frac{z}{d_o F_o} + 0,66 \right)^{5/3} \quad \text{για } z/d_o \geq 0,5F_o \quad (2,4 \alpha)$$

$$S_c = 0,54F_o^{9/16} \left(\frac{z}{d_o} \right)^{7/16} \quad \text{για } z/d_o < 0,5F_o \quad (2,4 \beta)$$

Για την περίπτωση υπολογισμού της αραίωσης στην ελεύθερη επιφάνεια, όπου $z = H$, οι παραπάνω σχέσεις (2,4 α και 2,4 β) αποδίδονται γραφικά από το διάγραμμα του Abraham (1963), όπως έχει αναπαραχθεί στο Σχήμα 2.2 (Κουτίτας, 1994), που παρέχει τη αραίωση S_c σε συνάρτηση με τους όρους F_o και H/d_o . Το πάχος (τυπική

διάσταση κατά την κατακόρυφο) του πλουμίου των λυμάτων κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας υπολογίζεται ως $0,1 \sim 0,15$ του βάθους εκροής H ($d_{plume} = 0,1 \sim 0,15 H$, ενώ η αραίωση στην επιφάνεια υπολογίζεται από τις σχέσεις (2,4 α και 2,4 β) για $z = 0,85 \sim 0,9 H$.



Σχήμα 2. 2 Αρχική αραίωση Sc πλουμίου λυμάτων εκροής από αγωγό κυλινδρικής διατομής στο κοντινό πεδίο ομογενούς και στάσιμου θαλάσσιου αποδέκτη. (Πηγή : Γ. Κρεστενίτης , 2015)

Στην περίπτωση που η εκροή γίνεται σε ρηχά νερά, δηλαδή δεν ισχύει το κριτήριο της εξίσωσης 2,2, η αραίωση που επιτυγχάνεται, εφόσον ο αγωγός είναι κατακόρυφος, είναι (Jirka & Lee, 1994):

$$S_c = 0,9 \left(\frac{H}{d_o} \right)^{5/3} F_o^{-2/3} \quad (2,5)$$

2.1.1.2 Εκροή σε στρωματοποιημένο και ακίνητο περιβάλλον βαθιών νερών

Σε πολλές παράκτιες περιοχές τα θαλάσσια νερά είναι συνήθως στρωματοποιημένα, παρατηρείται δηλαδή ότι σχηματίζουν απότομες αλλαγές στην κατακόρυφη κατανομή της πυκνότητας με το βάθος. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας ή ακόμα και στο ποσοστό αλατότητας μιας περιοχής. Πολλές είναι οι περιπτώσεις εκείνες που το πυκνοκλινές, δηλαδή οι κατακόρυφες βαθμίδες της πυκνότητας του θαλασσινού νερού, είναι ασθενές και έτσι η κατανομή της πυκνότητας στο βάθος $\rho_\alpha(z)$ μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν γραμμική, δηλαδή να θεωρηθεί ότι ισχύει : $d\rho_\alpha(z)/dz = const..$

Σε συνθήκες γραμμικής στρωμάτωσης, και πολύ περισσότερο σε συνθήκες έντονης στρωμάτωσης, είναι πιθανή η δέσμευση του πλουμίου των λυμάτων σε κάποιο βάθος κάτω από τη στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας h_{max} (βάθος παγίδευσης), το

οποίο αντιστοιχεί στο τερματικό ύψος παγίδευσης z_{max} του πλουμίου από τον πυθμένα ή το σημείο εκροής ($z_{max} < H$).

Το ύψος παγίδευσης, μετρούμενο από τη στάθμη εκροής προς την ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας, υπολογίζεται από τη σχέση που ακολουθεί: (Morton et al., 1956, Brooks, 1972):

$$z_{max} = 3,98\beta_o^{1/4} \left(\frac{-g}{\rho_a} \frac{d\rho_a}{dz} \right)^{-3/8} \quad (2,6)$$

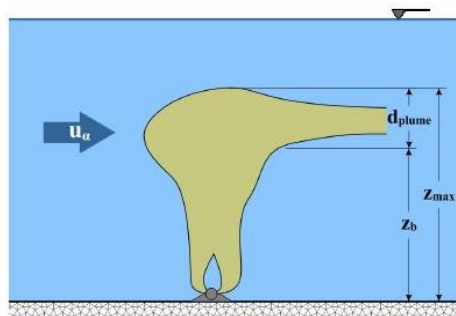
όπου ρ_a η πυκνότητα περιβάλλοντος στη θέση εκροής, ενώ η ελάχιστη αραιώση στο βάθος παγίδευσης z_{max} ισούται με:

$$S_c = 0,071 \frac{\beta_o^{1/3} z_{max}}{Q} \quad (2,7)$$

2.1.1.3 Εκροή παρουσία θαλάσσιου ρεύματος

Τα θαλάσσια ρεύματα στο περιβάλλον εκροής με ταχύτητα U_a διαφοροποιεί το φαινόμενο, αφού αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι για την σωστή διεκπεραίωση του έργου. Η αραιώση που δημιουργείται δεν εξαρτάται μόνο από τα χαρακτηριστικά της εκροής και τη διαφορά της πυκνότητας, αλλά και από την ένταση του θαλασσίου ρεύματος.

Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζεται σκαρίφημα του παγιωμένου πεδίου των λυμάτων με την αρχική φάση αραιώσης ως ανωστικό πλούμιο z_b και την παγίδευση του σε ένα τερματικό ύψος z_{max} από το σημείο εκροής λόγω της παρουσίας θαλάσσιου ρεύματος.



Σχήμα 2.3 Παγίωση του πεδίου λυμάτων στον αποδέκτη για μεμονωμένη εκροή παρουσία θαλάσσιου ρεύματος. (Πηγή : Γ. Κρεστενίτης , 2015)

Για τις συνθήκες κατακόρυφης εκροής σε ένα ομογενές περιβάλλον ισχύει κατά (Wright, 1977· Fischer et al., 1979):

$$S_c = 0,27 \frac{\beta_o^{1/3} z^{5/3}}{Q} \quad \text{για} \quad \frac{z U_a^3}{\beta_o} \leq 1 \quad (2,8 \alpha)$$

$$S_c = 0,40 \frac{U_a z^2}{Q} \quad \text{για} \quad \frac{z U_a^3}{\beta_o} > 1 \quad (2,8 \beta)$$

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

Σε συνθήκες οριζόντιας εκροής, δηλαδή όταν το στόμιο εκροής είναι παράλληλο προς τη θαλάσσια επιφάνεια ή και τον πυθμένα σε ομογενές θαλάσσιο περιβάλλον, ισχύει κατά Lee & Neville-Jones (1987) και Fischer et al. (1979):

$$S_m = 0,31 \frac{\beta_o^{1/3} H^{5/3}}{Q} \text{ για } \frac{H U_a^3}{\beta_o} \leq 5 \quad (2,9 \alpha)$$

$$S_m = 0,32 \frac{U_a H^2}{Q} \text{ για } \frac{H U_a^3}{\beta_o} > 5 \quad (2,9 \beta)$$

όπου S_m είναι η ελάχιστη μεσοσταθμισμένη κατά τον όγκο του πλουμίου αραίωση στην ελεύθερη επιφάνεια του αποδέκτη, δηλαδή σε απόσταση $z = H$ από την εκροή.

Για την περίπτωση της κατακόρυφης εκροής σε γραμμικά στρωματοποιημένο περιβάλλον για τον υπολογισμό του τερματικού ύψους παγίδευσης προτείνεται η σχέση του Wright (1977) από Fischer et al. (1979):

$$z_{max} = 1,8 \left(\frac{U_a}{\varepsilon^{1/2}} \right)^{2/3} \left(\frac{\beta_o}{U_a^3} \right)^{1/3}, \text{ με } \varepsilon = - \frac{g}{\rho_a} \frac{d\rho_a}{dz} \quad (2,10)$$

όπου ε είναι μια παράμετρος που χαρακτηρίζει τη στρωμάτωση. Η αραίωση στο βάθος παγίδευσης μπορεί να υπολογιστεί από τις σχέσεις (2,8 α και 2,8 β), ανάλογα με την ένταση του θαλασσίου ρεύματος, θέτοντας $z = z_{max}$

2.1.2 Γραμμική ή Δισδιάστατη Φλέβα (εκροή από διαχυτήρα)

Σε πολλές περιπτώσεις κατά την διαδικασία διάθεσης των λυμάτων η εκροή μπορεί να πραγματοποιηθεί και με πλήθος ακροφυσίων (θυρίδες εκροής) και όχι απαραίτητα από ένα ακροφύσιο (στόμιο εξόδου). Πιο συγκεκριμένα, αυτές βρίσκονται στο τέλος των αντίστοιχων ανυψωτήρων, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις κατά μήκος του διαχυτήρα. Οι ανυψωτήρες είναι απαραίτητοι για διαχυτήρες διαμέτρου μικρότερης του 1m και γενικά για αγωγούς/διαχυτήρες που είναι θαμμένοι σε όρυγμα στο θαλάσσιο πυθμένα, ώστε να αποφεύγεται η είσοδος φερτών υλών στον αγωγό κατά την διαδικασία της εκροής. Σε αγωγούς για την μεταφορά των λυμάτων που έχουν μεγαλύτερη διάμετρο τα λύματα μπορεί να διατίθενται από οπές στο τοίχωμα του διαχυτήρα, εφόσον ο διαχυτήρας είναι τοποθετημένος πάνω στο θαλάσσιο πυθμένα. Τα στόμια εξόδου μπορούν να έχουν διάφορες κατευθύνσεις ως προς τον άξονα του διαχυτήρα και είναι ένα ή περισσότερα (συνήθως έως 2) σε κάθε ανυψωτήρα.

Τα λύματα που εξέρχονται από τα στόμια των ανυψωτήρων σχηματίζουν επιμήκη αξονοσυμμετρική ροή προς την επιφάνεια της θάλασσας (Σχήμα 2.4), η οποία προσομοιώνεται με την εκροή από μία γραμμική πηγή μήκους L_D ίσου με το μήκος του διαχυτήρα και μέσης στο μήκος παροχής $q = Q/L_D$. Το μήκος του διαχυτήρα L_D που ταυτίζεται με το μήκος της γραμμικής εκροής λαμβάνεται ως το γινόμενο $L_D = N \cdot s$, όπου N είναι το πλήθος των ανυψωτήρων (ανεξάρτητα αν έχουν 1 ή 2 στόμια εκροής) και s είναι η μεταξύ τους απόσταση. Για την αποφυγή αλληλοεπικάλυψης των φλεβών των διαφόρων ανυψωτήρων κοντά στα στόμια εκροής, το s πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το 1/4 του βάθους εκροής H ($s = H/4$).

2.1.2.1 Εκροή σε ομογενές και ακίνητο περιβάλλον

Στο ομογενές θαλάσσιο περιβάλλον, όπου δεν υπάρχουν ρεύματα, η εκροή των λυμάτων αποτελεί μια απλή περίπτωση για τον υπολογισμό της τιμής της αραίωσης στην ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας. Στην προκειμένη περίπτωση το κριτήριο αστάθειας για την εμφάνιση επανακυκλοφορίας των λυμάτων μετά την εκροή τους οδηγεί στη σχέση των Jirka & Lee (1994):

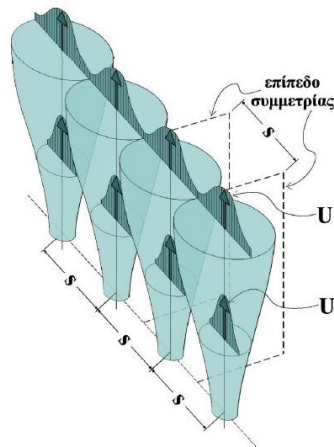
$$\frac{m}{\beta'_o{}^{2/3}H} = \frac{0,54}{(1+\cos^2\theta_o)} \quad (2,11)$$

όπου $m = \beta'_o w_o$ είναι η μεταφορά/ροή της ορμής, β'_o είναι η κινηματική ανωστική ροή για γραμμική εκροή, w_o είναι η ταχύτητα εκροής από κάθε μεμονωμένο στόμιο εκροής, H είναι το συνολικό βάθος εκροής και θ_o είναι η γωνία που σχηματίζει ο άξονας του στομίου εκροής με το οριζόντιο επίπεδο. Από αρκετές παρατηρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί για μεγάλο αριθμό συστημάτων διάθεσης των λυμάτων σε θαλάσσιο περιβάλλον, αποδεικνύεται ότι το κριτήριο ευστάθειας ικανοποιείται πάντοτε, εκτός αν πρόκειται για σύστημα διάθεσης θερμών νερών όπως για παράδειγμα σε απόβλητα θερμοηλεκτρικού σταθμού κτλ. Εφόσον ισχύει το κριτήριο ευστάθειας, η ελάχιστη αραίωση των λυμάτων στην επιφάνεια υπολογίζεται από τη σχέση κατά (Rouse et al., 1952· Jirka & Lee, 1994):

$$S_c = 0,38 \frac{\beta'_o{}^{1/3}H}{q} \quad (2,12)$$

Για τον υπολογισμό της μέσης αραίωσης στην επιφάνεια της θάλασσας μπορεί να οριστεί αν η ελάχιστη επιφανειακή αραίωση πολλαπλασιαστεί με $\sqrt{2}$, δηλαδή $S_m = S_c\sqrt{2}$. Από τη σχέση (2,12) γίνεται φανερό ότι για δεδομένες τιμές της συνολικής παροχής Q και του βάθους εκροής H σε πεδίο με ομογενείς συνθήκες άνωσης ($\Delta\rho/\rho_o =$

σταθ. για όλους τους ανυψωτήρες) η αραιώση αυξάνεται με την αύξηση του μήκους του διαχυτήρα L_D .



Σχήμα 2. 4 Εκροή λυμάτων από διαχυτήρα – επιμήκης αξονοσυμμετρική ροή (s: απόσταση μεταξύ διαδοχικών στομιών εκροής, U: κατανεμημένη κατά Gauss ταχύτητα εκροής σε κάθε μεμονωμένη φλέβα). (Πηγή : Γ. Κρεστενίτης, 2015)

2.1.2.2 Εκροή σε γραμμικά στρωματοποιημένο περιβάλλον

Στην περίπτωση που στο θαλάσσιο περιβάλλον η πυκνότητα μεταβάλλεται με το βάθος, είναι δυνατόν να εμφανιστεί παγιδευμένο πλούμιο. Με βάση την παραδοχή της γραμμικής στρωμάτωσης, το ύψος παγίδευσης z_{max} , μετρούμενο από τη στάθμη εκροής προς τη θαλάσσια επιφάνεια, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$z_{max} = 2,84 \beta'_o{}^{1/3} / \sqrt{-\frac{g}{\rho_a} \frac{d\rho_a}{dz}} \quad (2,13)$$

όπου ρ_a η πυκνότητα του θαλασσίου περιβάλλοντος στο βάθος εκροής, δηλ. στο επίπεδο που βρίσκονται οι ανυψωτήρες.

Η ελάχιστη αραιώση στο ύψος που θα φτάσει η γραμμική φλέβα, μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση κατά (Jirka & Lee, 1994):

$$S_c = 0,31 \frac{\beta'_o{}^{1/3} z_{max}}{q} \quad (2,14)$$

Το πάχος του στρώματος που καταλαμβάνουν τα διαλυμένα λύματα στην επιφάνεια ή στο βάθος παγίδευσης (αν λόγω της στρωμάτωσης δεν είναι δυνατόν να φτάσουν στην επιφάνεια της θάλασσας) είναι περίπου το 40~50% του συνολικού βάθους (ή του βάθους παγίδευσης για την περίπτωση του παγιδευμένου πλουμίου), δηλαδή υπολογίζεται από τον τύπο: $d_{plume} = 0,4 \sim 0,5 * z_{max}$. Αντί των συντελεστών 2,84 και

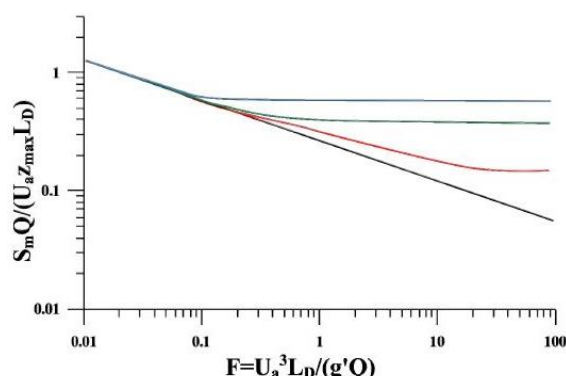
0,31 των εξισώσεων (2,13) και (2,14), αντιστοίχως, κάποιοι ερευνητές, βασισμένοι σε εργαστηριακές μετρήσεις, προτείνουν τις τιμές 3,6 και 0,24 αντίστοιχα.

2.1.2.3 Αραίωση στην περίπτωση ύπαρξης θαλασσίων ρευμάτων

Αν στο θαλάσσιο περιβάλλον επικρατούν ρεύματα σταθερής ταχύτητας U_a σε όλη τη θαλάσσια στήλη, η αραίωση εξαρτάται και από την παράμετρο $\Lambda = U_a^3 / \beta'_o$. Έτσι, στην περίπτωση ομογενούς θαλασσίου περιβάλλοντος, αν ισχύει η ανίσωση για $\Lambda < 0,1$, η ελάχιστη επιφανειακή αραίωση δεν εξαρτάται από την ταχύτητα του ρεύματος και μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση (Baumgartner et al., 1994):

$$S_m = 0,27 \frac{\beta'_o^{1/3} H}{q} \quad (2,15)$$

Αντίθετα, στην περίπτωση που ισχύει η ανίσωση $\Lambda > 0,1$, η ελάχιστη αραίωση στη θαλάσσια επιφάνεια εξαρτάται αφενός από την ταχύτητα του ρεύματος U_a και αφετέρου από τη γωνία γ που σχηματίζει η διεύθυνση του ρεύματος με τον άξονα του διαχυτήρα και μπορεί να υπολογιστεί από το διάγραμμα του Roberts (1979), όπου: $S_m = f(u_a, \Lambda, \gamma)$ και $0 \leq \gamma \leq 90^\circ$ (Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2. 5 Διάγραμμα του Roberts (1979) για τον υπολογισμό της ελάχιστης αρχικής αραίωσης και τιμές της παραμέτρου $\Lambda > 0,1$ (Πηγή : Γ. Κρεστενίτης, 2015)

Στην περίπτωση που το κινούμενο θαλάσσιο περιβάλλον είναι και στρωματοποιημένο, είναι επίσης δυνατόν τα λύματα να μη φτάσουν στη θαλάσσια επιφάνεια. Εφόσον το θαλάσσιο ρεύμα είναι ασθενές, ώστε να ισχύει η ανισότητα $\Lambda < 0,1$, το βάθος (άρα και το ύψος) παγίδευσης και η ελάχιστη αραίωση, δεν εξαρτώνται από την ένταση του ρεύματος και τη γωνία του διαχυτήρα ως προς το ρεύμα και υπολογίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις κατά Jirka & Lee (1994):

$$z_{max} = 2,6 \beta'_o^{1/3} / \sqrt{-\frac{g}{\rho_a} \frac{d\rho_a}{dz}} \quad (2,16)$$

$$S_m = 0,37 \frac{\beta'_{o^{1/3}} z_{max}}{q} \quad (2,17)$$

Οι σχέσεις (2,16) και (2,17) είναι όμοιες με τις σχέσεις (2,13) και (2,14) αντίστοιχα, άλλα οι τιμές των συντελεστών είναι διαφορετικές. Αν η ένταση του θαλασσίου ρεύματος είναι σημαντική και ισχύει η ανίσωση $0,1 < \Lambda < 100$, τότε το βάθος παγίδευσης και η ελάχιστη αραίωση στο ύψος αυτό εξαρτώνται από την ένταση του ρεύματος και τη γωνία του άξονα του διαχυτήρα με το ρεύμα. Εφόσον ο διαχυτήρας είναι τοποθετημένος κάθετα προς τη διεύθυνση του ρεύματος, δηλαδή για γωνία $\gamma = 90^\circ$, το ύψος παγίδευσης και η αντίστοιχη ελάχιστη αραίωση υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις κατά Jirka & Lee, (1994):

$$z_{max} = 2,5 \sqrt{\beta'_{o^{1/3}} / \left(U_a \left(-\frac{g}{\rho_a} \frac{d\rho_a}{dz} \right) \right)} \quad (2,18)$$

$$S_m = 0,4 \frac{\beta'_{o^{1/3}} z_{max} \Lambda^{1/6}}{q} (2,19 \Lambda^{1/6} - 0,52) \quad (2,19)$$

2.2 ΑΡΑΙΩΣΗ ΛΥΜΑΤΩΝ Ή ΙΧΝΗΘΕΤΗ ΣΤΟ ΜΑΚΡΙΝΟ ΠΕΔΙΟ

Στο πέρας της αρχικής αραίωσης τα λύματα δημιουργούν ένα πλούμιο πλάτους B και πάχους d_{plume} . Εφόσον η διάθεση των λυμάτων γίνεται με τη χρήση διαχυτήρα, το εύρος του πεδίου των αραιωμένων λυμάτων στην επιφάνεια ή στο βάθος παγίδευσης (αν δε φτάνουν μέχρι την επιφάνεια) λαμβάνεται ως ίσο με το μήκος του διαχυτήρα προσαυξημένο κατά το 30~40% του τερματικού ύψους ανόδου (βάθους παγίδευσης) του πλουμίου, δηλαδή ισχύει: $B = L_D + 0,3 \sim 0,4 z_{max}$. Προφανώς για πολύ μικρό βάθος παγίδευσης $z_{max} \ll L_D$ ισχύει $B \approx L_D$.

Το πάχος d_{plume} στην περίπτωση που η διάθεση γίνεται σε στρωματοποιημένο περιβάλλον και υπάρχουν θαλάσσια ρεύματα, υπολογίζεται από τη σχέση κατά Brooks (1972), Baumgartner et al. (1994), Jirka & Lee (1994):

$$d_{plume} = z_{max} \left[\frac{QS/(U_a * B z_{max})}{1 + QS/(U_a * B z_{max})} \right] \quad (2,20)$$

όπου Q η συνολική παροχή των λυμάτων, U_a η ένταση του θαλασσίου ρεύματος, L_D το μήκος του διαχυτήρα (ή/και της γραμμικής εκροής), z_{max} το ύψος παγίδευσης (ίσο με το συνολικό βάθος H στην περίπτωση που η ροή της φλέβας φτάνει στην επιφάνεια), $S = S_m \sqrt{2}$ η μέση αραίωση στο βάθος παγίδευσης (ή αν φτάνει στην επιφάνεια αντίστοιχα) και S_m η ελάχιστη αραίωση στο αντίστοιχο ύψος. Η σχέση (2,20) μπορεί να χρησιμοποιηθεί εφόσον ισχύει η ανισότητα $QS/(U_a L_D z_{max}) \leq 2$. Στην συνέχεια, μετά τη φάση της ανωστικής πορείας της εκροής, και αφού έχει επιτευχθεί η αρχική αραίωση

των λυμάτων, το δημιουργημένο πλούμιο μεταφέρεται με θαλάσσια ρεύματα. Η χρονική και χωρική μεταβλητότητα των ρευμάτων είναι ικανή να προκαλέσει την διασπορά τους, και μπορεί να ποσοτικοποιηθεί ή να εκφραστεί υπολογιστικά με συντελεστές διάχυσης κατά την κατακόρυφη και οριζόντια κατεύθυνση. Η κατακόρυφη διάχυση είναι σημαντική μόνο όταν τα αραιωμένα λύματα φτάνουν στην επιφάνεια του θαλάσσιου στρώματος και η θάλασσα δεν είναι στρωματοποιημένη. Εκεί ο άνεμος προκαλεί έντονες κατακόρυφες μεταβολές στο πεδίο των ταχυτήτων.

Ο συντελεστής κατακόρυφης διάχυσης K_v υπολογίζεται προσεγγιστικά από τη σχέση:

$$K_v = 0,1u^*H \quad (2,21)$$

όπου $u^* = (\tau/\rho)^{1/2}$ είναι η ταχύτητα τριβής στο όριο και $\tau/\rho \approx 10^{-6}U^2$ είναι η ανηγμένη διατμητική τάση στη θαλάσσια επιφάνεια, που προκαλείται λόγω ανέμου με ταχύτητα U . Η συνήθης τιμή για το συντελεστή κατακόρυφης διάχυσης είναι $K_v = 100 \text{ cm}^2/\text{sec}$. Ο χρόνος που απαιτείται για την κατακόρυφη διάχυση των λυμάτων σε βάθος H δίνεται από τον τύπο : $t_v = H^2/(8K_v)$. Για τον υπολογισμό της κατακόρυφης διάχυσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη ορίων δηλαδή σε ποια θέση βρίσκεται ο πυθμένας και το πυκνοκλινές, ώστε οι παραπάνω προσεγγιστικές σχέσεις να μην οδηγούν σε παράλογα αποτελέσματα. Σε περίπτωση που εμφανίζεται έντονο πυκνοκλινές τα λύματα μεταφέρονται λόγω του οριζόντιου θαλάσσιου ρεύματος, χωρίς να μπορούν να εισχωρήσουν μέσα από τη ζώνη του πυκνοκλινούς. Η αραιώση που έχει δημιουργηθεί για το μακρινό πεδίο (ή επόμενη αραιώση αφού ακολουθεί αυτή της αρχικής αραιώσης) οφείλεται στην οριζόντια μεταφορά και διασπορά που προκαλούν τα θαλάσσια ρεύματα και την ανάμιξη που προκαλείται στην εγκάρσια διεύθυνση από τον άξονα του πλουμίου. Στην περίπτωση του στρωματοποιημένου θαλάσσιου πεδίου (αποδέκτη) με την παρουσία ομοιόμορφου (ομογενούς και σταθερού σε ένταση) ρεύματος, η αραιώση στο μακρινό πεδίο S' σε απόσταση x από τη θέση εκροής μπορεί να υπολογιστεί με βάση την ανάλυση του Brooks (1960) για τον εκθετικό νόμο των 4/3 για την τυρβώδη διάχυση. Η σχέση του Brooks (Baumgartner et al., 1994·Fischer et al., 1979·Jirka & Lee, 1994) για τη αραιώση $Sc'(x)$, σε απόσταση x από τη θέση εκροής στον άξονα του πλουμίου μπορεί να αποδοθεί από τον ακόλουθο τύπο:

$$Sc'(x) = \frac{C(x)}{C_{αρχ}} = \sqrt{\text{erf}\left(\frac{\frac{3}{2}}{\left(1+\frac{8K_h t}{B^2}\right)^3 - 1}\right)} e^{\lambda t} \quad (2,22)$$

όπου $C_{αρχ}$ η συγκέντρωση στην επιφάνεια ή στο βάθος παγίδευσης, $C(x)$ η συγκέντρωση σε απόσταση x από την αρχική θέση εκροής (θέση διαχυτήρα), K_h η

αρχική τιμή του συντελεστή οριζόντιας τυρβώδους διάχυσης που αντιστοιχεί στο πλάτος (χαρακτηριστική διάσταση μήκους) της εκροής, t ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει η φλέβα σε απόσταση x ($t = x/U_a$), U_a είναι η ένταση του θαλασσιού ρεύματος, B είναι το πλάτος του πλουμίου, λ ο συντελεστής βιολογικής αποδόμησης μη συντηρητικών ρύπων (για συντηρητικούς ρύπους ο όρος $e^{\lambda t} = 1$) και $erf(\delta)$ είναι η συνάρτηση σφάλματος (error function), η οποία δίνεται για τυχαία μεταβλητή δ αναλυτικά από τη σχέση:

$$erf(\delta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(\delta - \frac{\delta^3}{3 \cdot 1!} + \frac{\delta^5}{5 \cdot 2!} - \frac{\delta^7}{7 \cdot 3!} + \frac{\delta^9}{9 \cdot 4!} - \dots \right) \quad \text{ή} \quad erf(\delta) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\delta e^{-w^2} dw \quad (2,23)$$

Ο συντελεστής της οριζόντιας τυρβώδους διάχυσης K_h μπορεί να προσεγγισθεί από τον εξής τύπο (εφόσον δεν υπάρχουν στοιχεία πεδίου για τον υπολογισμό του).

$$K_h = 0,01 B^{4/3} \quad (2,24)$$

όπου B (σε cm) είναι το πλάτος του πλουμίου αμέσως μετά την αρχική αραίωση και θεωρείται ίσο με το μήκος του διαχυτήρα για μικρό z_{max} . Η συνήθης προτεινόμενη τιμή για το συντελεστή οριζόντιας διάχυσης είναι περίπου $300 \text{ cm}^2/\text{sec}$. Το πλάτος L_x που θα έχει το πλούμιο σε απόσταση x από τη θέση της αρχικής εκροής μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$\frac{L_x}{B} = \left(1 + \frac{2\beta x}{3B} \right)^{3/2} \quad (2,25)$$

όπου $\beta = 12 K_h / (U_a B)$.

Ο επιπλέον όρος απόσβεσης $e^{\lambda t}$ στην εξίσωση (2,22) λαμβάνεται υπόψη μόνο στην περίπτωση που ο υπολογισμός αφορά τη συγκέντρωση μη συντηρητικού ρύπου, δηλαδή ρύπου που η συγκέντρωσή του μεταβάλλεται με το χρόνο λόγω βιολογικών διεργασιών (π.χ. μικρόβια, βακτηρίδια κλπ). Σε αυτήν την περίπτωση ο συντελεστής βιολογικής αποδόμησης λ υπολογίζεται με βάση την τιμή του όρου T_{90} , ο οποίος εκφράζει το χρόνο που απαιτείται για την καταστροφή (βιολογικό θάνατο) του 90% της μάζας μη συντηρητικού ρύπου ως εξής:

$$\lambda = \frac{\ln 10}{T_{90}} \approx \frac{2,3}{T_{90}} \quad (2,26)$$

Ο χαρακτηριστικός χρόνος T_{90} εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος (είναι μικρότερος σε θερμές περιοχές από ότι στις ψυχρές) και την ηλιοφάνεια (μικρότερος την ημέρα από ότι τη νύχτα). Οι συνήθεις προτεινόμενες τιμές για τον χαρακτηριστικό χρόνο T_{90} είναι: $T_{90} = 1,5 \sim 2,5 \text{ hrs}$ για κολοβακτηρίδια (FC, Fecal Coliforms) και $T_{90} = 2,5 \sim 3,5 \text{ hrs}$ για στρεπτόκοκκους (Wood et al., 1993). Επισημαίνεται ότι ο υπολογισμός της αραίωσης λόγω μεταφερόμενης διασποράς είναι πολύ προσεγγιστικός, διότι λαμβάνει μόνον έμμεσα και κατά γενικό τρόπο (με το

συντελεστή οριζόντιας διάχυσης) υπόψη τη χρονική και χωρική μεταβλητότητα των θαλάσσιων ρευμάτων. Επίσης, είναι συντηρητικός, διότι θεωρεί ότι το θαλάσσιο ρεύμα σταθερής ταχύτητας U_a διαρκεί τουλάχιστον τόσο χρόνο, όσος απαιτείται για να μεταφερθούν τα λύματα από το σημείο διάθεσης στο ευαίσθητο σημείο του αποδέκτη. Στην πραγματικότητα, τα θαλάσσια ρεύματα μεταβάλλονται χρονικά και χωρικά, με αποτέλεσμα ο αποδέκτης να είναι διάσπαρτος από «νέφη» λυμάτων διαφόρων συγκεντρώσεων, που όμως σπάνια υπερβαίνουν τη συγκέντρωση που αντιστοιχεί στην αραίωση που υπολογίζεται από τη σχέση (2,22).

2.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

2.3.1 Βασικές αρχές σχεδιασμού

Η σωστή υδραυλική λειτουργία ενός υποθαλάσσιου αγωγού, αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι για την σωστή διεκπεραίωση έργων διάθεσης υγρών αποβλήτων στο θαλάσσιο περιβάλλον. Έτσι είναι απαραίτητο να τηρούνται οι ακόλουθες βασικές αρχές, που έχουν εφαρμοστεί με την πάροδο του χρόνου, για την περίοδο του σχεδιασμού και της λειτουργίας τους. Βασική προϋπόθεση κατά τον σχεδιασμό είναι να επιλέγονται τα κατάλληλα εργαλεία για την σωστή λειτουργία του αγωγού χωρίς να υπάρχουν μεγάλες και σημαντικές φθορές. Τα υδραυλικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται όπως για παράδειγμα βαλβίδες εξαέρωσης, βαλβίδες διακοπής και ούτω καθεξής, όταν βρίσκονται μακριά από τον αγωγό και το φρεάτιο φόρτισης, δυσκολεύουν τον έλεγχο τους και μειώνεται η αντοχή τους λόγω του θαλασσινού νερού που προκαλεί διαβρώσεις. Επίσης, για να αποφεύγονται τα τοπικά υψηλά και χαμηλά σημεία κατά μήκος του αγωγού, όπου μπορεί να συσσωρευτεί αέρας και φερτές ύλες κατά την διαδικασία, πρέπει να σχηματίζεται μια συνεχόμενη κλίση στον αγωγό προς την θάλασσα. Επομένως, ο αγωγός πρέπει να βρίσκεται κάτω από την ελάχιστη στάθμη της θάλασσας σε όλο το μήκος του. Ακόμα, χρειάζεται να υπάρχει μια ελάχιστη και μια μέγιστη ταχύτητα ροής στον αγωγό ώστε η τιμή της ελάχιστης ταχύτητας ροής να είναι μεγαλύτερη από $\sim 0,5\text{m/sec}$ για να εξασφαλίζει την αποφυγή των επικαθήσεων των φερτών υλικών αλλά και μικρότερη από $\sim 2\text{m/sec}$, ώστε να μην αυξάνονται οι τριβές στα τοιχώματα και οι τοπικές απώλειες στο υδραυλικό φορτίο. Άλλη μια βασική προϋπόθεση αποτελεί και η συνεχόμενη λειτουργία του αγωγού που βοηθά στην αποφυγή εισόδου του θαλάσσιου νερού στον αγωγό. Είναι σχετικά δύσκολο όμως να ικανοποιηθεί, ιδιαίτερα σε περιοχές με μικρά αποχετευτικά συστήματα, καθώς είναι

μεγάλη η διακύμανση της παροχής των ακαθάρτων νερών μέσα σε μια ολόκληρη μέρα ή και από εποχή σε εποχή. Επίσης, είναι πολύ σημαντική η ελάχιστη διάμετρος των ανυψωτήρων και των στομιών εκροής για την σωστή και καλή υδραυλική λειτουργία του αγωγού, διότι αν δεν έχει μια ικανοποιητική τιμή (μεγαλύτερη ή ίση με 0,1m) υπάρχει κίνδυνος έμφραξης του αγωγού από φυτικούς και ζωικούς θαλάσσιους οργανισμούς. Αυτό ακόμα προσφέρει και ευκολία ως προς τον καθαρισμό τους. Τέλος, για τον σχεδιασμό του αγωγού θα ήταν καλύτερο να δημιουργούνται ομοιόμορφες παροχές εκροής από τα στόμια των ανυψωτήρων ώστε αυτή η συνθήκη να εξασφαλίζει κατά έναν τρόπο ότι οι υπολογισμοί των παροχών εκροής από τα στόμια των ανυψωτήρων θα γίνονται με την παραδοχή ομοιόμορφης γραμμικής (αξονοσυμμετρικής) ροής.

2.3.2 Υδραυλικός υπολογισμός του διαχυτήρα

Ο υδραυλικός υπολογισμός του υποβρυχίου αγωγού, του διαχυτήρα και των θυρίδων εκροής ξεκινά από τα κατάντη και προχωρά προς τα ανάντη. Η τιμή της παροχής για κάθε οπή υπολογίζεται ξεχωριστά, υποθέτοντας, ότι η ροή μιας οπής δεν επηρεάζει τη ροή στις γειτονικές οπές και αντίστροφα. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί εφόσον η απόσταση μεταξύ των οπών είναι μεγαλύτερη από $10d_r$, όπου d_r η διάμετρος της κάθε οπής. Συνήθως, η τιμή της απόστασης μεταξύ των ανυψωτήρων να λαμβάνεται περίπου ίση με το $\frac{1}{4}$ του βάθους στη θέση του διαχυτήρα, ανάλογα και με τα τεμάχια διαφορετικών διαμέτρων του σωλήνα που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του διαχυτήρα. Με την αρχή του Bernoulli μπορεί να εκφραστεί η εξίσωση διατήρησης της ενέργειας σε έναν κλειστό αγωγό (με ροή υπό πίεση) μεταξύ δύο διαδοχικών ανυψωτήρων n και $n+1$ του διαχυτήρα (μετρώντας από το κατάντη άκρο του διαχυτήρα προς το ανάντη). Καταλήγουμε λοιπόν, στην εξίσωση του Bernoulli, η οποία γράφεται ως εξής:

$$E_{n+1} = E_n + \Delta H_f + \frac{\Delta \rho}{\rho_o} \Delta z \quad (2,27)$$

όπου ΔH_f είναι οι γραμμικές απώλειες ενέργειας στο διαχυτήρα μεταξύ των σημείων n και $n+1$ και υπολογίζονται κατά Prandtl-Colebrook ως $\Delta H_f = f_s V_n^2 / (2gD_n)$ όπου E_n είναι το ολικό ύψος ενέργειας στη θέση n του διαχυτήρα, $\Delta \rho$ είναι η διαφορά πυκνότητας θαλάσσιου νερού και λυμάτων, ρ_o είναι η πυκνότητα των λυμάτων, Δz η υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο διαδοχικών σημείων του διαχυτήρα, $s = H/4$ η μεταξύ τους απόσταση, f_D ο συντελεστής τριβών Darcy, D_n η διάμετρος του διαχυτήρα αμέσως ανάντη από το n ανυψωτήρα και V_n η ταχύτητα ροής σε αυτό το τμήμα του

διαχυτήρα. Για τον υπολογισμό του συντελεστή τριβών κατά Darcy χρησιμοποιούνται οι σχέσεις:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{k_s}{3,7065} - \frac{5,042}{R_e} \log A \right] \quad (2,28 \alpha) \quad \text{με} \quad A = \frac{k_s^{1,1098}}{2,8257} + \left(\frac{7,149}{R_e} \right)^{0,8981} \quad (2,28 \beta)$$

όπου k_s η απόλυτη τραχύτητα του διαχυτήρα εξαρτώμενη που εξαρτάται από το υλικό του αγωγού. Για πλήρως ανεπτυγμένη τυρβώδη ροή στον υπολογισμό του συντελεστή τριβών Darcy παραλείπεται ο όρος που εμπεριέχει τον αριθμό Reynolds R_e . Ο συντελεστής τριβών του Darcy f_D συνδέεται με το συντελεστή του Manning f_N , με τη σχέση:

$$f_D = \frac{8 g f_N^2}{R^{1/3}} = \frac{124,58 f_N^2}{d_o^{1/3}} \quad (2,29)$$

όπου R η υδραυλική ακτίνα του αγωγού/διαχυτήρα με τιμή $R = d_o/4$ (d_o η διάμετρος του αγωγού/διαχυτήρα).

Η παροχή εκροής q_n από τον ανυψωτήρα στη θέση n υπολογίζεται από τη σχέση (Wood et al., 1993):

$$q_n = C_D \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gE_n} \quad (2,30)$$

όπου ο συντελεστής παροχής της εκροής C_D υπολογίζεται για την περίπτωση ομαλά προσαρμοσμένου ανυψωτήρα με κωδωνοειδές επίθεμα εισόδου από τη σχέση του McNown (1954) (δίνεται και από Wood et al., 1993):

$$C_D = 0,975 \left(1 - \frac{V_n^2}{2gE_n} \right)^{3/8} \quad (2,31)$$

ενώ για την περίπτωση του απότομα προσαρμοσμένου ανυψωτήρα με φλαντζωτό επίθεμα εισόδου από τη σχέση των Fischer et al. (1979) (δίνεται και από Wood et al., 1993):

$$C_D = 0,63 - 0,58 \left(\frac{V_n^2}{2gE_n} \right) \quad (2,32)$$

Για την περίπτωση ανυψωτήρα σε σχήμα Γ , δηλαδή με οριζόντια τυρβώδη εκροή (με μεγάλο αριθμό R_e) η τιμή του συντελεστή είναι (Wood et al., 1993):

$$C_D = 0,88 \left(1 - \frac{0,5V_n^2}{2gE_n} \right) \quad (2,33)$$

Το παραπάνω ισχύει για συγκεκριμένους διαχυτήρες με σταθερές διαμέτρους ανυψωτήρων, όμως στην περίπτωση διαχυτήρα με μεταβαλλόμενη διάμετρο του στομίου εκροής d_r και λαμβάνοντας υπόψη ένα συντελεστή συστολής/σμίκρυνσης της τάξης του 0,95 προς τα κατάντη, η τιμή του συντελεστή είναι (Wood et al., 1993):

$$C_D = \left(1 - \frac{0,5V_n^2}{2gE_n} \right) / \sqrt{\left(1,13 + 0,65 \left(\frac{d_o}{d_r} \right)^4 \right)} \quad (2,34)$$

Επιδίωξη της διαστασιολόγησης είναι το απαιτούμενο πιεζομετρικό ύψος $E_{\phi\phi}$ στο φρεάτιο φόρτισης να μην υπερβαίνει το υψόμετρο του εδάφους πριν την ακτή (για την αποφυγή αντλιοστασίου).

Ταυτόχρονα πρέπει να τηρούνται και τα τρία παρακάτω κριτήρια. Ο πυκνομετρικός αριθμός Froude κάθε στομίου ανυψωτήρα πρέπει να είναι μεγαλύτερος της μονάδας $F_o > 1$. Αν προβλέπεται διακοπτόμενη λειτουργία του φρεατίου φόρτισης, υπάρχει η ανάγκη για απομάκρυνση του θαλάσσιου νερού που μπορεί να έχει εισέλθει στο εσωτερικό του διαχυτήρα κατά την παύση λειτουργίας του φρεατίου φόρτισης του αγωγού μεταφοράς. Συνεπώς, για την επίτευξη της απόπλυσης του αγωγού από το θαλασσινό νερό και τα φερτά υλικά (αιωρούμενα και μη συνεκτικές επικαθήσεις), θα πρέπει να εξασφαλίζεται το απαραίτητο πιεζομετρικό φορτίο, ώστε ο πυκνομετρικός αριθμός Froude στον πλέον απομακρυσμένο από τη χερσαία εγκατάσταση ανυψωτήρα να καλύπτει οριακά την απαίτηση της ανισότητας/σχέσης (Wilkinson, 1984):

$$F_o \geq \sqrt{\frac{2h_r}{d_r} \left(1 + \frac{f_D h_r}{d_r} + \left(\frac{d_r}{d_o} \right)^4 (2\alpha_m + k - 1) \right)^{-1}} \quad (2,35)$$

όπου d_r είναι η διάμετρος του ανυψωτήρα, d_o είναι η διάμετρος του διαχυτήρα αμέσως ανάντη του υπό εξέταση ανυψωτήρα, d_r το ύψος του ανυψωτήρα πάνω από το διαχυτήρα, f_D ο συντελεστής τριβών Darcy για τη ροή στον ανυψωτήρα, α_m ο συντελεστής ορμής και k ο συντελεστής τοπικών απωλειών (local head loss coefficient). Για το συντελεστή ορμής προτείνεται (Wilkinson, 1984) η τιμή $\alpha_m = 1,18 \pm 0,06$ και για το συντελεστή τοπικών απωλειών $k = 2,69 \pm 0,16$. Για το συντελεστή γραμμικών απωλειών f_D προτείνονται δύο όρια τιμών εξαρτώμενα από το λόγο του ύψους του ανυψωτήρα προς τη διάμετρό του (Wilkinson, 1984): για $h_r/d_r = 0,64$ είναι $f_D = 0,051 \pm 0,005$ και για $h_r/d_r = 27,7$ είναι $f_D = 0,037 \pm 0,005$. Η ταχύτητα στο διαχυτήρα να είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη ταχύτητα V_L , ώστε να μην παρατηρείται απόθεση του αιωρούμενου υλικού που μεταφέρεται με τα λύματα. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς του Ackers (1991), η ελάχιστη ταχύτητα ροής των λυμάτων στο διαχυτήρα για απομάκρυνση λυμάτων μέσω έκπλυσης υπολογίζεται από τις παρακάτω σχέσεις (δίνονται και από Wood et al., 1993):

$$V_L = 0,465d_o^{0,078} + 193d_o^{0,593}C_v^{0,515} \quad \text{για} \quad d_{50} = 1,0mm \quad (2,36 \alpha)$$

$$V_L = 0,381d_o^{0,061} + 68,9d_o^{0,511}C_v^{0,450} \quad \text{για} \quad d_{50} = 0,5mm \quad (2,36 \beta)$$

$$V_L = 0,327d_o^{0,050} + 29,1d_o^{0,442}C_v^{0,390} \quad \text{για} \quad d_{50} = 0,3mm \quad (2,36 \gamma)$$

$$V_L = 0,293d_o^{0,039} + 13,9d_o^{0,368}C_v^{0,329} \quad \text{για} \quad d_{50} = 0,2mm \quad (2,36 \delta)$$

$$V_L = 0,240d_o^{0,022} + 4,00d_o^{0,249}C_v^{0,227} \quad \text{για} \quad d_{50} = 0,1mm \quad (2,36 \epsilon)$$

όπου C_v είναι η συγκέντρωση των στερεών (ισούται με το λόγο όγκου στερεών V_s προς όγκο υγρού V_l , $C_v = V_s/V_l$), d_{50} είναι η ονομαστική (διάμεση) διάμετρος των φερτών υλών και d_o η διάμετρος του αγωγού ή του αντίστοιχου τμήματος του διαχυτήρα.

Ο λόγος της συνολικής διατομής των στομιών των ανυψωτήρων κατάντη μίας διατομής αγωγού προς τη διατομή του αγωγού να είναι μεταξύ 0,5 και 0,7, σύμφωνα με τη διερεύνηση του Grace (1978) (δίνεται και από Wood et al., 1993), ώστε να υπάρχει σχετικά ομοιόμορφη εκροή από τους ανυψωτήρες.

2.3.3 Φρεάτιο φόρτισης

Εφαρμόζοντας ξανά την εξίσωση του Bernoulli για ολόκληρο τον αγωγό μεταφοράς και σύμφωνα με τους προηγούμενους υδραυλικούς υπολογισμούς, το απαιτούμενο πιεζομετρικό φορτίο H_Φ στο φρεάτιο φόρτισης, για την καλή λειτουργία ολόκληρου του συστήματος αγωγού και διαχυτήρα με βάση την παροχή σχεδιασμού Q είναι:

$$H_\Phi = E_T + \Delta H + \frac{\Delta\rho}{\rho_o} z_T \quad (2,37)$$

όπου E_T είναι η ενέργεια (πιεζομετρικό φορτίο) στη θέση του τελευταίου (ανάντη) ανυψωτήρα, z_T είναι το βάθος στην έξοδο του τελευταίου ανυψωτήρα στην ανάντη κεφαλή του διαχυτήρα (μετρημένο όμως από τη στάθμη της μέγιστης πλήμμης) και ΔH είναι οι γραμμικές και τοπικές απώλειες στον αγωγό από τον τελευταίο (ανάντη) ανυψωτήρα μέχρι το φρεάτιο φόρτισης, οι οποίες δίνονται κατά Prandtl- Colebrook από τον ακόλουθο τύπο:

$$\Delta H = 1,1 \left(f_D \frac{L}{d_o} \frac{V_D^2}{2g} \right) = 1,1 \left(f_N^2 V_D^2 \frac{L}{R^{4/3}} \right) \quad (2,38)$$

όπου $f_D = 8g f_N^2 / R^{1/3}$ η σχέση που συνδέει τους συντελεστές τριβής κατά Darcy και Manning. Ο συντελεστής 1,1 αντιστοιχεί σε προσαύξηση 10% των γραμμικών απωλειών για κάλυψη και των τοπικών απωλειών.

Οι μεγάλες διακυμάνσεις του πιεζομετρικού φορτίου, κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, αλλά και στις διάφορες εποχές του έτους, επιβάλλουν τη διακοπτόμενη λειτουργία του αγωγού, που συνεπάγεται την εισροή νερού από τον αποδεκτή στον αγωγό. Μείωση της ποσότητας του θαλάσσιου νερού που θα εισέλθει στο κύριο σώμα του αγωγού μεταφοράς μετά από διακοπή της παροχής μπορεί πραγματοποιηθεί με τη χρήση ηλεκτροκίνητου περιστρεφόμενου θυροφράγματος στην κεφαλή του αγωγού στο φρεάτιο φόρτισης, που η λειτουργία του είναι επίσης διακοπτόμενη. Όταν η στάθμη του φρεατίου κατέβει χαμηλότερα από ένα προκαθορισμένο σημείο, το θυροφράγμα θα

πρέπει να κλείνει αεροστεγώς. Το θυρόφραγμα θα ανοίγει πάλι όταν η στάθμη στο φρεάτιο ανέβει στο μέγιστο σημείο, οπότε το αυξημένο υδραυλικό φορτίο θα δίνει τη δυνατότητα αυτοκαθαρισμού του αγωγού, δηλαδή εξαγωγής/έκπλυσης του θαλασσινού. Για να λειτουργήσει ο προτεινόμενος μηχανισμός με σωστό τρόπο, πρέπει να πληρούνται οι δύο παρακάτω προϋποθέσεις. Πρέπει να υπάρχει ικανή χωρητικότητα του φρεατίου φόρτισης, ώστε η ηλεκτροκίνητη βάνα να έχει τη δυνατότητα αεροστεγούς κλεισίματος σε χρόνο 45~60 sec (ή και μεγαλύτερο για πολύ μεγάλους αγωγούς). Αυτό απαιτείται για την αποφυγή εκδήλωσης υδραυλικού πλήγματος που μπορεί να καταστρέψει τον αγωγό. Σε περίπτωση που η βάνα κλείσει απότομα (στιγμαίο κλείσιμο), η πρόσθετη πίεση που θα δημιουργηθεί θα είναι $\Delta H_w = c\Delta V/g$, όπου ΔV είναι η μεταβολή της ταχύτητας του νερού στη βάνα τη στιγμή του κλεισίματος. Ο χρόνος που απαιτείται, ώστε μία διαταραχή που δημιουργείται στην κεφαλή του αγωγού να φθάσει στο τέλος του και να επιστρέψει στο σημείο εκκίνησης, είναι $T_w = 2L/c$, όπου L είναι το συνολικό μήκος του αγωγού και διαχυτήρα, c η ταχύτητα διάδοσης των πιεστικών κυμάτων στον αγωγό, που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$c = \left[\rho_w \left(\frac{1}{\kappa} + \frac{d_o}{Es} \right) \right]^{-1/2} \quad (2,39)$$

όπου ρ_w είναι η πυκνότητα των λυμάτων μέσα στον αγωγό, $E = 9000 \text{ kp/cm}^2$ και $\kappa = 2 \cdot 108 \text{ kp/cm}^2$ είναι τα μέτρα ελαστικότητας του νερού και του χάλυβα, d_o η εσωτερική διάμετρος του αγωγού και s (mm) το πάχος των τοιχωμάτων του αγωγού.

Για την καλύτερη λειτουργία της βάνας πρέπει να υπάρχει αρκετή χωρητικότητα στο φρεάτιο φόρτισης ώστε να μην υπάρχει γρήγορη φθορά σε αυτή καθώς και να μην υπάρχουν πολλές πιθανότητες μη αεροστεγούς κλεισίματος λόγω εγκλωβισμού στερεών. Έτσι η σωστή χωρητικότητα του φρεατίου πρέπει να έχει και ένα όριο διότι τα λύματα δεν επιτρέπεται να παραμένουν στάσιμα εντός του φρεατίου πάνω από 10 min, για την καλύτερη αποφυγή αναερόβιων συνθηκών και συνακόλουθης δημιουργίας δυσάρεστων οσμών. Ο υπολογισμός του χρόνου που απαιτείται για να κατέλθει η στάθμη h από τη μέγιστη στάθμη h_{max} στην ελάχιστη στάθμη h_{min} με παροχή Q (h) μέσα σε φρεάτιο διατομής A_ϕ γίνεται με τη χρήση της ακόλουθης σχέσης:

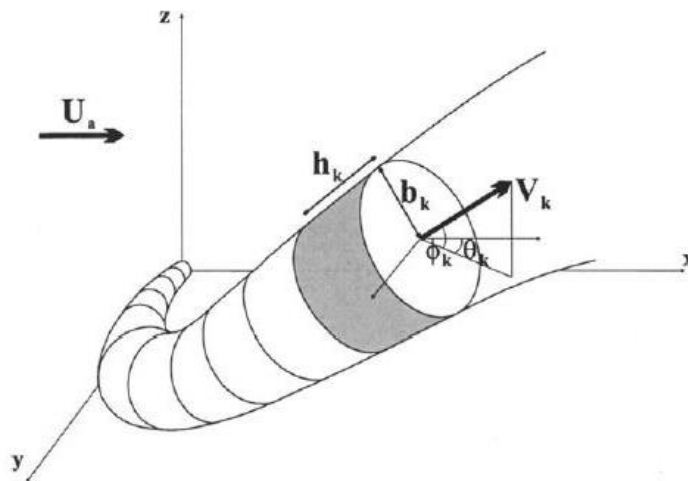
$$t = - \int_{h_{max}}^{h_{min}} \frac{A_\phi}{Q(h)} dh \quad (2,40)$$

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ JETLAG

Σε ρηγά παράκτια ύδατα, οι εκροές σχεδιάζονται κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε τα πλούμια των λυμάτων να μην αλληλεπιδρούν προτού φθάσουν στην ελεύθερη επιφάνεια ή στο τελικό ύψος ανόδου. Η απόσταση μεταξύ των ακροφυσίων του διαχύτη δύναται να είναι συγκρίσιμη ή ακόμη και μεγαλύτερη από το βάθος του περιβάλλοντος υδάτινου αποδέκτη (π.χ. διαχύτης του Hastings και ο προτεινόμενος διαχύτης της Σαγκάης). Επιπρόσθετα, προσανατολίζοντας την εκροή της φλέβας οριζόντια σε ένα κάθετο προς την ακτογραμμή ρεύμα (και συνεπώς αυξάνοντας τη διαδρομή για δεδομένη κατακόρυφη ανύψωση της φλέβας), μπορεί να επιτευχθεί βέλτιστη ανάμιξη των εκροών. Δεδομένου ότι η κατεύθυνση της ορμής της φλέβας δεν είναι η ίδια με εκείνη της άνωσης, η τροχιά μιας τέτοιας κυκλικής ανωστικής φλέβας είναι, γενικά, τρισδιάστατη. Μια ανάλυση των δεδομένων πεδίου της αρχικής αραίωσης σε ένα μη στρωματοποιημένο ρεύμα από διαχύτες αναφέρονται στην εργασία των Lee & Neville-Jones (1987a). Η αρχική ανάμιξη μιας μεμονωμένης κυκλικής ανωστικής φλέβας σε στάσιμο υδάτινο περιβάλλον μπορεί να υπολογισθεί χρησιμοποιώντας ένα από τα πολλά και ευρέως χρησιμοποιούμενα μαθηματικά μοντέλα (π.χ., Fischer et al. 1979, Cederwall 1968). Στην περίπτωση της ύπαρξης ρεύματος για σημαντικό χρονικό διάστημα, είναι αναγκαίο να ληφθεί υπόψη η επίδραση του ρεύματος στο σχεδιασμό του διαχύτη και στην εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ωστόσο, το πεδίο ροής που σχηματίζεται από μια ανωστική φλέβα σε κινούμενο περιβάλλον είναι ένα πολύ περίπλοκο πρόβλημα. Τις τελευταίες δεκαετίες, πολλά μαθηματικά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί (Muellenhoff et al. 1985) για την επίλυση αυτού του προβλήματος. Τα περισσότερα αυτά, ωστόσο, δεν έχουν επαληθευτεί επαρκώς από εργαστηριακά αποτελέσματα τροχιών και συγκεντρώσεων. Υπάρχουν λίγα μοντέλα που δύναται να προσομοιώσουν κεκλιμένες ανωστικές φλέβες με τρισδιάστατη τροχιά. (Lee, J. H. and Chu, V. H. 2003)

3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ JETLAG

Το μοντέλο JETLAG (Lee and Cheung, 1990) αποτελεί γενίκευση του προϋπάρχοντος μοντέλου εκτίμησης της δισδιάστατης τροχιάς κυκλικών ανωστικών φλεβών (Frick, 1984) και αναπτύχθηκε κατόπιν πολλών εργαστηριακών δεδομένων. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι βασικές παραδοχές του μοντέλου, και περιγράφεται η δομή του.



Σχήμα 3.1 Γενική μορφή μοντέλου ανωστικής φλέβας κατά Lagrange με τρισδιάστατη τροχιά (διάγραμμα τροχιάς φλέβας με τα στοιχεία του πλουμίου κατά Lagrange) (Πηγή : Chu, V. H. and Lee, J. H. W. (1996))

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται μια κυκλική ανωστική φλέβα η οποία εκρέει εντός κινούμενου περιβάλλοντος ρευστού με ομοιόμορφη ταχύτητα U_a . Η ταχύτητα του περιβάλλοντος ρευστού θεωρείται ότι βρίσκεται στη διεύθυνση του άξονα x. Η αρχική γωνία εκτόξευσης είναι (φ_o, θ_o) , όπου φ_o είναι η κατακόρυφη γωνία εκτόξευσης της φλέβας ως προς το οριζόντιο επίπεδο x - y και θ_o είναι η οριζόντια γωνία εκτόξευσης της φλέβας ως προς τον άξονα x. Ο βασικός στόχος του μαθηματικού μοντέλου είναι η πρόβλεψη της τροχιάς του πλουμίου, η χαρακτηριστική αραίωση και η ταχύτητα σε οποιαδήποτε εγκάρσια διατομή.

3.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ JETLAG ΚΑΤΑ LAGRANGE

Η άγνωστη τροχιά των πλουμίων προσεγγίζεται ως μια διαδοχική σειρά στοιχείων του πλουμίου (Σχήμα 3.1). Κάθε στοιχείο του πλουμίου, δύναται να θεωρηθεί ως μια διατομή τμήματος ενός κώνου και χαρακτηρίζεται από τη θέση του, τη μέση ταχύτητά του, τη συγκέντρωση ιχνηθέτη, τη θερμοκρασία και την αλατότητα, το πλάτος και το πάχος. Εξετάζονται οι αλλαγές στις ιδιότητες ενός στοιχείου σε διακριτά χρονικά διαστήματα Δt . Η τυρβώδης συμπαράσυρση περιβάλλοντος ρευστού εντός του στοιχείου της φλέβας (entrainment) υπολογίζεται σε κάθε βήμα. Βάσει της αύξησης της μάζας του στοιχείου οι εξισώσεις ορμής, ενέργειας και διατήρησης μάζας του ιχνηθέτη επιλύονται στην ολοκληρωμένη τους μορφή ώστε να υπολογισθεί η ταχύτητα, η

πυκνότητα και η συγκέντρωση στο επόμενο βήμα. Οι κινηματικές και γεωμετρικές σχέσεις στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν την τροχιά και τις σχετικές διαστάσεις. Η εξέλιξη ενός στοιχείου του πλουμίου ισοδυναμεί με μια λύση των χαρακτηριστικών κατά μήκος της άγνωστης τροχιάς της φλέβας στην τρισδιάστατη μόνιμη ροή. Ορίζοντας το πάχος ενός στοιχείου του πλουμίου ανάλογο της τοπικής ταχύτητας της φλέβας, η μέθοδος κατά Lagrange είναι παρόμοια με μια χρονική ολοκλήρωση κατά μήκος της τροχιάς της.

3.3.1 Ανάπτυξη μοντέλου

Στο βήμα k θεωρείται ένα στοιχείο του πλουμίου (Σχήμα 3.1) σε μία θέση με συντεταγμένες (x_k, y_k, z_k) με ταχύτητα (u_k, v_k, w_k) όπου u, v είναι οι συνιστώσες της ταχύτητας στο οριζόντιο επίπεδο και w είναι η κατακόρυφη ταχύτητα.

Το μέγεθος της ταχύτητας δίνεται από τη σχέση (Σχήμα 3.1):

$$V_k = \sqrt{u_k^2 + v_k^2 + w_k^2} \quad (3,1)$$

Σημειώνεται ότι η ταχύτητα V στα προηγούμενα κεφάλαια σημειώνεται ως w .

Η θερμοκρασία, η αλατότητα και η πυκνότητα δηλώνονται με T_k, S_k, ρ_k αντίστοιχα. Ο άξονας της φλέβας σχηματίζει γωνία φ_k με το οριζόντιο επίπεδο, και η γωνία είναι θ_k ορίζεται μεταξύ του άξονα x και της προβολής του άξονα της φλέβας στο οριζόντιο επίπεδο. Η ακτίνα του στοιχείου του πλουμίου ορίζεται ως b_k .

Το πάχος h_k του στοιχείου είναι ανάλογο του μεγέθους της τοπικής ταχύτητας V_k της φλέβας. Η μάζα του στοιχείου του πλουμίου είναι :

$$M_k = \rho_k \pi b_k^2 h_k \quad (3,2)$$

Δεδομένης της αύξησης της μάζας του στοιχείου που οφείλεται στην τυρβώδη συμπαράσυρση περιβάλλοντος ρευστού, ΔM_k , τα χαρακτηριστικά του στοιχείου του πλουμίου στο επόμενο βήμα προκύπτουν εφαρμόζοντας τις εξισώσεις διατήρησης της μάζας (συνεχείας), της ορμής κατά την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση, της ενέργειας και της μάζας του ιχνηθέτη επί του διακριτού στοιχείου του της ανωστικής φλέβας.

3.3.2 Εξισώσεις προσδιορισμού μεγεθών

- Μάζα:

$$M_{k+1} = M_k + \Delta M_k \quad (3,3)$$

$$M_{k+1} = \rho_{k+1} \pi b_{k+1}^2 h_{k+1} \quad (3,4)$$

- Συγκέντρωση και πυκνότητα:

$$S_{k+1} = \frac{M_k S_k + \Delta M_k S_a}{M_{k+1}} \quad (3,5)$$

$$T_{k+1} = \frac{M_k T_k + \Delta M_k T_a}{M_{k+1}} \quad (3,6)$$

$$\rho_{k+1} = \rho(S_{k+1}, T_{k+1}) \quad (3,7)$$

$$c_{k+1} = \frac{M_k c_k + \Delta M_k c_a}{M_{k+1}} \quad (3,8)$$

- Οριζόντια ορμή:

$$u_{k+1} = \frac{M_k u_k + (\Delta M_k) U_a}{M_{k+1}} \quad (3,9)$$

$$v_{k+1} = \frac{M_k v_k}{M_{k+1}} \quad (3,10)$$

- Κατακόρυφη ορμή:

$$w_{k+1} = \frac{M_k w_k + M_{k+1} \left(\frac{\Delta \rho}{\rho}\right)_{k+1} g \Delta t}{M_{k+1}} \quad (3,11)$$

$$(HVEL)_{k+1} = (u_{k+1}^2 + v_{k+1}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3,12)$$

$$V_{k+1} = (u_{k+1}^2 + v_{k+1}^2 + w_{k+1}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3,13)$$

- Πάχος / ακτίνα:

$$h_{k+1} = \frac{V_{k+1}}{V_k} h_k \quad (3,14)$$

$$b_{k+1} = \left(\frac{M_{k+1}}{\rho_{k+1} \pi h_{k+1}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3,15)$$

- Προσανατολισμός φλέβας :

$$\sin \varphi_{k+1} = \left(\frac{w}{V} \right)_{k+1} \quad (3,16)$$

$$\cos \varphi_{k+1} = \left(\frac{HVEL}{V} \right)_{k+1} \quad (3,17)$$

$$\sin \theta_{k+1} = \left(\frac{v}{HVEL} \right)_{k+1} \quad (3,18)$$

$$\cos \theta_{k+1} = \left(\frac{u}{HVEL} \right)_{k+1} \quad (3,19)$$

- Τοποθεσία :

$$x_{k+1} = x_k + u_{k+1} \Delta t \quad (3,20)$$

$$y_{k+1} = y_k + v_{k+1} \Delta t \quad (3,21)$$

$$z_{k+1} = z_k + w_{k+1} \Delta t \quad (3,22)$$

$$\Delta S_{k+1} = V_{k+1} \Delta t \quad (3,23)$$

- Αρχικές Συνθήκες:

$$(u, v, w)_o = (W_o \cos \varphi_o \cos \theta_o, W_o \cos \varphi_o \sin \theta_o, W_o \sin \varphi_o) \quad (3,24)$$

$$(b, h)_o = (0,5d_o, 0,5d_o) \quad (3,25)$$

$$(S, T, \rho, c)_o = (S_o, T_o, \rho_o, c_o) \quad (3,26)$$

$$\Delta t_o = 0,1 \frac{h_o}{v_o} \quad (3,27)$$

Σε αυτές τις εξισώσεις, η δύναμη αντίστασης αγνοείται και η ροή του περιβάλλοντος θεωρείται ότι έχει ταχύτητα u_{at} . Η αρχική θέση του στοιχείου του πλουμίου βρίσκεται στο σημείο εκροής. Από τη φύση του μοντέλου, δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ της ζώνης εγκατάστασης της ροής (δυναμικός πυρήνας) (Zone of Flow Establishment, ZFE) και της ζώνης εγκατεστημένης ροής (Zone of Established Flow, ZEF) της ανωστικής φλέβας και μόνο τα μέσα χαρακτηριστικά της ροής στην εγκάρσια διατομή της φλέβας υπεισέρχονται.

Για να επιτυγχάνεται ο ίδιος όγκος, η ορμή και η παροχή αποδεικνύεται ότι η ταχύτητα, το πλάτος της φλέβας, η συγκέντρωση που προβλέπεται από αυτό το μοντέλο θα πρέπει να συνδέονται με τις αντίστοιχες ενός μοντέλου τύπου Gauss, δηλαδή να ισχύουν οι τύποι:

$$b = \sqrt{2} b_g \quad (3,28)$$

$$u = \frac{u_g}{2} \quad (3,29)$$

$$c = c_g \frac{\lambda^2}{1+\lambda^2} \quad (3,30)$$

$$\Delta \rho = \rho_\alpha - \rho = \Delta \rho_g \frac{\lambda^2}{1+\lambda^2} \quad (3,31)$$

όπου λ είναι το πηλίκο του ονομαστικού πλάτους συγκεντρώσεων b_c προς το αντίστοιχο των ταχυτήτων b_w , $\lambda = b_c/b_w$ και ο δείκτης g δηλώνει αντίστοιχες ποσότητες για το μοντέλο Gauss.

3.3.3 Διατμητική και στροβιλώδης συμπαράσυρση παραμόρφωση

Το σημαντικό μέρος του μοντέλου είναι ο υπολογισμός της τυρβώδους συμπαράσυρσης για τη γενική κατάσταση ενός τυχαίως κεκλιμένου στοιχείου του πλουμίου σε μια εγκάρσια ροή. Η αύξηση της μάζας του στοιχείου της φλέβας οφείλεται στην τυρβώδη συμπαράσυρση του περιβάλλοντος ρευστού. Κοντά στο σημείο εκροής, ή υπό την παρουσία ασθενούς ρεύματος, επικρατεί η εισροή λόγω διάτμησης. Ωστόσο, στο στάδιο της καμπύλωσης της φλέβας, επικρατεί η εισροή εξαιτίας των στροβίλων της εγκάρσιας ροής του περιβάλλοντος ρευστού. Η αύξηση της μάζας του στοιχείου σε κάθε βήμα, ΔM , υπολογίζεται ως συνάρτηση δύο στοιχείων: την

εισροή περιβάλλοντος ρευστού λόγω διάτμησης εξαιτίας της σχετικής ταχύτητας μεταξύ της ταχύτητας του στοιχείου της φλέβας και της ταχύτητας του περιβάλλοντος ρευστού κατά τη διεύθυνση του άξονα της φλέβας, ΔM_s και την εισροή περιβάλλοντος ρευστού λόγω στροβίλων εξαιτίας της εγκάρσιας ροής του περιβάλλοντος ρευστού, ΔM_f . Η διατύπωση της συμπαράσυρσης λόγω διάτμησης και στροβίλων παρουσιάζεται ξεχωριστά παρακάτω.

3.3.3.1 Συμπαράσυρση λόγω διάτμησης

Στο συγκεκριμένο μοντέλο, η συμπαράσυρση λόγω διάτμησης ($\Delta M_s = E_s$) σε κάθε χρονικό βήμα είναι k και υπολογίζεται ως εξής (Σχήμα 3.1):

$$E_s = 2\pi a_s b_k h_k \Delta U \Delta t \quad (3,32)$$

$$a_s = \sqrt{2}(0,057 + 0,554 \sin \varphi_k / F_o^2) \left(\frac{2W_k}{\Delta U + W_k} \right) \quad (3,33)$$

όπου:

W_k είναι η ταχύτητα της φλέβας

$\Delta U = |W_k - U_a \cos \varphi_k \cos \theta_k|$ είναι η σχετική ταχύτητα της φλέβας κατά τη διεύθυνση του άξονα του πλουμίου

b_k, h_k είναι η ακτίνα και το πάχος του στοιχείου (Σχήμα 3.1)

a_s, F_o είναι ο συντελεστής συμπαράσυρσης και ο τοπικός πυκνομετρικός αριθμός Froude αντίστοιχα.

3.3.3.2 Προβαλλόμενη Επιφάνεια Συμπαράσυρσης (Projected Area Entrainment PAE)

Η στροβιλώδης συμπαράσυρση εξαιτίας του εγκάρσιου ρεύματος μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας την υπόθεση της Προβαλλόμενη Επιφάνεια Συμπαράσυρσης (Projected Area Entrainment, PAE) (Frick 1984, Lee and Cheung 1990, Cheung and Lee 1996). Πειραματικές παρατηρήσεις (Chu and Goldberg 1974, Chu 1977) έχουν δείξει ότι η μεταφορά της οριζόντιας ορμής μετά από μερικές αρχικές διαμέτρους πραγματοποιείται η παραδοχή ότι όλη η ροή του περιβάλλοντος ρευστού στην προσήνεμη πλευρά του πλουμίου εισάγεται/εισρέει στο στοιχειώδες τμήμα του πλουμίου, συγκεκριμένα η εισροή λόγω της εγκάρσιας ροής του περιβάλλοντος ρευστού (η εισροή εξαιτίας του ζεύγους στροβίλων, στην απομακρυσμένη περιοχή) είναι ίση με τη ροή του περιβάλλοντος ρευστού που τέμνεται από προσήνεμη πλευρά του στοιχειώδους τμήματος του πλουμίου.

Η συμπαράσυρση της ροής του περιβάλλοντος ρευστού λόγω στροβίλων εντός ενός τυχαία κεκλιμένου στοιχειώδους τμήματος του πλουμίου και η σταδιακή αύξηση

της μάζας σε κάθε βήμα $\Delta M_f (E_f)$, περιγράφεται από την ακόλουθη ΡΑΕ μαθηματική έκφραση (Lee και Cheung 1990):

$$\Delta M_f = \rho_a U_a \left[2b_k h_k \sqrt{1 - \cos^2 \theta_k \cos^2 \varphi_k} + \pi b_k \Delta b_k \cos \varphi_k \cos \theta_k + \frac{\pi b_k^2}{2} \Delta (\cos \varphi_k \cos \theta_k) \right] \Delta t = E_p (\text{projection}) + E_w (\text{growth}) + E_c (\text{curvature}) = \rho_a U_a (A_p + A_w + A_c) * \Delta t \quad (3,34)$$

Μια αρχική εκτίμηση του ΔM_f μπορεί να ληφθεί ως:

$$\Delta M_f = \rho_a U_a b_k h_k \left[2 \sqrt{\sin^2 \varphi_k + \sin^2 \theta_k - (\sin \varphi_k \sin \theta_k)^2} + \pi \frac{\Delta b_k}{\Delta s_k} \cos \varphi_k \cos \theta_k + \frac{\pi b_k (\cos \varphi_k \cos \theta_k - \cos \varphi_{k-1} \cos \theta_{k-1})}{2 \Delta s_k} \right] \Delta t \quad (3,35)$$

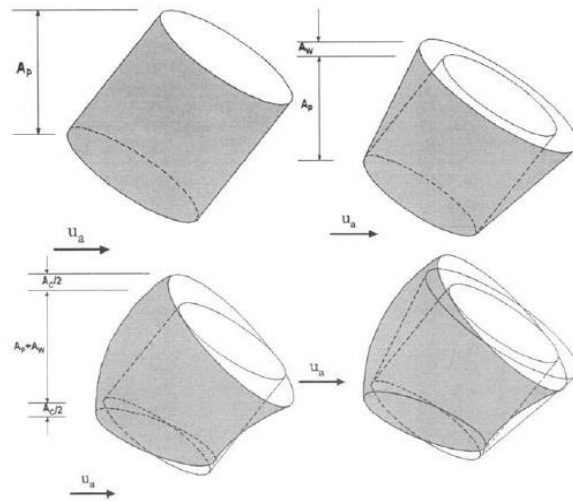
Με βάση την αρχική εκτίμηση του ΔM_f , οι ιδιότητες του στοιχειώδους τμήματος του πλουμίου στο επόμενο βήμα το $k + 1$ υπολογίζονται από τις εξισώσεις (3,3-3,23). Μια αναθεωρημένη εκτίμηση για το Δ_b / Δ_s και $\Delta (\cos \varphi \cos \theta) / \Delta_s$ δύναται να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τις τιμές που προέκυψαν από τις τιμές των βημάτων k και $k + 1$ (π.χ. $\Delta_b / \Delta_s = (b_{k+1} - b_k) / \Delta s_k$). Μία βελτιωμένη εκτίμηση του $(\Delta M_f)_k$ μπορεί να υπολογιστεί στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (3,34) και (3,35) εκτελώντας συνεχείς επαναλήψεις έως ότου να επιτευχθεί σύγκλιση. Συνήθως απαιτούνται δύο επαναλήψεις για τη σύγκλιση των βασικών μεταβλητών (με σχετική ανοχή 10^{-4}) σε κάθε βήμα. Το χρονικό βήμα Δt μπορεί να είναι σταθερό ή μεταβλητό και επιλέγεται μέσω μιας διαδικασίας «πρόβλεψης - διόρθωσης» για να επιτευχθεί μια προκαθορισμένη κλασματική αλλαγή της μάζας (συνήθως της τάξης του 1%) σε κάθε βήμα. Σημειώνεται, ότι η πυκνότητα περιβάλλοντος ρ_a λαμβάνει τοπικές τιμές επομένως, η στρωματοποίηση του περιβάλλοντος ρευστού μπορεί εύκολα να ληφθεί υπόψη.

Στις εξισώσεις 3,34 και 3,35, υπάρχουν τρεις όροι που συμβάλλουν στο έργο:

- είναι αντιστοίχως η συμπαράσυρση λόγω της προβαλλόμενης επιφάνειας κάθετη στην εγκάρσια ροή
- η προβολή ή ο όρος του κυλίνδρου E_p , ένας όρος διόρθωσης λόγω της αύξησης του πλάτους του πλουμίου E_w ,
- και ένας όρος διόρθωσης λόγω της καμπυλότητας του πλουμίου E_c .

Η συνολική προβαλλόμενη επιφάνεια συμπαράσυρσης είναι:

$$E_f = E_p + E_w + E_c$$



Σχήμα 3. 2 Απεικόνιση τριών διορθωτικών όρων της Προβαλλόμενης Επιφάνειας Συμπαράσυρσης (ΡΑΕ): όρος προβαλλόμενης επιφάνειας A_p , αύξηση περιοχής λόγω ανάπτυξης πλουμίου A_w , επιδιόρθωση περιοχής λόγω καμπυλότητας πλουμίου A_c και σύνολο όλων των τριών όρων. (Πηγή : Chu, V. H. and Lee, J. H. W. (1996)

Το Σχήμα 3.2 απεικονίζει την ερμηνεία των αντίστοιχων διορθωτικών όρων της προβαλλόμενης επιφάνειας σε κανονικές καταστάσεις για ένα ρεύμα που κινείται με φορά από τα αριστερά προς τα δεξιά. Μπορεί να αποδειχθεί ότι κάθε όρος είναι σημαντικός σε διαφορετικά σημεία της τροχιάς, έτσι ώστε κανένας από αυτούς να μην μπορεί να αγνοηθεί. Σημειώνεται ότι ο πρώτος όρος έχει επαναδιατυπωθεί ώστε να ελαχιστοποιείται το σφάλμα στρογγυλοποίησης και οι παράγωγοι έχουν εκφρασθεί με προς τα πίσω διαφορές χρησιμοποιώντας τις τιμές στο τρέχον και τα προηγούμενα βήματα. Για φλέβες με δισδιάστατες τροχιές, $\theta_k = 0$, και η εξίσωση 3,34 καταλήγει στην μαθηματική διατύπωση ΡΑΕ που δίνεται από τον Frick (1984). Κατά την ανάπτυξη αυτού του γενικού μοντέλου δυνητικής παραμόρφωσης, εξετάστηκε μια μεγάλη ποικιλία καταστάσεων ροής.

3.3.3.3 Συνολική εισροή συμπαράσυρσης

Η συνολική συμπαράσυρση μπορεί να ληφθεί από μια μέγιστη υπόθεση η οποία είναι:

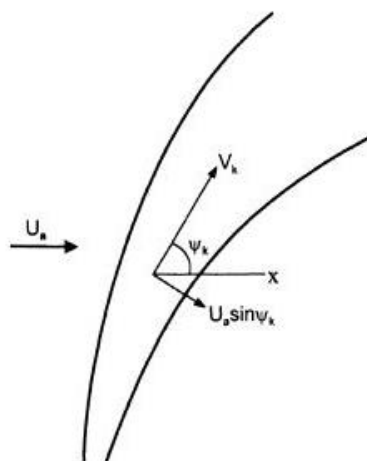
$$\Delta M = \text{Max}(\Delta M_s, \Delta M_f) \quad (3,36)$$

Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια πρόσθετη υπόθεση όπως:

$$\Delta M = \Delta M_s + \Delta M_f \quad (3,37)$$

Η σύγκριση με τα βασικά δεδομένα δείχνει ότι η πρώτη υπόθεση γενικά δίνει καλύτερα αποτελέσματα. Ωστόσο, η χρήση αυτής της υπόθεσης μπορεί να δώσει παράλογες προβλέψεις για ασθενείς περιπτώσεις ρευμάτων. Όταν η ταχύτητα U_a είναι μικρή ή όταν το Q_o είναι μεγάλο, αναμένεται ότι θα κυριαρχήσει η διατμητική συμπαράσυρση. Ωστόσο, η σχετική ταχύτητα της φλέβας μειώνεται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ρεύματος του περιβάλλοντος ρευστού, οδηγώντας σε μείωση της συμπαράσυρσης με αυξανόμενη εγκάρσια ροή, αποτέλεσμα που δεν επιβεβαιώνεται από πειράματα σε ασθενές ρεύμα (Lee και Cheung 1991).

3.3.4 Μαθηματική Διαμόρφωση για τη μετάβαση στο εγγύς πεδίο



Σχήμα 3. 3 Ασθενής καμπυλωτή ανωστική φλέβα σε εγκάρσια ροή. (Πηγή : Chu, V. H. and Lee, J. H. W. (1996)

Εξετάζοντας τη γενική κατάσταση μιας φλέβας/πλούμιο εντός περιβάλλοντος ρευστού με ασθενές εγκάρσιο ρεύμα, με τον άξονα της φλέβας να σχηματίζει γωνία ψ_k με την εγκάρσια ροή (Σχήμα 3.3) το ρεύμα στο επίπεδο της διατομής της φλέβας είναι: $U_a \sin \psi_k$. Η γενική διατύπωση της συμπαράσυρσης, η οποία προσομοιώνει τη μετάβαση στο εγγύς πεδίο (ή ασθενές σε ισχυρό ρεύμα), έχει ως εξής:

$$\Delta M = E_s \frac{(\pi - \varphi_k)}{\pi} + E_f \sin \varphi_k \quad (3,38)$$

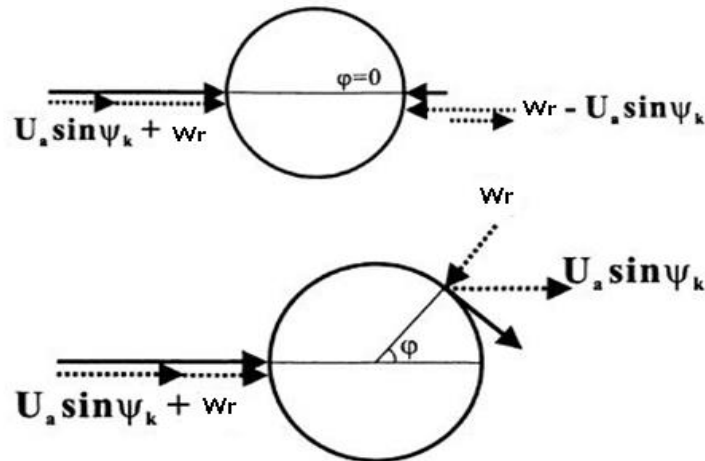
όπου το φ_k είναι μια "γωνία διαχωρισμού" που ορίζει τη σχετική σημασία της διατμητικής και στροβιλώδους συμπαράσυρσης.

Η τιμή του φ_k υπολογίζεται από τη μέγιστη ταχύτητα ακτινική διατμητική συμπαράσυρση και την ταχύτητα περιβάλλοντος ρεύματος σύμφωνα με τον τύπο:

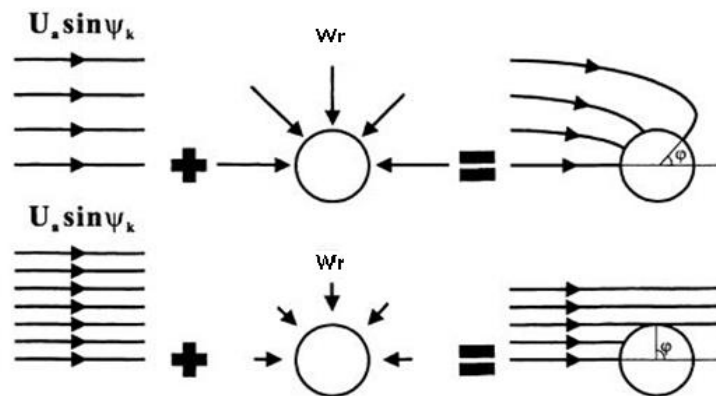
$$\cos(\varphi_k) = \text{Min} \left(\frac{W_r(\max)}{U_a \sin \psi_k}, 1 \right) \quad (3,39)$$

Για μια κυκλική φλέβα ή πλούμιο εντός ακίνητου ρευστού, η αξονική ταχύτητα της φλέβας είναι όμοια και ακολουθεί περίπου κατανομή τύπου Gauss. Το ακτινικό πεδίο της ταχύτητας συμπαράσυρσης W_r μπορεί να προκύψει από την εξίσωση συνεχείας ως συνάρτηση της τοπικής κεντρικής ταχύτητας δεδομένου ότι ο ρυθμός διεύρυνσης των φλεβών και πλουμίων είναι περίπου το ίδιο :

$$db/ds \approx \sqrt{2}(0,109)$$



Σχήμα 3. 4 Καθαρή ακτινική ταχύτητα στα όρια της φλέβας όπου α) Συνολική συμπαράσυρση = τυρβώδη συμπαράσυρση $E=Es$ (αρχικό σχήμα) β) $E \geq Es$ με σταθερό σημείο την γωνία φ (τελικό σχήμα). (Πηγή : Chu, V. H. and Lee, J. H. W. (1996)



Σχήμα 3. 5 Μοτίβο εισροής για: α) φλέβα σε αδύναμη εγκάρσια ροή (αρχικό σχήμα) και β) φλέβα σε ισχυρή εγκάρσια ροή (τελικό σχήμα). (Πηγή : Chu, V. H. and Lee, J. H. W. (1996)

Αποδεικνύεται ότι για το μέγιστο ακτινικό πεδίο ταχύτητας ισχύει:

$$W_r(max) = 0,421a_s\Delta U_g \quad (3,40)$$

και εμφανίζεται σε ακτινική θέση: $r/b_k \approx \sqrt{2}$ όπου $\Delta U_g = 2\Delta U$ είναι η αξονική επιπρόσθετη ταχύτητα.

Η παραπάνω διατύπωση βασίζεται στις εργασίες των Gaskin (1995) και Gaskin et al, (1995). Στην περίπτωση ασθενούς ρεύματος, τόσο η θεωρία όσο και τα πειράματα προτείνουν ότι η ροή συμπαράσυρσης στο επίπεδο της διατομής της φλέβας μπορεί να μοντελοποιηθεί ως το άθροισμα της ακτινικής συμπαράσυρσης μίας φλέβας /πλούμιου σε στάσιμο ρευστό, W_r , και της ομοιόμορφης ροής περιβάλλοντος που ορίζεται από την σχέση: $U_a \sin\psi_k$. Αυτό δίνει τη δυνατότητα για τη συνένωση των όρων E_s και E_f .

Το Σχήμα 3.4 δείχνει τη ροή έξω εκτός από την φλέβα που λαμβάνεται με αυτόν τον τρόπο (για ευκολία ορίζουμε το όριο της φλέβας /πλούμιου από τη θέση της μέγιστης ταχύτητας συμπαράσυρσης που είναι:

$$r = \sqrt{2}b_k \quad (3,41)$$

Λαμβάνοντας υπόψη την ακτινική ταχύτητα εντός του στοιχειώδους τμήματος του πλούμιου κατά μήκος του άξονα, μετά την υπέρθεση η ταχύτητα στην προσήνεμη πλευρά του στοιχείου θα ενισχυθεί δηλαδή θα ισχύει: $W_r + U_a \sin\psi_k$, ενώ αυτή στην άλλη πλευρά θα μειωθεί άρα θα ισχύει: $W_r - U_a \sin\psi_k$. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τυρβώδης συμπαράσυρση που οφείλεται στην ανάμειξη είναι η εισροή στο στοιχείο του πλούμιου. Εάν η καθαρή ακτινική ταχύτητα γύρω από το όριο του στοιχείου κατευθύνεται προς τα μέσα, η συνολική συμπαράσυρση θα είναι ακριβώς ίση με την διατμητική συμπαράσυρση E_s , δεδομένου ότι η ταχύτητα περιβάλλοντος U_a δεν συνεισφέρει καθαρή εισροή στο στοιχείο όταν ολοκληρώνεται επί της περιμέτρου. Το κρίσιμο σημείο μετάβασης, όταν η συνολική συμπαράσυρση υπερβαίνει της διατμητικής, δίνεται από την σχέση:

$$U_a \sin\psi_k = W_r(max) \quad (3,42)$$

όπου $W_r(max)$ μπορεί να υπολογιστεί τοπικά με έναν γενικό τρόπο.

Για να υπολογιστεί η πιθανότητα μηδενικής ακτινικής εισροής στο όριο του πλούμιου, λαμβάνεται η μέγιστη ακτινική ταχύτητα της διατμητικής συμπαράσυρσης που ισοδυναμεί με την ακτινική συνιστώσα της ταχύτητας περιβάλλοντος, ήτοι (Σχήμα 3.4):

$$\frac{U_a \sin\psi_k}{a_s \Delta U_g} \cos(\varphi_k) = 0,421 \quad (3,43)$$

Η παραπάνω εξίσωση δείχνει ότι, για ένα δεδομένο ΔU_g η ελάχιστη ταχύτητα περιβάλλοντος U_a^* για να δώσει ένα «σημείο ανακοπής» (σημείο μηδενικής κάθετης ταχύτητας) στο όριο του πλούμιου είναι:

$$\frac{U_a^* \sin \psi_k}{a_s \Delta U_g} = 0,421 \quad (3,44)$$

Για $U_a \geq U_a^*$ η εξίσωση (3,44) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του "σημείου ανακοπής", δηλαδή της γωνίας φ_k (Σχήμα 3.4).

Η αντίστοιχη γραμμική ροής για μια τέτοια ροή απεικονίζεται στο Σχήμα 4.5.

Οι εξισώσεις (3,38) και (3,39) δείχνουν ότι όταν $U_a \rightarrow 0, \varphi_k \rightarrow 0, \Delta M \rightarrow E_s$

δηλαδή ότι η συμπαράσυρση οφείλεται σχεδόν εξ ολοκλήρου σε διατμητική συμπαράσυρση ενώ όταν $U_a \rightarrow \infty$ και $\varphi \rightarrow \pi/2$ δηλαδή η συμπαράσυρση οφείλεται σχεδόν εξ ολοκλήρου στην εγκάρσια ροή (η E_f συνήθως πολύ μεγαλύτερη από την E_s). Οι δύο συμμετρικές γραμμές ροές που διέρχονται από τα σημεία ανακοπής δίνουν το πλάτος της ανάντη ροής, που εισρέει στο στοιχείο του πλούμιου και συνεπώς τη συνολική ροή εισροής. Συνοψίζοντας, η κύρια συνέπεια αυτής της υπόθεσης είναι ότι για ένα ρεύμα περιβάλλοντος έως μια τιμή που ορίζεται από ψ_k και ΔU_g , η συνολική συμπαράσυρση οφείλεται εξ ολοκλήρου στη διατμητική συμπαράσυρση E_s . Πέρα από αυτό το κρίσιμο όριο, η συμπαράσυρση αυξάνεται στην τιμή της στροβιλώδους συμπαράσυρσης E_f . Δύναται να αποδειχθεί ότι η ροή εισροής q_e γράφεται (Gaskin 1995):

$$\frac{q_e}{2\pi a \Delta U_g b_g} = \frac{\pi - \varphi_k}{\pi} + \frac{2U_a \sin \psi_k r^*}{2\pi a \Delta U_g b_g} \sin \varphi_k \quad (3,45)$$

όπου $r^* \approx \sqrt{2}b_k$ είναι η ακτινική θέση του ορίου του πλούμιου.

Δεδομένου ότι το για το E_s ισχύει η εξίσωση: $E_s = 2\pi a \Delta U_g b_g$ και για το E_f ισχύει η εξίσωση: $E_f = 2U_a \sin \psi_k r^*$ η παραπάνω εξίσωση μπορεί να αντικατασταθεί από μία ισοδύναμη εξίσωση (3,38) που είναι αποδεκτή για έναν πιο γενικό υπολογισμό. Οι εξισώσεις (3,38) και (3,39) ισχύουν γενικά για φλέβες με τρισδιάστατες τροχιές.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΓΡΑΜΑΤΟΣ VISJET

Για να κατανοήσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να σχεδιάσουμε συστήματα για την σωστή διάθεση των υγρών αποβλήτων είτε από κατοικίες είτε από τις συνήθεις δραστηριότητες μια πόλης είτε από υγρά βιομηχανικά απόβλητα σε υδάτινους αποδέκτες, είναι απαραίτητο να προβλεφθεί η επίδραση της ρύπανσης μετά την ολοκλήρωση της απόρριψης τους στο θαλάσσιο περιβάλλον. Οι συνηθισμένες ρυπογόνες απορρίψεις λοιπόν, περιλαμβάνουν τις απορρίψεις των οικιακών λυμάτων, τις θερμικές απορρίψεις από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος (νερό ψύξης), άλμη από εγκαταστάσεις αφαλάτωσης και απόβλητα από τη βιομηχανία (ζυθοποιίες, βαφές και λεύκανση, χαρτοποιίες, εστιατόρια κ.λπ.). Η πιο συνηθισμένη αντίληψη είναι ότι οποιαδήποτε απόρριψη στο περιβάλλον είναι βλαβερή. Στην πραγματικότητα, τα λύματα αναμιγνύονται, διασπείρονται και αραιώνονται, οδηγώντας έτσι σε μια συνεχή και ταχεία μείωση της συγκέντρωσης ρύπων. Ο βαθμός ανάμιξης (και συνεπώς οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις) καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά των λυμάτων (π.χ. πυκνότητα, φορτίο ρύπανσης, ταχύτητα και προσανατολισμό εκκένωσης, γεωμετρικές διαστάσεις) και τις περιβαλλοντικές συνθήκες (τοπική πυκνότητα περιβάλλοντος, ταχύτητα και κατεύθυνση του ρεύματος, διαστρωμάτωση πυκνότητας). Η ικανότητα πρόβλεψης των επιπτώσεων της διάθεσης υγρών λυμάτων σε υδάτινους αποδέκτες είναι απαραίτητη για τον καθορισμό του απαιτούμενου βαθμού απομάκρυνσης των αποβλήτων και για τον καθορισμό μιας ουσιαστικής ζώνης ανάμιξης της οποίας επιβάλλονται νομικά οι στόχοι ποιότητας του νερού.

Το VISJET αποτελεί ένα υπολογιστικό πρόγραμμα που υπολογίζει και απεικονίζει γραφικά το πεδίο ροής φλεβών που σχηματίζεται από εκροές λυμάτων σε διαφορετικές γωνίες ως προς την κατεύθυνση του ρεύματος. Συνδυάζει ένα επιβεβαιωμένο μοντέλο Lagrangian ανάμιξης, JETLAG, με τεχνικές δημιουργίας γραφικών σε περιβάλλον ηλεκτρονικών υπολογιστών για την παρουσίαση της διαδρομής και των χαρακτηριστικών ανάμιξης ενός αριθμού κεκλιμένων φλεβών σε τρισδιάστατο χώρο.

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ VISJET

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστεί ο τρόπος με τον οποίο εισάγονται τα δεδομένα στο λογισμικό VISJET ώστε να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση του πεδίου ροής μιας ανωστικής φλέβας. Η εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό VISJET πραγματοποιείται σε στάδια.

Στο πρώτο στάδιο είναι απαραίτητο να συμπληρωθούν οι παράμετροι περιβάλλοντος όπως φαίνεται στην εικόνα του Σχήματος 4.1.

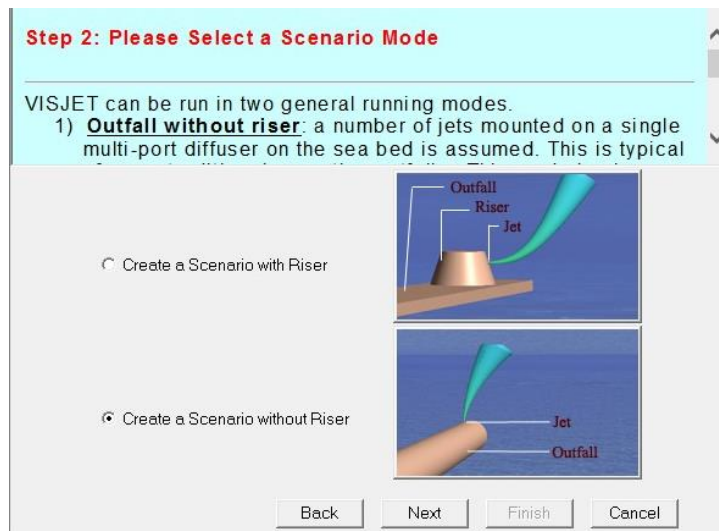
Name	Meaning	Acceptable range	
Depth(m)	Density(g/ml)	Temperature(deg)	Current(m/s)

Σχήμα 4. 1 Εικόνα εισαγωγής παραμέτρων περιβάλλοντος στο λογισμικό.

Πιο συγκεκριμένα:

- το βάθος κάτω από την επιφάνεια (Depth σε m)
- η πυκνότητα του περιβάλλοντος (Density σε g/mL)
- η θερμοκρασία (Temperature σε deg)
- και η οριζόντια ταχύτητα ρεύματος (Current σε m/s)

Στο δεύτερο στάδιο το VISJET μπορεί να εκτελεστεί σε δύο γενικές λειτουργίες όπως φαίνεται και στην εικόνα του Σχήματος 4.2

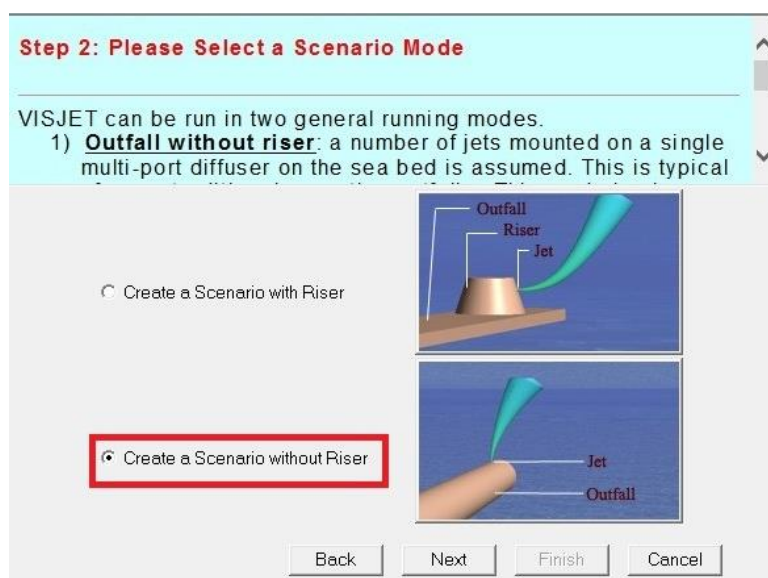


Σχήμα 4. 2 Επιλογή τρόπου λειτουργίας της εκροής.

Οι επιλογές που δίνονται από το πρόγραμμα για τον τρόπο λειτουργίας της εκροής είναι οι ακόλουθες:

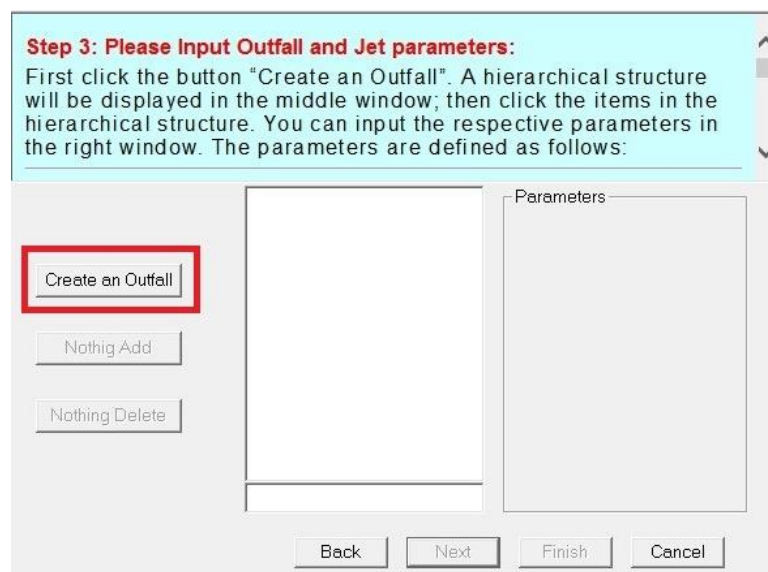
- Η εκροή με ανυψωτήρα (riser) όπου αποτελεί μια σειρά ανυψωτήρων που είναι τοποθετημένη στο σημείο εκβολής και είναι συνήθης επιλογή των σύγχρονων εκροών στη θάλασσα. Σε κάθε ανυψωτήρα ένας αριθμός φλεβών εκρέει από τις γωνίες ενός ισόπλευρου πολυγώνου σχηματίζοντας μια ροζέτα ακροφυσίων.
- Η εκροή χωρίς ανυψωτήρα (riser) όπου αποτελεί ένα αριθμό φλεβών τοποθετημένων σε έναν διαχυτή, πολλαπλών ακροφυσίων, στον πυθμένα της θάλασσας. Αυτός ο τρόπος είναι κατάλληλος για την ανάλυση εργαστηριακών πειραμάτων ή αναλυτικών μελετών.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η δεύτερη επιλογή: «*Create a scenario without Riser*».



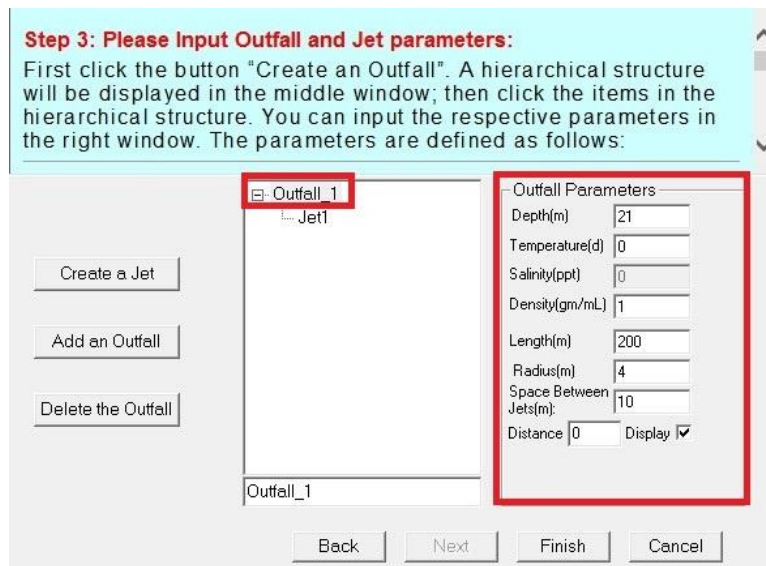
Σχήμα 4.3 Επιλογή τρόπου λειτουργίας της εκροής χωρίς ανυψωτήρα.

Στο τρίτο στάδιο εισάγονται οι παράμετροι της εκροής και της σχηματιζόμενης φλέβας. Αυτό πραγματοποιείται επιλέγοντας τη δυνατότητα «*Create an Outfall*» όπως φαίνεται στην εικόνα του Σχήματος 4.4.



Σχήμα 4.4 Εισαγωγή παραμέτρων εκροής φλέβας.

Επιλέγοντας «*Create an Outfall*» εμφανίζεται το παράθυρο για την εισαγωγή των παραμέτρων της εκροής «*Outfall_1*» (Σχήμα 4.5).

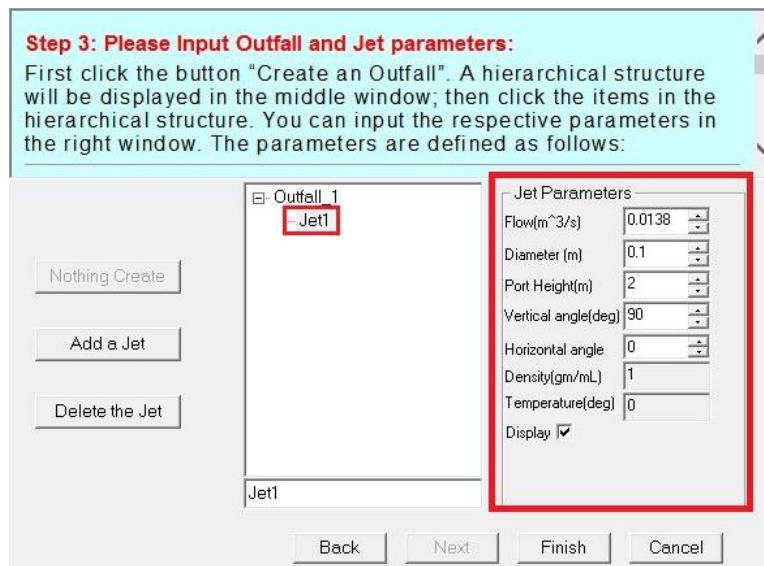


Σχήμα 4. 5 Εισαγωγή παραμέτρων εκροής.

Οι παράμετροι της εκροής που απαιτείται να ορισθούν είναι:

- το βάθος κάτω από την επιφάνεια (Depth σε m)
- η θερμοκρασία (Temperature σε deg)
- η πυκνότητα του περιβάλλοντος (Density σε g/mL)
- το μήκος της εκροής (Length σε m)
- η ακτίνα της εκροής (Radius σε m) και
- ο χώρος μεταξύ των φλεβών που είναι τοποθετημένες οι εκροές (Space Between Jets σε m)

Στην συνέχεια αφού συμπληρωθούν οι παράμετροι της εκροής, επιλέγονται οι παράμετροι που σχετίζονται με τη εκρέουσα ανωστική φλέβα επιλέγοντας **Jet1** και συμπληρώνοντας τις παραμέτρους που εμφανίζονται όπως φαίνεται στην εικόνα του Σχήματος 4.6.



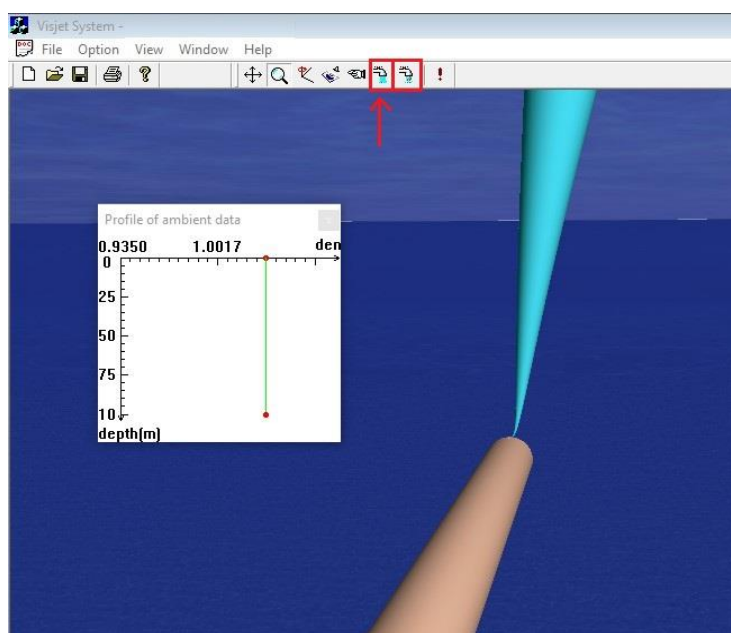
Σχήμα 4. 6 Εισαγωγή αρχικών παραμέτρων εκτοξευόμενης φλέβας.

Οι παράμετροι που είναι απαραίτητοι για το σχεδιασμό της εκτοξευόμενης φλέβας είναι:

- η παροχή εκροής των λυμάτων από το ακροφύσιο (Flow σε m^3/s)
- η διάμετρος του ακροφυσίου (Diameter σε m)
- το ύψος του διαχυτήρα (Port Height σε m)
- η κάθετη γωνία εκκένωσης εκτόξευσης σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο (Vertical angle σε deg)
- η οριζόντια γωνία της τρέχουσας κατεύθυνσης σε σχέση με την εκκένωση εκτόξευσης (Horizontal angle)
- η πυκνότητα των λυμάτων (Density σε g/mL) και
- η θερμοκρασία εκροής (Temperature σε deg)

Σημειώνεται το λογισμικό δεν παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής αρχικού πυκνομετρικού αριθμού F_o . Οι προσομοιώσεις, όμως, είναι προτιμότερο να πραγματοποιούνται βάσει συγκεκριμένου/επιθυμητού αρχικού αριθμού F_o . Για το λόγο αυτό η εκάστοτε παροχής εκροής υπολογίστηκε βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o αφού πρώτα υπολογιστεί η αρχική ταχύτητα εκροής. Αφού ορισθούν όλες οι απαραίτητες παράμετροι εισαγωγής, η προσομοίωση δύναται να πραγματοποιηθεί επιλέγοντας την εντολή «RUN». Μετά το πέρας της προσομοίωσης, το λογισμικό εξάγει αυτόματα τα αποτελέσματα σε ξεχωριστό αρχείο κειμένου .txt. Ταυτόχρονα, δίνεται η δυνατότητα ανάγνωσης των αποτελεσμάτων σε οποιαδήποτε θέση του συνολικού πεδίου ροής επιλέγει ο χρήστης. Στα αποτελέσματα περιλαμβάνονται οι τιμές της ταχύτητας,

αραίωσης, πλάτους φλέβας σε διάφορες θέσεις. Επειδή, το λογισμικό δεν παρέχει τη δυνατότητα επιλογής πλήθους θέσεων, χρειάστηκε να αναγνωσθούν τα παραπάνω αποτελέσματα χειροκίνητα ώστε να προκύψουν καλύτερες κατανομές στα διαγράμματα που θα παρουσιασθούν στην ενότητα των αποτελεσμάτων που ακολουθεί. Το πρόγραμμα VISJET έχει την δυνατότητα οπτικοποίησης της εκτοξευόμενης φλέβας έπειτα από τον υπολογισμό της. Πιο συγκεκριμένα στο Σχήμα 4. 7 επισημαίνονται οι επιλογές που δίνονται για την οπτική αναπαράσταση της. Η πρώτη επιλογή (Σχήμα 4.7, με το βέλος) δίνει την δυνατότητα για την αναπαραγωγή της φλέβας με συνεχή κίνηση ενώ η δεύτερη επιλογή με σταδιακή κίνηση.



Σχήμα 4. 7 Επιλογές αναπαραγωγής φλέβας

4.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΑΚΙΝΗΤΟ ΑΠΟΔΕΚΤΗ

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για την περίπτωση κεκλιμένων κυκλικών ανωστικών φλεβών σε ομογενή και ακίνητο αποδέκτη. Ο ορισμός της μηδενικής ταχύτητας ρεύματος ($U_a=0\text{m/s}$) πραγματοποιείται στην καρτέλα του Σχήματος 4.1. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αρχικά δεδομένα της κάθε περίπτωσης και τα αποτελέσματα που προκύπτουν υπό μορφή διαγραμμάτων. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αρχικά δεδομένα για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν. (Πίνακας 4.1)

Πίνακας 4.1 Συνοπτικός πίνακας περιπτώσεων που προσομοιώθηκαν για ακίνητο αποδέκτη.

Γωνία εκτόξευσης θ_0 (°)	F_0	Ταχύτητα ρεύματος (m/s)
0°	3 , 10 , 50	0
30°		
45°		
60°		
75°		
90°		

4.2.1 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=0^\circ$

Στους Πίνακες 4.2, 4.3 και 4.4 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_0=0^\circ, U_a=0$ m/s και $F_0=3,10,50$, αντιστοίχως.

Πίνακας 4.2 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	0
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.3 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	0
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.4 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.

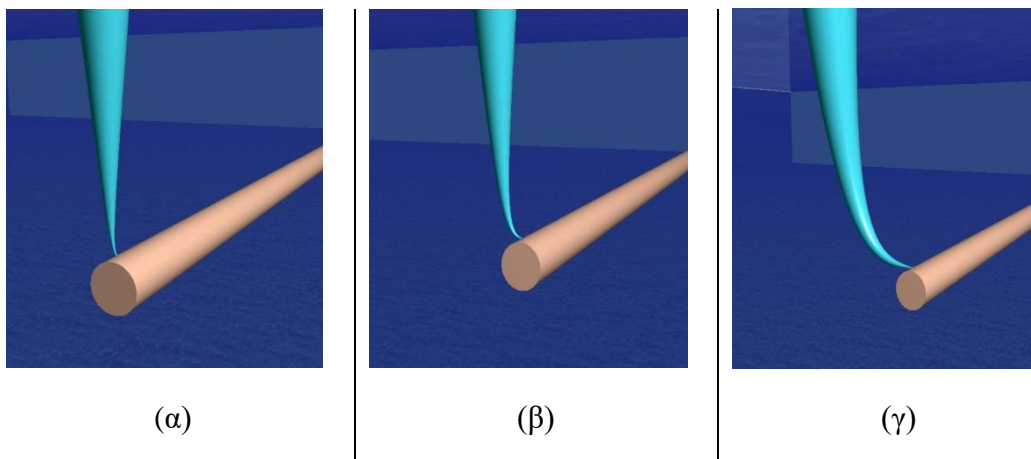
Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)

Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	0
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

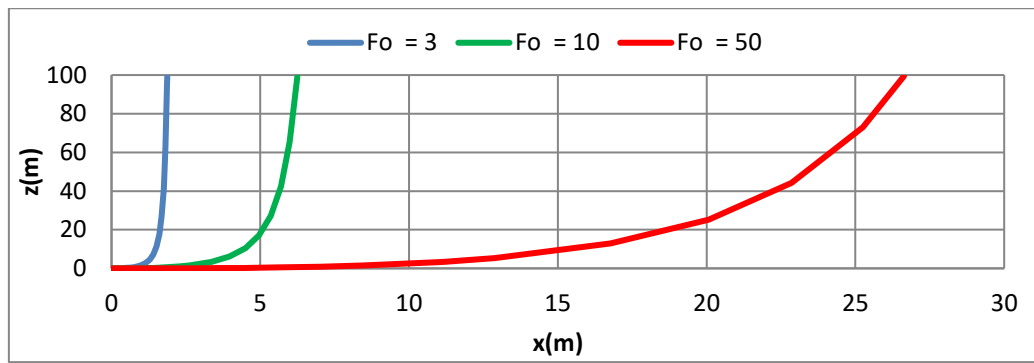
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής που σχηματίζεται από την εκροή οριζόντιας φλέβας με αρχικό πυκνομετρικό αριθμό $F_o=3$, $F_o=10$ και $F_o=50$, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 1 Οπτική παράσταση πεδίου ροής οριζόντιας φλέβας ($\theta_o=0^\circ$) σε ακίνητο αποδέκτη για (α) $F_o=3$, (β) $F_o=10$ και (γ) $F_o=50$

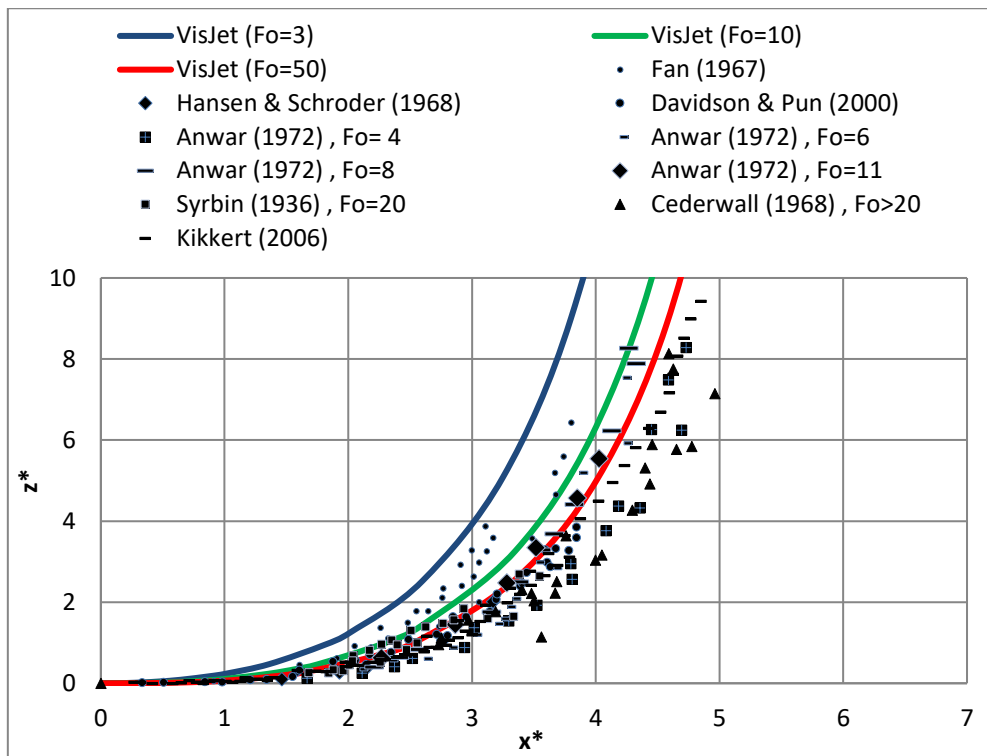
Στο Διάγραμμα 4.1 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.



Διάγραμμα 4. 1 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=0^\circ$, $U_a=0$ m/s και $F_0=3,10,50$.

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο αρχικός αριθμός Froude F_0 , η φλέβα απομακρύνεται από το ακροφύσιο και αναδύεται αργότερα και σε μεγαλύτερη απόσταση από τη θέση εκροής. Από αυτό μπορούμε να αντιληφθούμε ότι για μεγάλη τιμή του αριθμού F_0 , διαγράφεται μεγαλύτερη τροχιά άρα και το μήκος της τροχιάς της φλέβας είναι μεγαλύτερο.

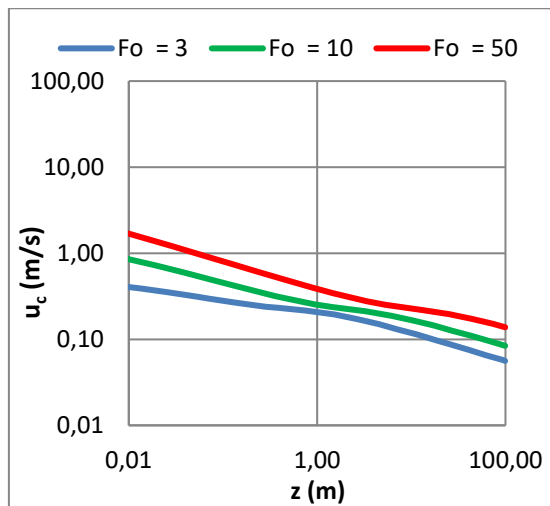
Στο Διάγραμμα 4.2 παρουσιάζεται το διάγραμμα της τροχιάς του άξονα της φλέβας σε αδιαστατοποιημένες συντεταγμένες (αδιαστατοποιημένες τροχιές). Η αδιαστατοποίηση πραγματοποιήθηκε ως προς τον αρχικό αριθμό Froude και τη διάμετρο εκροής χρησιμοποιώντας τις σχέσεις $x^*=x/(d_0 \cdot F_0)$ και $z^*=z/(d_0 \cdot F_0)$. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συγκρίνονται με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα της διεθνούς βιβλιογραφίας των Anwar (1972), Cederwall (1968), Davidson & Pun (2000), Fan (1967), Hansen and Schroder (1968), Syrbin (1936) και Kikkert (2006).



Διάγραμμα 4.2 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αδιαστατοποιημένων τροχιών με πειραματικά δεδομένα Anwar (1972), Cederwall (1968), Davidson & Pun (2000), Fan (1967), Hansen and Schroder (1968), Syrbin (1936) και Kikkert (2006) για $\theta_0=0^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Παρατηρείται ελαφρά απόκλιση μεταξύ των πειραματικών δεδομένων των διαφόρων ερευνητών. Τα πειραματικά δεδομένα του Anwar (1972) για μικρούς αριθμούς F_o παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Αντίθετα, για τις περιπτώσεις μεγαλύτερων τιμών F_o το μοντέλο συμπεριφέρεται καλύτερα παρουσιάζοντας αρκετά καλή συμπεριφορά για τις περιπτώσεις φλεβών χωρίς άνωση. Συγκρίνοντας τα πειραματικά δεδομένα των Syrbin (1936), Kikert (2006) και Cederwall (1968) παρατηρούμε ότι οι αποκλίσεις μεταξύ του μοντέλου και των πειραματικών σημείων είναι μικρότερες.

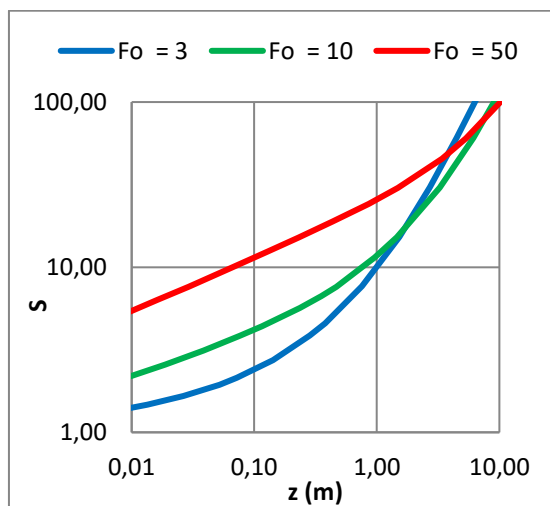
Στο Διάγραμμα 4.3 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της οριζόντιας ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_o=3$, $F_o=10$ και $F_o=50$.



Διάγραμμα 4.3 Διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ, F_0=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας, για διαφορετικές περιπτώσεις αρχικού πυκνομετρικού αριθμού Froude, παρατηρούμε ότι για κάθε τιμή του F_0 η ταχύτητα μειώνεται καθώς απομακρύνεται από το ακροφύσιο εκροής. Η μεταβολή είναι περίπου παράλληλα μετατοπισμένη και στις τρεις περιπτώσεις.

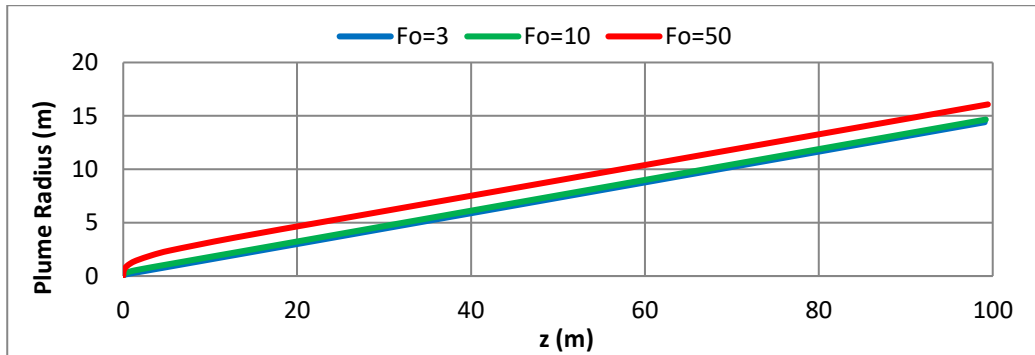
Στο Διάγραμμα 4.4 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραιώσης S της οριζόντιας ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_0=3, F_0=10$ και $F_0=50$, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4.4 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραιώσης για $\theta_0=0^\circ, F_0=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Παρατηρείται ότι στην περιοχή κοντά στο ακροφύσιο εκροής επιτυγχάνονται καλύτερες αραιώσεις για μεγάλες τιμές του αρχικού F_0 , ενώ αποκρινόμενοι από το ακροφύσιο εκροής αυτή η κατάσταση αντιστρέφεται.

Στο Διάγραμμα 4.5 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (σε m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_o=3$, $F_o=10$ και $F_o=50$. Σημειώνεται ότι ο υπολογισμός της ακτίνας πραγματοποιείται πολλαπλασιάζοντας την οπτική ακτίνα (plume visual) με το $\sqrt{2}$, ήτοι: $PlumeRadius = PlumeVisual * \sqrt{2}$.



Διάγραμμα 4.5 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume radius για $\theta_o=0^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Για μικρές τιμές F_o όπου έχουμε περιπτώσεις καθαρού πλουμίου ή ανωστικής φλέβας, η μεταβολή της ακτίνας (που είναι ένδειξη του πλάτους της φλέβας) παρουσιάζει την ίδια μεταβολή ενώ παρουσιάζεται απόκλιση για τις περιπτώσεις φλεβών δίχως άνωση ($F_o=50$).

4.2.2 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_o=30^\circ$

Στους Πίνακες 4.5, 4.6 και 4.7 που ακολουθούν παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_o=30^\circ$, $U_a=0$ m/s και $F_o=3,10,50$, αντιστοίχως.

Πίνακας 4.5 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=30^\circ$, $F_o=3$ και $U_a=0$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/ m L)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/ m L)

Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	30
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.6 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=30^\circ, F_o=10$ και $U_a=0$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/ m L)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/ m L)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	30
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

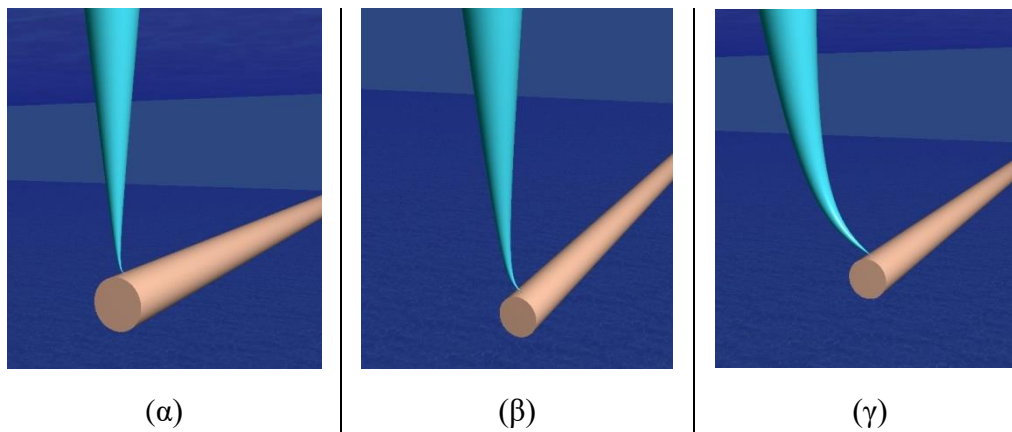
Πίνακας 4.7 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=30^\circ, F_o=50$ και $U_a=0$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/ mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/ m L)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	30
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

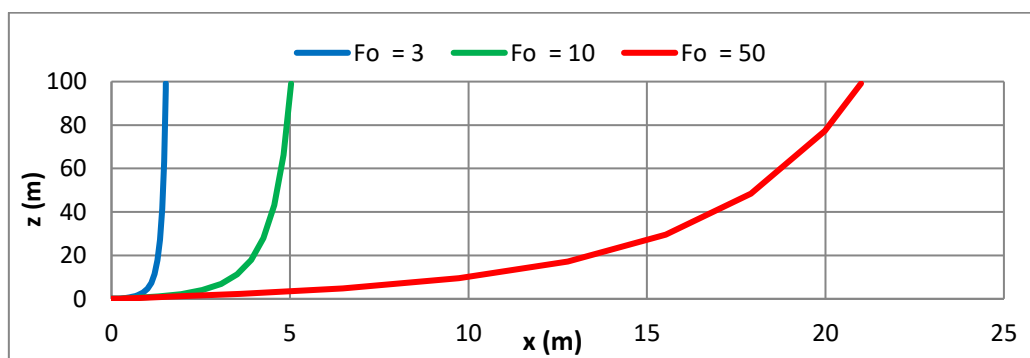
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.2 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής που σχηματίζεται από την εκροή φλέβας με αρχικό πυκνομετρικό αριθμό $F_o=3$, $F_o=10$ και $F_o=50$, αντιστοίχως.



Εικόνα 4.2 Οπτική παράσταση πεδίου ροής της φλέβας ($\theta_0=30^\circ$) σε ακίνητο αποδέκτη για (α) $F_o=3$, (β) $F_o=10$ και (γ) $F_o=50$

Στο Διάγραμμα 4.6 παρουσιάζονται οι συγκριτικές τιμές των τροχιών για $\theta_0=30^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

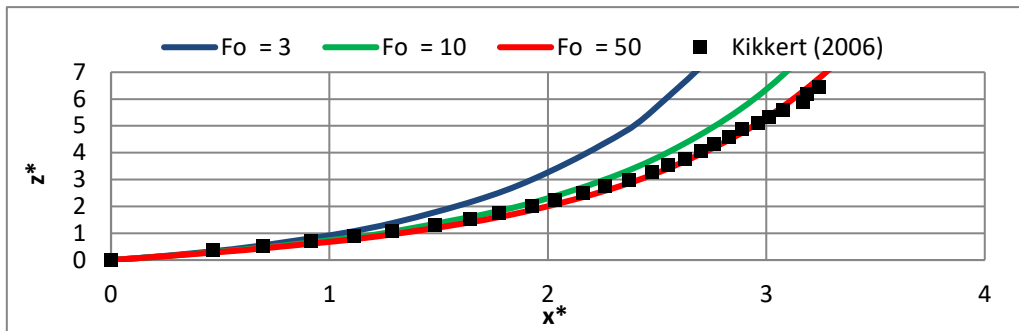


Διάγραμμα 4.6 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=30^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο αρχικός αριθμός Froude (F_o), η φλέβα απομακρύνεται περισσότερο από το ακροφύσιο και αναδύεται αργότερα και σε μεγαλύτερη απόσταση από τη θέση εκροής. Από αυτό μπορούμε να αντιληφθούμε ότι για μεγάλη τιμή του αριθμού F_o , διαγράφεται μεγαλύτερη τροχιά άρα και το μήκος της τροχιάς της φλέβας είναι μεγαλύτερο. Όσο αυξάνεται ο αριθμός Froude η καμπύλωση της φλέβας είναι περισσότερο έντονη ενώ για μικρότερες τιμές, που προσεγγίζουν την περίπτωση τυρβώδους πλουμίου, η κατακορύφωση της φλέβας πραγματοποιείται σύντομα.

Στο Διάγραμμα 4.7 παρουσιάζεται το διάγραμμα της τροχιάς του άξονα της φλέβας σε αδιαστατοποιημένες συντεταγμένες (αδιαστατοποιημένες τροχιές). Η αδιαστατοποίηση πραγματοποιήθηκε ως προς τον αρχικό αριθμό Froude και τη διάμετρο εκροής

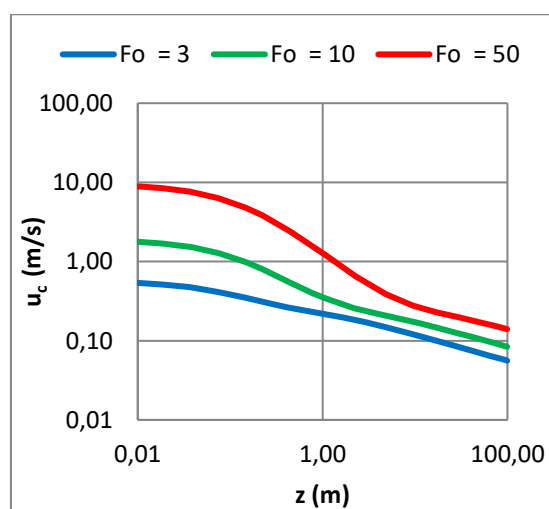
χρησιμοποιώντας τις σχέσεις $x^* = x/(d_o \cdot F_o)$ και $z^* = z/(d_o \cdot F_o)$. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συγκρίθηκαν με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα της βιβλιογραφίας του Kikkert (2006).



Διάγραμμα 4.7 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αδιαστατοποιημένων τροχιών με πειραματικά δεδομένα Kikkert (2006) για $\theta_o=30^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι τα πειραματικά δεδομένα του Kikkert (2006), για τις περιπτώσεις με πυκνομετρικό αριθμό $F_o=3$, παρουσιάζουν αποκλίσεις. Στις μεγαλύτερες τιμές του πυκνομετρικού αριθμού F_o τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συμπεριφέρονται καλύτερα ως προς τα συγκρινόμενα πειραματικά δεδομένα.

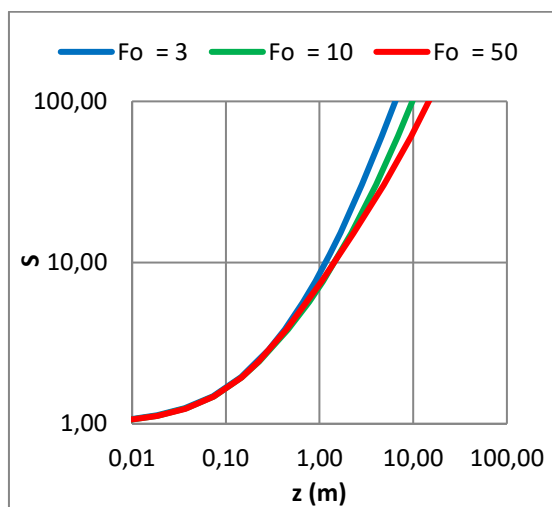
Στο Διάγραμμα 4.8 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της ανωστικής φλέβας για την περίπτωση $\theta_o=30^\circ$, εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_o=3, F_o=10$ και $F_o=50$.



Διάγραμμα 4.8 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=30^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας παρατηρούμε ότι καθώς η φλέβα απομακρύνεται από το ακροφύσιο η αξονική της ταχύτητα u_c ελαττώνεται και αυτό συμβαίνει για κάθε τιμή του F_o . Η ελάττωση της ταχύτητας είναι εντονότερη για $z < 3\text{m}$ (περίπου) και ακολουθεί λιγότερο έντονη μεταβολή η οποία είναι ίδια για κάθε περίπτωση πυκνομετρικού αριθμού F_o . Παρόμοια συμπεριφορά συναντάται και στις υπόλοιπες περιπτώσεις αρχικής γωνίας εκροής.

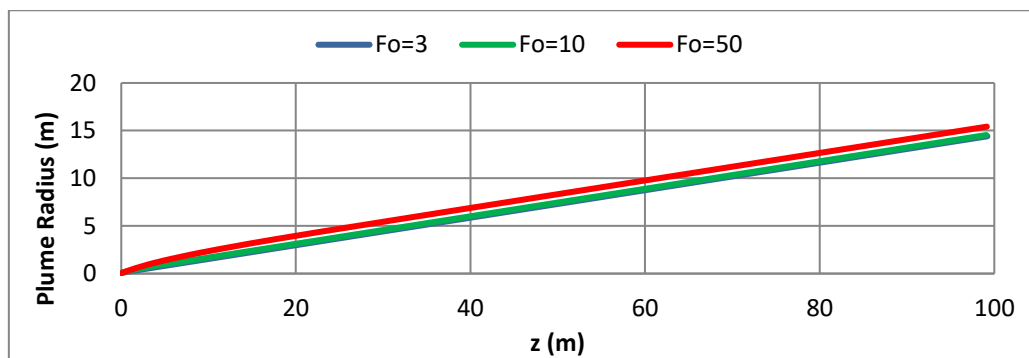
Στο Διάγραμμα 4.9 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_o=3$, $F_o=10$ και $F_o=50$, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4.9 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραίωσης για $\theta_o=30^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραίωσης παρατηρούμε ότι η μεταβολή της αραίωσης για $z < 1\text{m}$ δεν παρουσιάζει διαφορές μεταξύ των περιπτώσεων ενώ για $z > 1\text{m}$ επιτυγχάνονται μεγαλύτερες αραίώσεις για μικρές τιμές του πυκνομετρικού αριθμού F_o .

Στο Διάγραμμα 4.10 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (σε m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_o=3$, $F_o=10$ και $F_o=50$.



Διάγραμμα 4. 10 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3,10,50$ και $U_a=0\text{m/s}$.

Για μικρές τιμές F_0 όπου έχουμε περιπτώσεις καθαρού πλουμίου ή ανωστικής φλέβας, η μεταβολή της ακτίνας παρουσιάζει την ίδια μεταβολή ενώ παρουσιάζεται ελαφρά απόκλιση για τις περιπτώσεις φλεβών δίχως άνωση ($F_0=50$).

4.2.3 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=45^\circ$

Στους Πίνακες 4.8, 4.9 και 4.10 που ακολουθούν παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_0=45^\circ, U_a=0\text{ m/s}$ και $F_0=3,10,50$, αντιστοίχως.

Πίνακας 4.8 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=45^\circ, F_0=3$ και $U_a=0\text{ m/s}$.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	45
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.9 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=45^\circ, F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_0 (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_0 (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0 °	45
Αρχική παροχή*	Q_0 (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

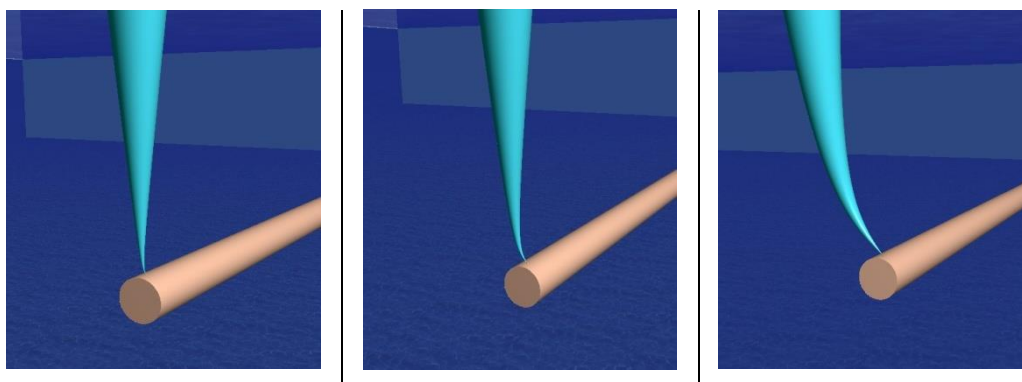
Πίνακας 4.10 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=45^\circ, F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_0 (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_0 (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0 °	45
Αρχική παροχή*	Q_0 (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

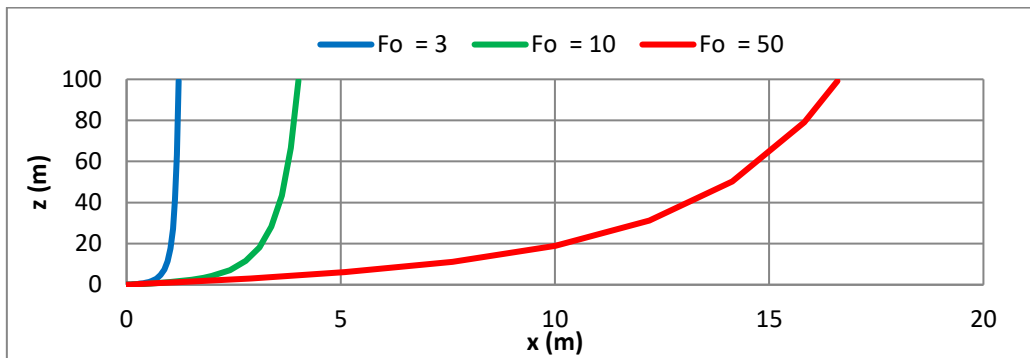
Στην Εικόνα 4.3 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής που σχηματίζεται από την εκροή φλέβας με αρχικό πυκνομετρικό αριθμό $F_0=3$, $F_0=10$ και $F_0=50$, αντιστοίχως.



(α) | (β) | (γ)

Εικόνα 4.3 Οπτική παράσταση πεδίου ροής φλέβας ($\theta_0=45^\circ$) σε ακίνητο αποδέκτη για (α) $F_0=3$, (β) $F_0=10$ και (γ) $F_0=50$

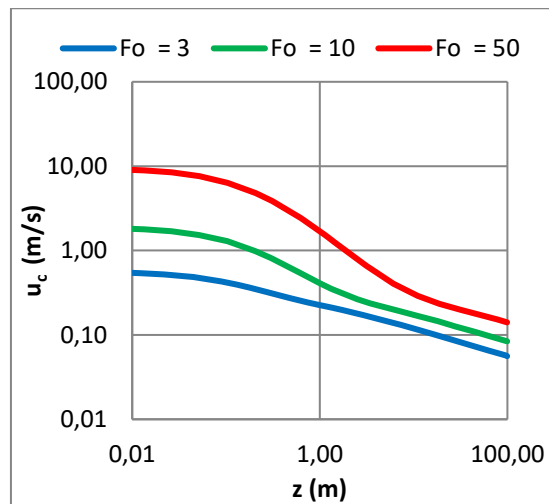
Στο Διάγραμμα 4.11 παρουσιάζονται οι συγκριτικές τιμές των τροχιών για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα 4.11 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο αρχικός αριθμός Froude F_0 , η φλέβα απομακρύνεται περισσότερο από το ακροφύσιο και αναδύεται αργότερα και σε μεγαλύτερη απόσταση από τη θέση εκροής. Συγκριτικά με τις προηγούμενες ανωστικές φλέβες που μελετήθηκαν, με γωνίες εκροής $\theta_0=0^\circ$ και $\theta_0=30^\circ$, παρατηρούμε ότι όσο μεγαλώνει η γωνία εκροής θ_0 η τιμή της απόστασης x μειώνεται. (για $F_0=50$ ισχύει: $\theta_0=0^\circ \leftrightarrow x \approx 27$, $\theta_0=30^\circ \leftrightarrow x \approx 21$)

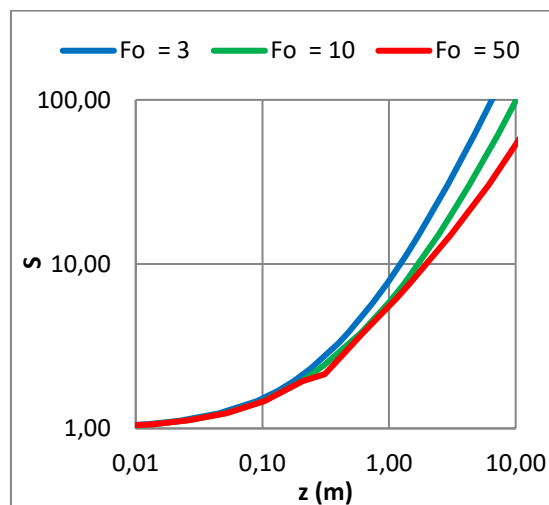
Στο Διάγραμμα 4.12 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_0=3$, $F_0=10$ και $F_0=50$.



Διάγραμμα 4. 12 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ$, $F_0= 3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Παρατηρούμε ότι όσο η φλέβα απομακρύνεται από το ακροφύσιο η αξονική της ταχύτητα u_c ελαττώνεται. Αυτό βλέπουμε να ισχύει για κάθε τιμή του F_0 που μελετήθηκε.

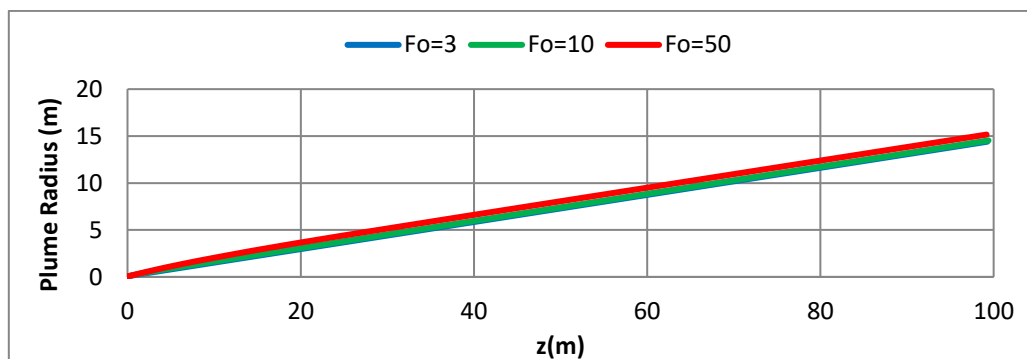
Στο Διάγραμμα 4.13 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_0=3$, $F_0=10$ και $F_0=50$, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4. 13 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραίωσης για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραίωσης παρατηρούμε ότι για $z < 0,10$ m δεν παρουσιάζονται διαφορές για τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν. Για $z > 0,10$ m επιτυγχάνονται μεγαλύτερες αραιώσεις για μικρές τιμές του πυκνομετρικού αριθμού F_0 .

Στο Διάγραμμα 4.14 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (σε m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_o=3$, $F_o=10$ και $F_o=50$.



Διάγραμμα 4. 14 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_o=45^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Για τις τιμές του F_o που μελετήθηκαν η μεταβολή της ακτίνας παρουσιάζει την ίδια μεταβολή ενώ παρουσιάζεται ελαφρά απόκλιση για τις περιπτώσεις φλεβών δίχως άνωση ($F_o=50$).

4.2.4 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_o=60^\circ$

Στους Πίνακες 4.11, 4.12 και 4.13 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_o=60^\circ$, $U_a=0$ m/s και $F_o=3,10,50$, αντιστοίχως.

Πίνακας 4.11 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=60^\circ$, $F_o=3$ και $U_a=0$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	60
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.12 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=60^\circ$, $F_o=10$ και $U_a=0$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1

Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	60
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

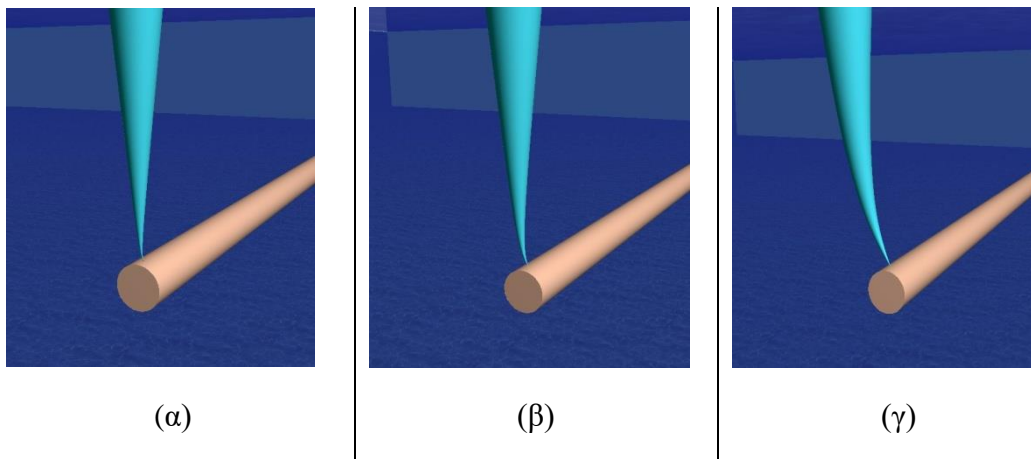
Πίνακας 4.13 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=60^\circ, F_o=50$ και $U_a=0$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	60
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

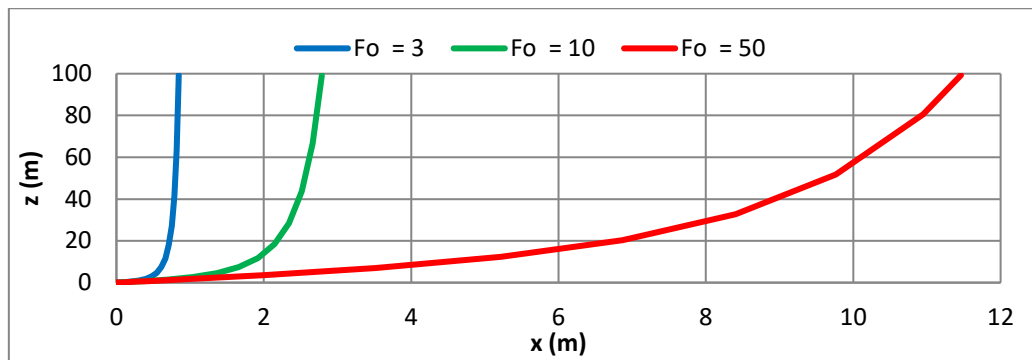
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.4 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής που σχηματίζεται από την εκροή φλέβας με αρχικό πυκνομετρικό αριθμό $F_o=3$, $F_o=10$ και $F_o=50$, αντιστοίχως.



Εικόνα 4.4 Οπτική παράσταση πεδίου ροής φλέβας ($\theta_o=60^\circ$) σε ακίνητο αποδέκτη για (α) $F_o=3$, (β) $F_o=10$ και (γ) $F_o=50$

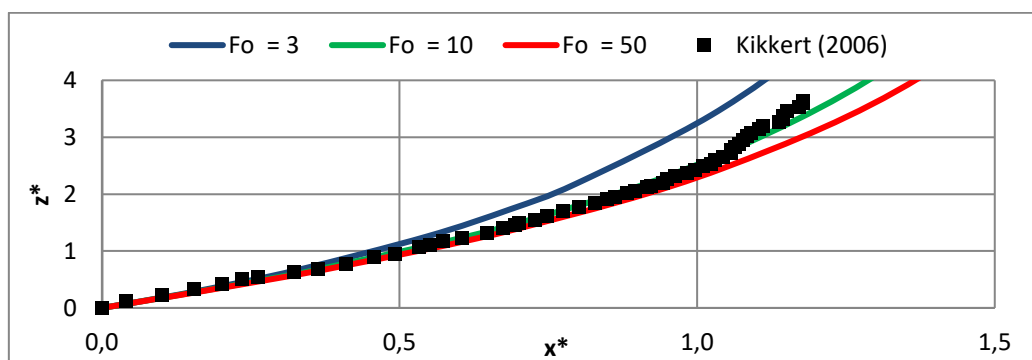
Στο Διάγραμμα 4.15 παρουσιάζονται οι συγκριτικές τιμές των τροχιών για $\theta_o=60^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα 4. 15 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται ο αρχικός αριθμός Froude F_0 , η φλέβα απομακρύνεται από το ακροφύσιο και αναδύεται αργότερα και σε μεγαλύτερη απόσταση από τη θέση εκροής. Ακόμα, συγκρίνοντας τα αντίστοιχα διαγράμματα από τις προηγούμενες προσομοιώσεις των ανωστικών φλεβών με γωνίες εκροής $\theta_0=0^\circ$, $\theta_0=30^\circ$ και $\theta_0=45^\circ$ παρατηρούμε ότι η απόσταση x της φλέβας, για κάθε τιμή του αριθμού Froude (F_0), μειώνεται όσο μεγαλώνει η γωνία εκροής. (για $F_0=50$ ισχύει: $\theta_0=0^\circ \leftrightarrow x \approx 27\text{m}$, $\theta_0=30^\circ \leftrightarrow x \approx 21\text{m}$, $\theta_0=45^\circ \leftrightarrow x \approx 17\text{m}$)

Στο Διάγραμμα 4.16 παρουσιάζεται το διάγραμμα της τροχιάς του άξονα της φλέβας σε αδιαστατοποιημένες συντεταγμένες (αδιαστατοποιημένες τροχιές). Η αδιαστατοποίηση πραγματοποιήθηκε ως προς τον αρχικό αριθμό Froude και τη διάμετρο εκροής χρησιμοποιώντας τις σχέσεις $x^*=x/(d_0 \cdot F_0)$ και $z^*=z/(d_0 \cdot F_0)$. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συγκρίθηκαν με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα της βιβλιογραφίας του Kikkert (2006).

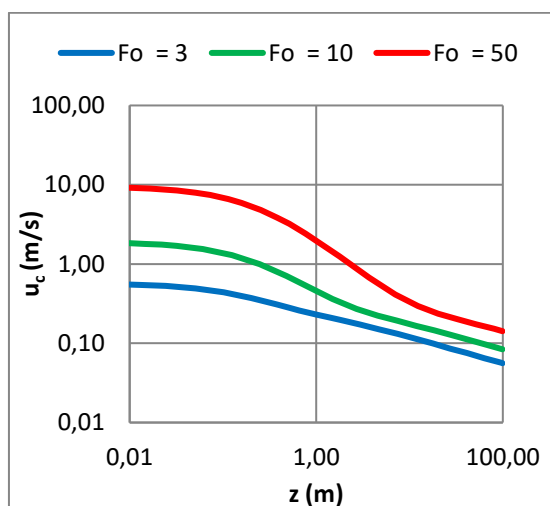


Διάγραμμα 4. 16 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αδιαστατοποιημένων τροχιών με πειραματικά δεδομένα Kikkert (2006) για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι τα πειραματικά δεδομένα του Kikkert (2006), για τις περιπτώσεις με πυκνομετρικό αριθμό $F_0=3$, παρουσιάζουν αποκλίσεις καθώς

μεγαλώνει η τιμή της απόστασης από το ακροφύσιο (για $z^* > 1$). Στις μεγαλύτερες τιμές του πυκνομετρικού αριθμού F_o τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συμπεριφέρονται καλύτερα ως προς τα συγκρινόμενα πειραματικά δεδομένα.

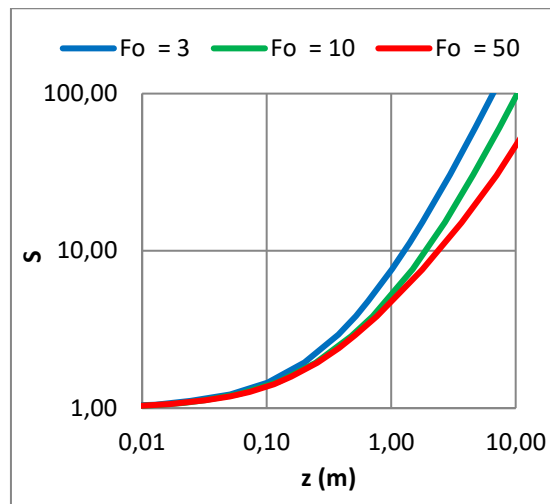
Στο Διάγραμμα 4.17 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_o=3$, $F_o=10$ και $F_o=50$.



Διάγραμμα 4. 17 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=60^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Στο παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας παρατηρούμε ομοιότητα συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα των ανωστικών φλεβών με γωνία εκροής $\theta_o=45^\circ$ που μελετήθηκε νωρίτερα καθώς και σε αυτή την γωνία εκροής ($\theta_o=60^\circ$) οι αρχικές τιμές των ταχυτήτων από το ακροφύσιο παραμένουν σταθερές.

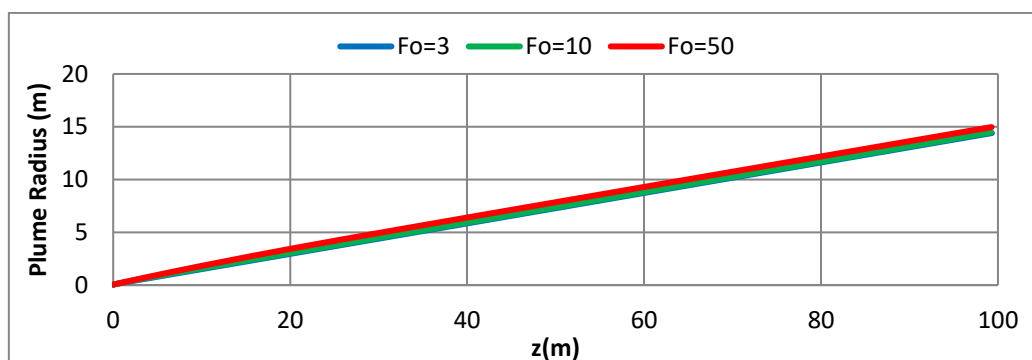
Στο Διάγραμμα 4.18 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_o=3$, $F_o=10$ και $F_o=50$, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4.18 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραίωσης για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3,10,50$ και $U_a=0\text{m/s}$.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραίωσης παρατηρούμε ότι η μεταβολή της αραίωσης για $z < 0,10\text{m}$ δεν παρουσιάζει διαφορές μεταξύ των περιπτώσεων που μελετήθηκαν ενώ για $z > 0,10\text{m}$ επιτυγχάνονται μεγαλύτερες αραίωσεως για μικρές τιμές του πυκνομετρικού αριθμού F_0 .

Στο Διάγραμμα 4.19 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (σε m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_0=3$, $F_0=10$ και $F_0=50$.



Διάγραμμα 4.19 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3,10,50$ και $U_a=0\text{m/s}$.

Παρατηρείται ότι για όλες τις τιμές F_0 η μεταβολή της ακτίνας έχει την ίδια μεταβολή ενώ η απόκλιση για τις περιπτώσεις φλεβών δίχως άνωση ($F_0=50$) που σχηματίζονται

στις προηγούμενες φλέβες εκροής με γωνίες $\theta_0=0^\circ$, $\theta_0=30^\circ$ και $\theta_0=45^\circ$ είναι σχεδόν ανύπαρκτη.

4.2.5 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=75^\circ$

Στους Πίνακες 4.14, 4.15 και 4.16 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_0=75^\circ$, $U_a=0$ m/s και $F_0=3,10,50$, αντιστοίχως.

Πίνακας 4.14 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=75^\circ, F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	75
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.15 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=75^\circ, F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	75
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.16 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=75^\circ, F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.

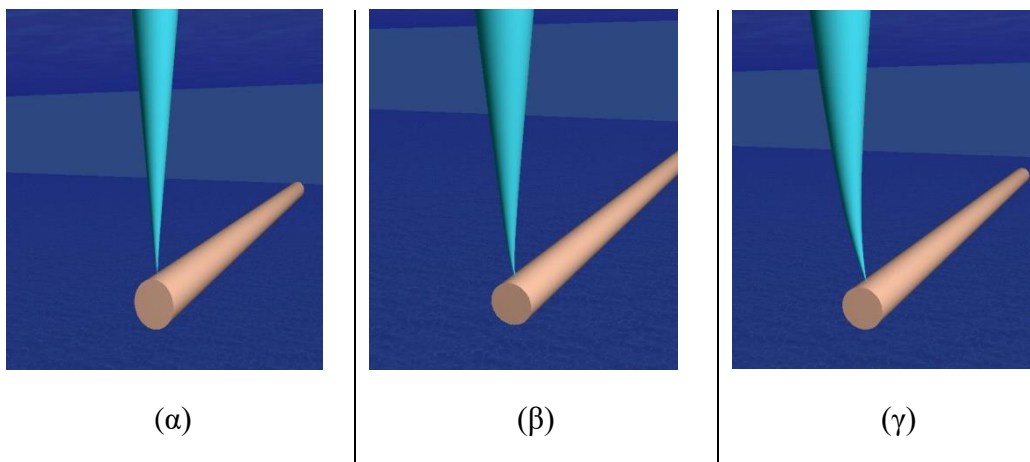
Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81

Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	75
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

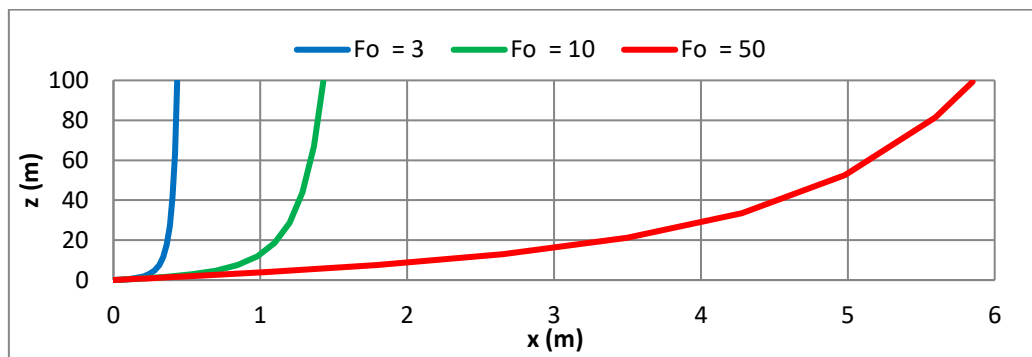
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.5 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής που σχηματίζεται από την εκροή φλέβας με αρχικό πυκνομετρικό αριθμό $F_o=3$, $F_o=10$ και $F_o=50$, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 5 Οπτική παράσταση πεδίου ροής φλέβας ($\theta_o=75^\circ$) σε ακίνητο αποδέκτη για (α) $F_o=3$, (β) $F_o=10$ και (γ) $F_o=50$

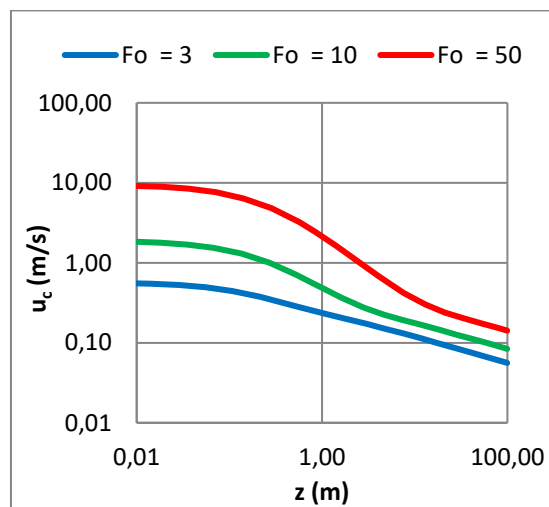
Στο Διάγραμμα 4.20 παρουσιάζονται οι συγκριτικές τιμές των τροχιών για $\theta_o=75^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα 4. 20 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=75^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Παρατηρείται ότι όσο η γωνία εκροής θ_0 μεγαλώνει, η απόσταση x από την θέση εκροής, για κάθε τιμή του αριθμού Froude (F_0), μικραίνει. Αυτό παρατηρήθηκε και στις γωνίες $\theta_0=0^\circ$, $\theta_0=30^\circ$, $\theta_0=45^\circ$ και $\theta_0=60^\circ$ που μελετήθηκαν νωρίτερα. Πιο συγκεκριμένα, για μεγάλες τιμές του πυκνομετρικού αριθμού F_0 ($F_0=50$) ισχύει ότι για την γωνία $\theta_0=0^\circ \leftrightarrow x \approx 27\text{m}$, για την γωνία $\theta_0=30^\circ \leftrightarrow x \approx 21\text{m}$, για την γωνία $\theta_0=45^\circ \leftrightarrow x \approx 17\text{m}$ και για την γωνία $\theta_0=60^\circ \leftrightarrow x \approx 11,5\text{m}$.

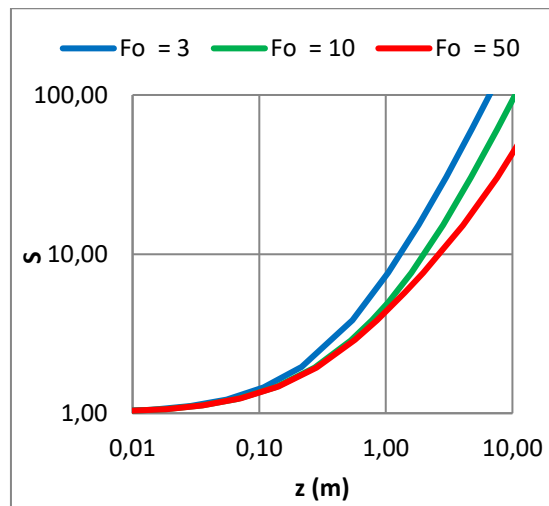
Στο Διάγραμμα 4.21 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_0=3$, $F_0=10$ και $F_0=50$.



Διάγραμμα 4. 21 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας παρατηρούμε ότι καθώς η φλέβα απομακρύνεται από το ακροφύσιο η αξονική της ταχύτητα u_c μειώνεται και αυτό συμβαίνει για κάθε τιμή του F_0 . Παρόμοια συμπεριφορά συναντάται και στις υπόλοιπες περιπτώσεις αρχικής γωνίας εκροής.

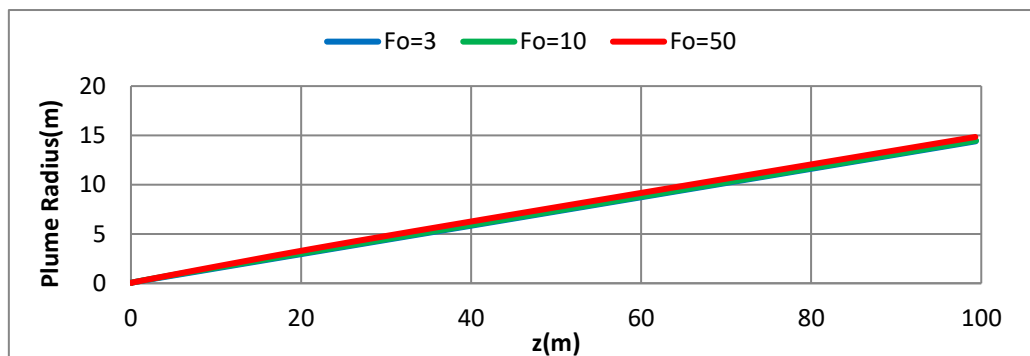
Στο Διάγραμμα 4.22 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_0=3$, $F_0=10$ και $F_0=50$, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4.22 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραίωσης για $\theta_0=75^\circ, F_0=3,10,50$ και $U_a=0\text{m/s}$.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η μεταβολή της αραίωσης από το ακροφύσιο είναι ίδια για κάθε τιμή του F_0 μέχρι το σημείο όπου $z=0,10\text{m}$. Συγκρίνοντας και τα αντίστοιχα διαγράμματα αξονικής αραίωσης S στις γωνίες $\theta_0=30^\circ, \theta_0=45^\circ$ και $\theta_0=60^\circ$ που μελετήθηκαν παρατηρούμε ότι υπάρχει ομοιότητα μεταξύ τους.

Στο Διάγραμμα 4.23 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (σε m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_0=3, F_0=10$ και $F_0=50$.



Διάγραμμα 4.23 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=75^\circ, F_0=3,10,50$ και $U_a=0\text{m/s}$.

Παρατηρούμε ότι η μεταβολή της ακτίνας, για κάθε τιμή του πυκνομετρικού αριθμού F_0 που μελετήθηκε, είναι ίδια και δεν υπάρχει μεγάλη απόκλιση όπως είχε εμφανιστεί στις γωνίες $\theta_0=0^\circ, \theta_0=30^\circ, \theta_0=45^\circ$ και $\theta_0=60^\circ$ που μελετήθηκαν παραπάνω.

4.2.6 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=90^\circ$

Στους Πίνακες 4.17, 4.18 και 4.19 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_0=90^\circ$, $U_a=0$ m/s και $F_0=3,10,50$, αντιστοίχως.

Πίνακας 4.17 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	90
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.18 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	90
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

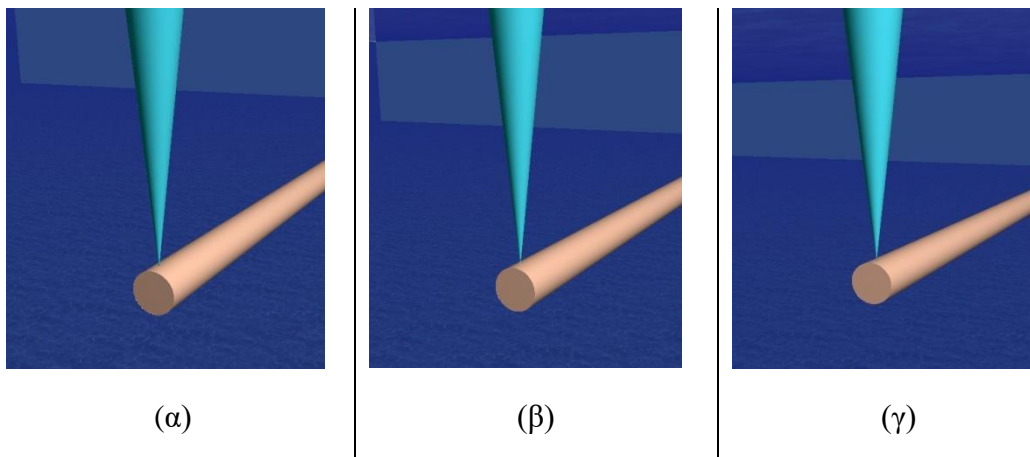
Πίνακας 4.19 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	90
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

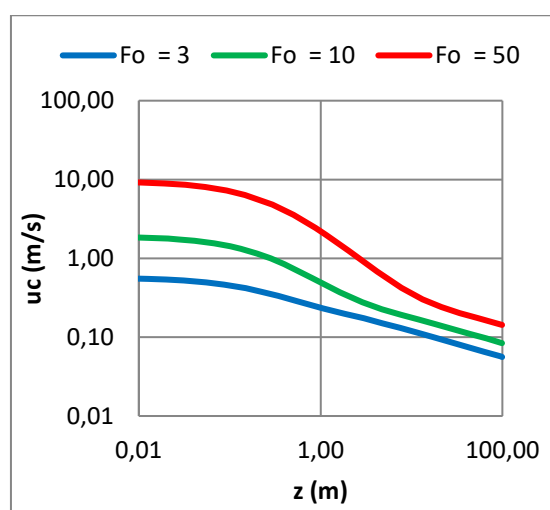
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.6 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής που σχηματίζεται από την εκροή κατακόρυφης φλέβας με αρχικό πυκνομετρικό αριθμό $F_o=3$, $F_o=10$ και $F_o=50$, αντιστοίχως.



Εικόνα 4.6 Οπτική παράσταση πεδίου ροής κατακόρυφης φλέβας ($\theta_o=90^\circ$) σε ακίνητο αποδέκτη για (α) $F_o=3$, (β) $F_o=10$ και (γ) $F_o=50$

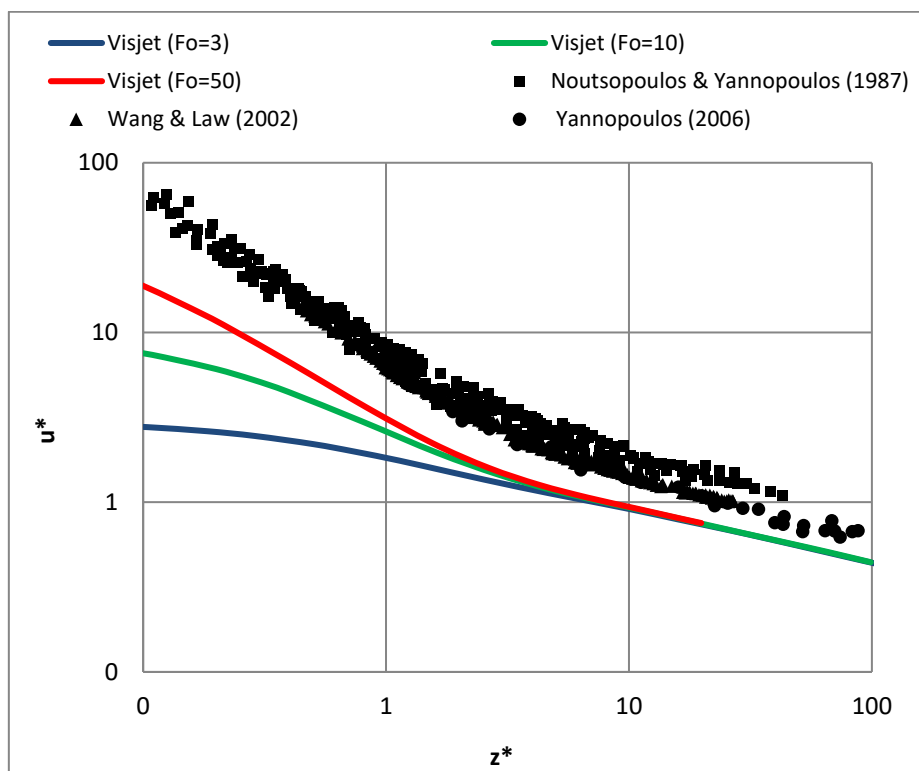
Στο Διάγραμμα 4.24 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της κατακόρυφης ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_o=3$, $F_o=10$ και $F_o=50$.



Διάγραμμα 4.24 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=90^\circ, F_o=3, 10, 50$ και $U_a=0$ m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας παρατηρούμε ότι καθώς η φλέβα απομακρύνεται από το ακροφύσιο η αξονική της ταχύτητα u_c ελαττώνεται και αυτό συμβαίνει για κάθε τιμή του F_o . Το συγκεκριμένο συγκριτικό διάγραμμα που έχει σχηματιστεί είναι παρόμοιο με αυτό των ανωστικών φλεβών με γωνίες εκτόξευσης $\theta_o=30^\circ$, $\theta_o=45^\circ$, $\theta_o=60^\circ$ και $\theta_o=75^\circ$ που μελετήθηκαν παραπάνω.

Στο Διάγραμμα 4.25 παρουσιάζεται η μεταβολή της αδιαστατοποιημένης ταχύτητας u^* συναρτήσει της αδιαστατοποιημένης κατακόρυφης απόστασης z^* , όπως προκύπτει από τη χρήση του μοντέλου VISJET για την περίπτωση κατακόρυφης ανωστικής φλέβας ($\theta_o=90^\circ$), με $F_o=3,10,50$ σε ακίνητο και ομογενή αποδέκτη. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα της διεθνούς βιβλιογραφίας των Wang & Law (2002), Yannopoulos & Noutsopoulos (1987) και Yannopoulos (2006).

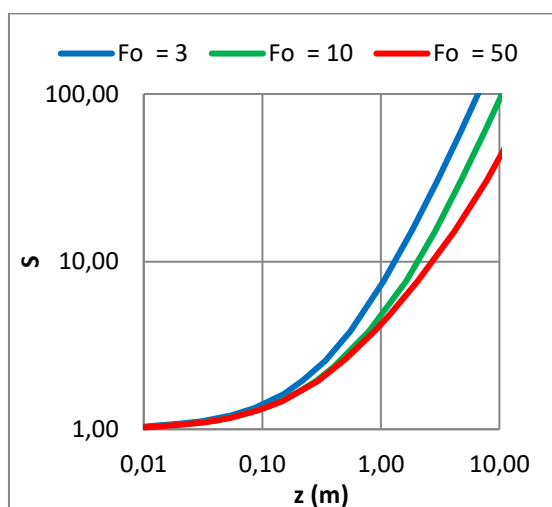


Διάγραμμα 4. 25 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αδιαστατοποιημένης ταχύτητας με πειραματικά δεδομένα Wang & Law (2002), Yannopoulos & Noutsopoulos (1987) και Yannopoulos (2006) για $\theta_o=90^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0\text{m/s}$.

Σε αυτό το διάγραμμα, παρατηρείται απόκλιση μεταξύ των πειραματικών και των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα, τα πειραματικά δεδομένα των Wang & Law (2002), Noutsopoulos & Yannopoulos (1987), και Yannopoulos (2006),

έχουν παρόμοια κατανομή μεταξύ τους, για κάθε τιμή του αριθμού Froude (F_o) η οποία είναι παράλληλα μετατοπισμένη ως προς τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Φαίνεται ότι το μοντέλο Visjet υποεκτιμά την κατανομή των ταχυτήτων σε σύγκριση με τα διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα.

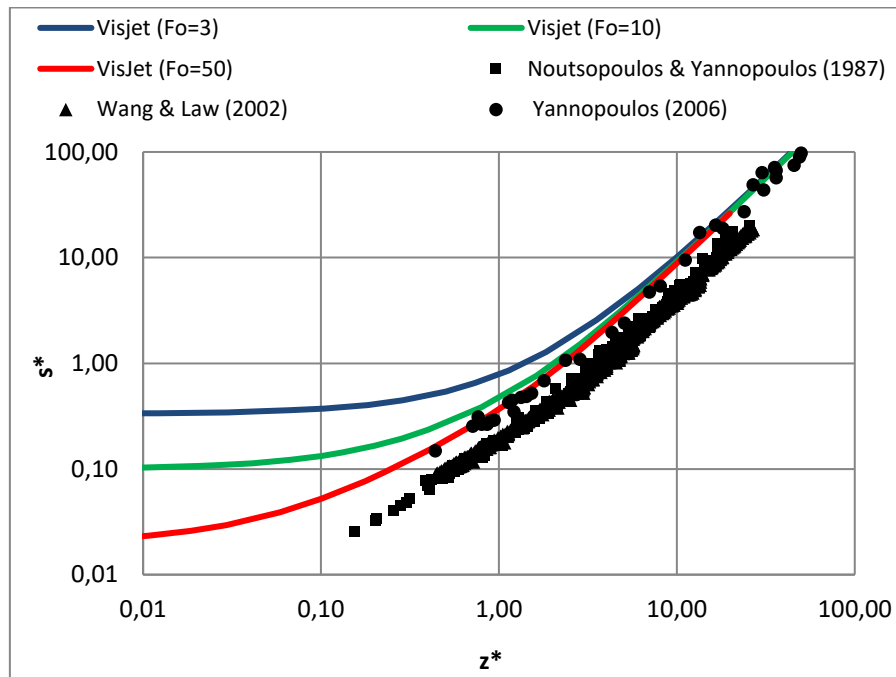
Στο Διάγραμμα 4.26 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της κατακόρυφης ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_o=3$, $F_o=10$ και $F_o=50$, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4. 26 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_o=90^\circ, F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραίωσης παρατηρούμε ότι η μεταβολή της αραίωσης για $z < 0,10$ m δεν παρουσιάζει διαφορές μεταξύ των περιπτώσεων ενώ για $z > 0,10$ m επιτυγχάνονται μεγαλύτερες αραιώσεις για μικρές τιμές του πυκνομετρικού αριθμού F_o . Αυτή η μεταβολή έχει παρατηρηθεί και στις ανωστικές φλέβες με γωνίες εκτόξευσης $\theta_o=30^\circ$, $\theta_o=45^\circ$, $\theta_o=60^\circ$ και $\theta_o=75^\circ$ που μελετήθηκαν παραπάνω.

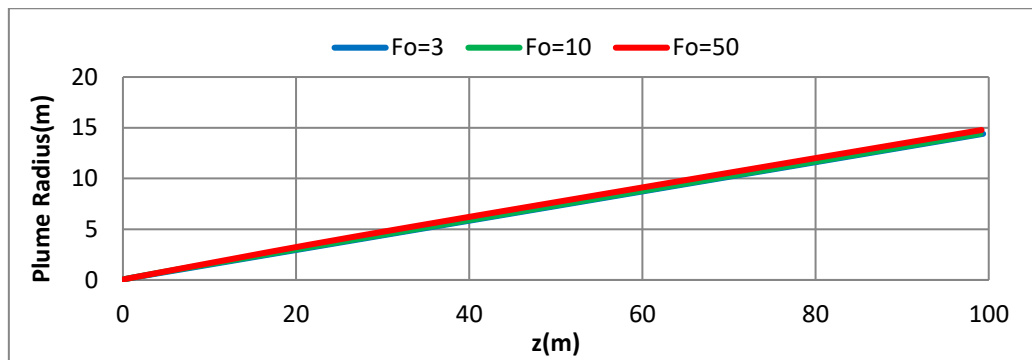
Στο Διάγραμμα 4.27 αδιαστατοποιημένης αραίωσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη χρήση του μοντέλου VISJET για την περίπτωση με $\theta_o=90^\circ$, $F_o=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s, και συγκρίνονται με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα της διεθνούς βιβλιογραφίας των Wang & Law (2002), Yannopoulos & Noutsopoulos (1987) και Yannopoulos (2006).



Διάγραμμα 4. 27 Συγκριτικό διάγραμμα αδιαστατοποιημένης αραίωσης με πειραματικά δεδομένα Wang & Law (2002), Yannopoulos & Noutsopoulos (1987) και Yannopoulos (2006) για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3,10,50$ και $U_a=0$ m/s.

Σε αυτό το διάγραμμα, της αδιαστατοποιημένης αραίωσης, παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποκλίνουν των πειραματικών δεδομένων των Noutsopoulos & Yannopoulos (1987) και Wang & Law (2002). Η συμπεριφορά των αποτελεσμάτων του VISJET ως προς τα πειραματικά αποτελέσματα του Yannopoulos (2006) είναι καλύτερη. Γενικά, προκύπτει μία ελαφρά υπερεκτίμηση των τιμών αραιώσεων που προκύπτουν από την προσομοίωση χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet, σε σύγκριση με τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα. Οι αποκλίσεις όμως δεν είναι τόσο έντονες όσο οι αντίστοιχες περιπτώσεις της κατανομής των ταχυτήτων.

Στο Διάγραμμα 4.28 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (σε m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και ακίνητου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $F_0=3$, $F_0=10$ και $F_0=50$.



Διάγραμμα 4. 28 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3,10,50$ και $U_a=0\text{m/s}$.

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας Plume radius συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z παρατηρούμε ότι για την γωνία εκτόξευσης $\theta_0=90^\circ$, για κάθε τιμή του πυκνομετρικού αριθμού F_0 , η μεταβολή της ακτίνας είναι ίδια. Δεν σχηματίζεται άνωση όπως στις περιπτώσεις με γωνία εκτόξευσης $\theta_0=0^\circ$, $\theta_0=30^\circ$ και $\theta_0=45^\circ$.

4.3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟ ΑΠΟΔΕΚΤΗ

Εξετάζονται οι περιπτώσεις όπου υπάρχει παρουσία ρεύματος. Εξετάσθηκαν τρεις διαφορετικές ταχύτητες ρεύματος, ήτοι $U_a=0,01\text{ m/s}$, $U_a=0,10\text{ m/s}$ και $U_a=0,25\text{ m/s}$. Αυτός ο ορισμός πραγματοποιείται στην καρτέλα του Σχήματος 4.1.

Στα επόμενα που ακολουθούν περιγράφονται τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των περιπτώσεων που αναλύθηκαν και συνοπτικά περιγράφονται στον ακόλουθο πίνακα. (Πίνακας 4.20)

Πίνακας 4.20 Συνοπτικός πίνακας περιπτώσεων που προσομοιώθηκαν για κινούμενο αποδέκτη.

Γωνία εκτόξευσης θ_0 ($^\circ$)	F_0	Ταχύτητα ρεύματος (m/s)
0°	3 , 10 , 50	0,01 0,10 0,25
30°		
45°		
60°		
75°		
90°		

4.3.1 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=0^\circ$

4.3.1.1 Προσομοιώσεις για $F_0=3$.

Στους Πίνακες 4.21, 4.22 και 4.23 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_0=0^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s αντιστοίχως.

Πίνακας 4.21 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	0
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.22 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,1
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	0
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.23 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

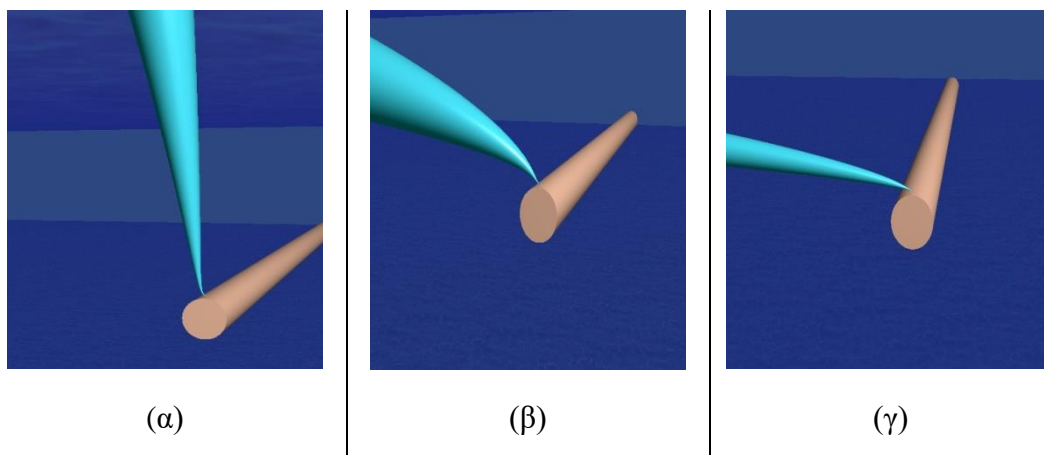
Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)

Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_0 (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_0 (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0 °	0
Αρχική παροχή*	Q_0 (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

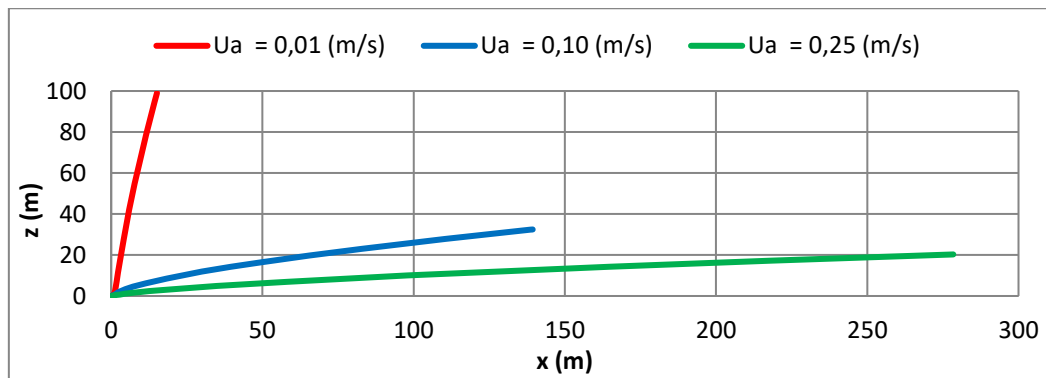
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.7 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της οριζόντιας φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 7 Οπτική παράσταση πεδίου ροής οριζόντιας φλέβας ($\theta_0=0^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

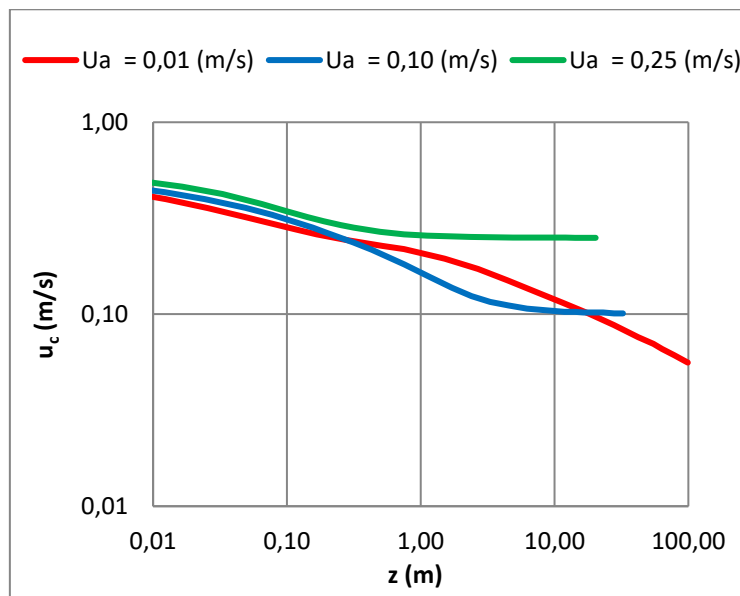
Στο Διάγραμμα 4.29 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.



Διάγραμμα 4. 29 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=0^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Στο Διάγραμμα 4.29, παρατηρήθηκε ότι για τη μικρότερη ταχύτητα του ρεύματος που μελετήθηκε ($U_a=0,01$ m/s) η φλέβα αναδύεται στην επιφάνεια ταχύτερα, όπως άλλωστε αναμενόταν, συγκριτικά με τις υπόλοιπες περιπτώσεις περιβάλλοντος ρεύματος. Για μεγαλύτερες τιμές ρεύματος U_a παρατηρείται ότι η τροχιά της φλέβας που σχηματίζεται έχει μεγαλύτερο μήκος με συνέπεια η φλέβα να αναδύεται αργότερα.

Στο Διάγραμμα 4.30 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της οριζόντιας ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.

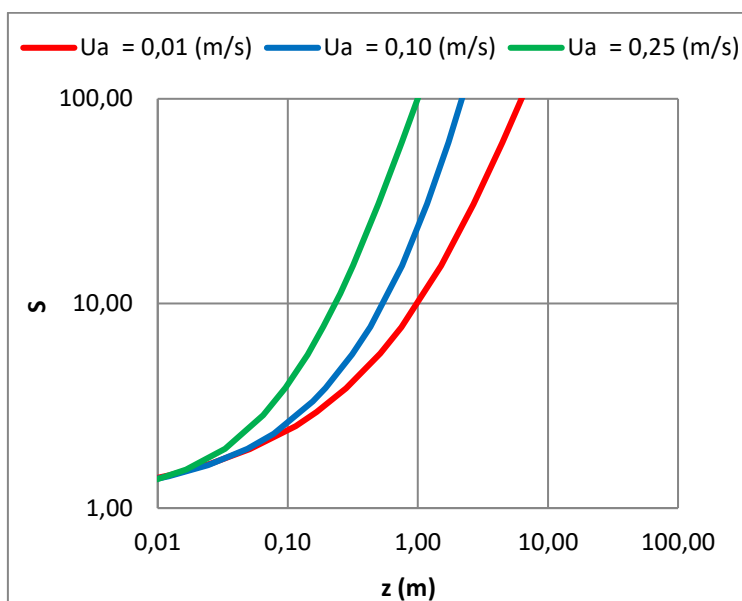


Διάγραμμα 4. 30 Διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Παρατηρείται ότι ανεξαρτήτως της ταχύτητας του ρεύματος, για κατακόρυφες αποστάσεις μικρότερες από $0,50$ m, περίπου, η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας είναι περίπου η ίδια ενώ στη συνέχεια μεταβάλλεται με λιγότερο έντονο ρυθμό

καταλήγοντας στην ταχύτητα του ρεύματος. Επίσης, η συνολική κατανομή παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με την αντίστοιχη περίπτωση σε ακίνητο περιβάλλον ρευστό.

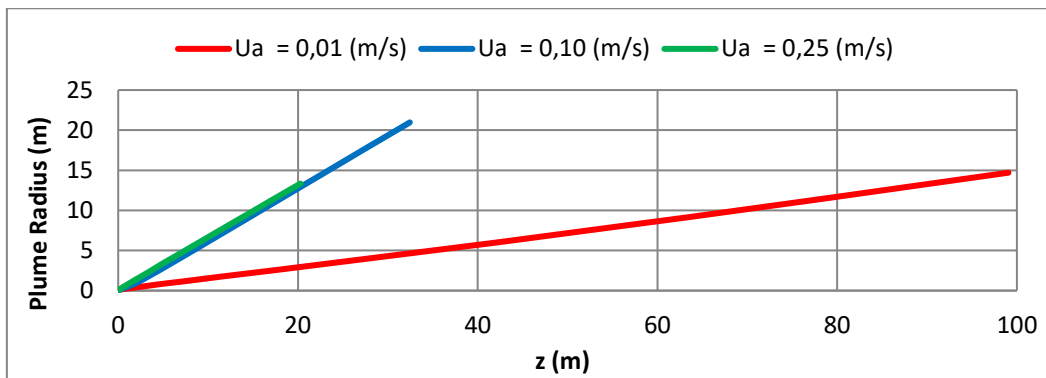
Στο Διάγραμμα 4.31 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της οριζόντιας ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4. 31 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_o=0^\circ$, $F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Για ένα διάστημα το οποίο βρίσκεται κοντά στο ακροφύσιο εξόδου η μεταβολή της αραίωσης είναι ανεξάρτητη της ταχύτητας του περιβάλλοντος ρευστού. Στη συνέχεια, οι κατανομές είναι διαφορετικές μεταξύ τους. Μεγαλύτερα επίπεδα αραίωσης επιτυγχάνονται για μεγάλες τιμές ταχύτητας του περιβάλλοντος ρεύματος.

Στο Διάγραμμα 4.32 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (σε m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 32 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι για μεγάλες ταχύτητες ρεύματος U_a η μεταβολή της ακτίνας της φλέβας είναι η μικρότερη από κάθε άλλη τιμή ταχύτητας ρεύματος U_a που έχει μελετηθεί.

4.3.1.2 Προσομοιώσεις για $F_0=10$.

Στους Πίνακες 4.24, 4.25 και 4.26 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_0=0^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s και 0,25 m/s αντιστοίχως.

Πίνακας 4.24 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_0 (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_0 (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	0
Αρχική παροχή*	Q_0 (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.25 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή

Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,10
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o °	0
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

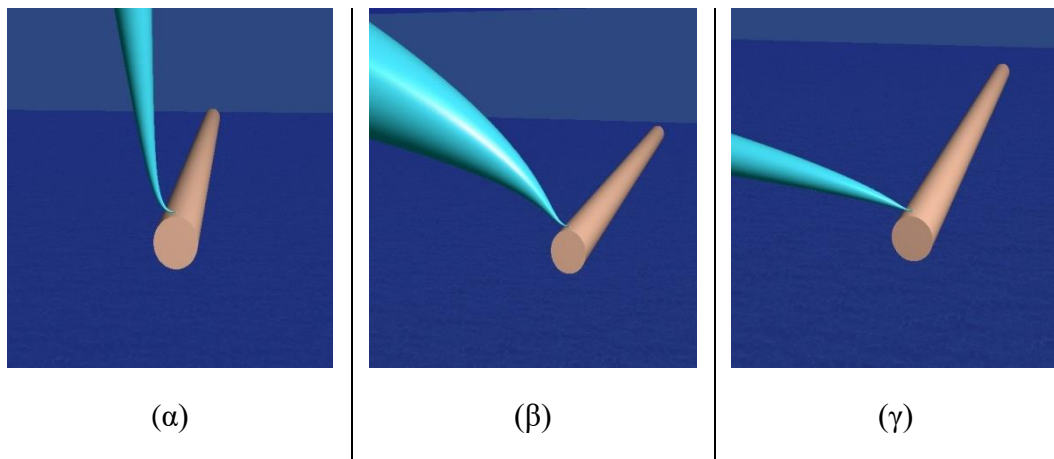
Πίνακας 4.26 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=0^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o °	0
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

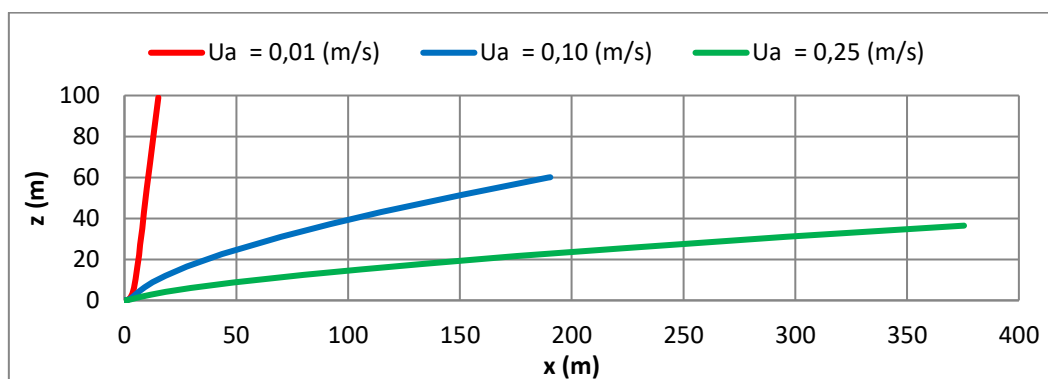
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.8 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της οριζόντιας φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 8 Οπτική παράσταση πεδίου ροής οριζόντιας φλέβας ($\theta_0=0^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

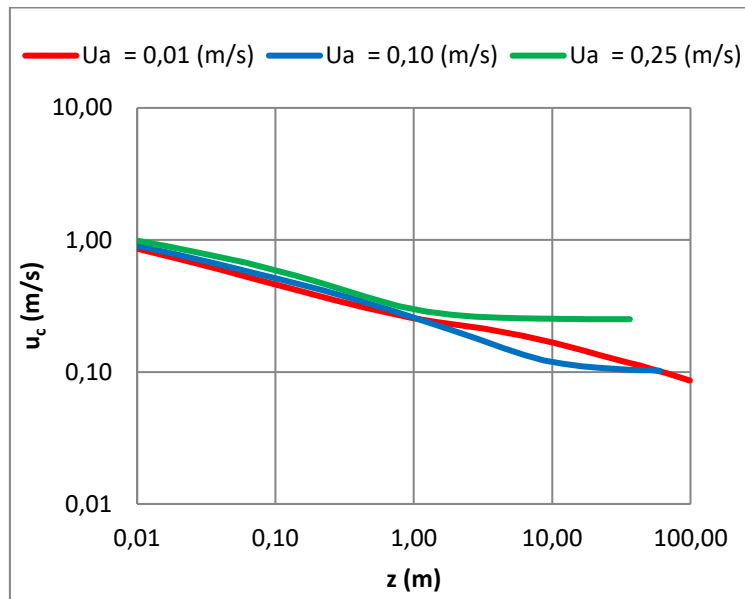
Στο Διάγραμμα 4.33 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.



Διάγραμμα 4. 33 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=0^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Παρατηρείται ότι όσο πιο μικρή είναι η τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a , η φλέβα αναδύεται στην επιφάνεια ταχύτερα, όπως άλλωστε αναμενόταν, συγκριτικά με τις υπόλοιπες περιπτώσεις περιβάλλοντος ρεύματος. Ακόμα συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα τροχιάς που μελετήθηκε προηγουμένως με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_0=3$) παρατηρείται αύξηση των τιμών της απόστασης x που αφορούν την μέση και την μεγάλη ταχύτητα ρεύματος που μελετήθηκαν.

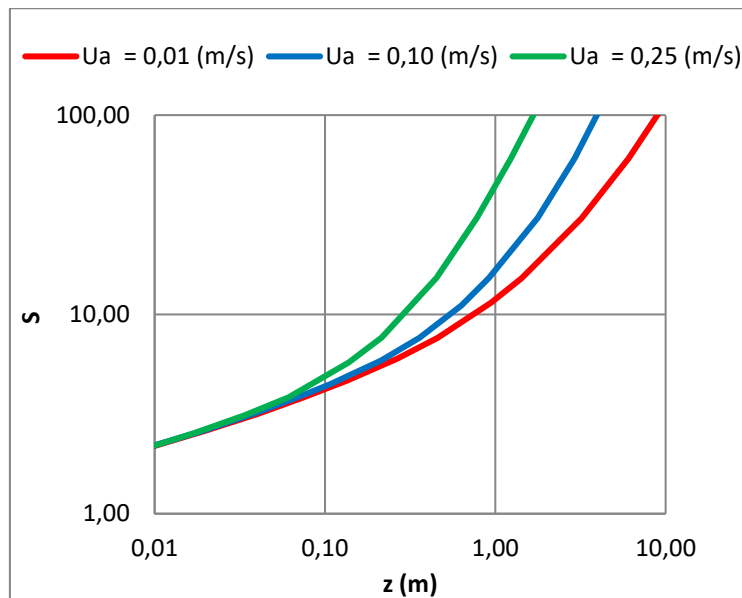
Στο Διάγραμμα 4.34 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της οριζόντιας ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 34 Διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01 \text{ m/s}, 0,10 \text{ m/s}, 0,25 \text{ m/s}$.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι μέχρι το σημείο $z=1\text{m}$ η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c για όλες τις ταχύτητες του ρεύματος U_a που μελετήθηκαν είναι περίπου η ίδια. Μετά το πέρας αυτής της απόστασης μεταβάλλεται με λιγότερο έντονο ρυθμό καταλήγοντας στην ταχύτητα του ρεύματος. Ακόμα συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_0=3$) που μελετήθηκε προηγουμένως παρατηρείται αύξηση τιμής της αρχικής αξονικής ταχύτητας u_c .

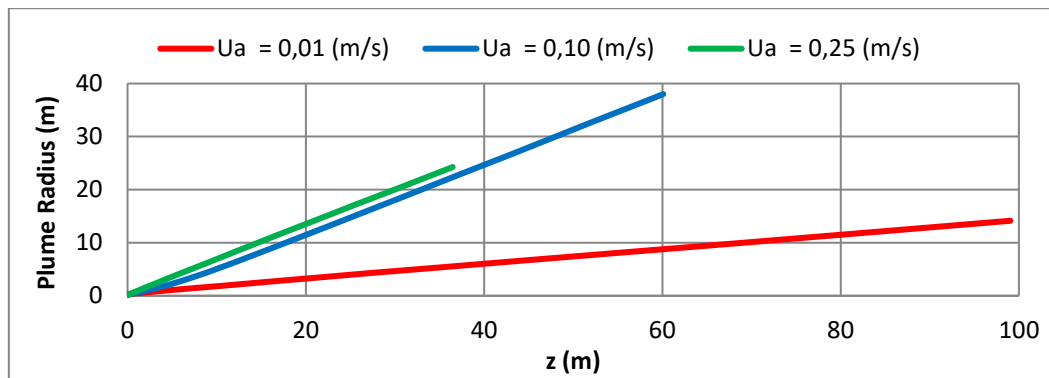
Στο Διάγραμμα 4.35 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της οριζόντιας ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01 \text{ m/s}$, $U_a=0,10 \text{ m/s}$ και $U_a=0,25 \text{ m/s}$, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4. 35 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=0^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Όπως και στο αντίστοιχο διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραίωσης S με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_0=3$) που μελετήθηκε προηγουμένως έτσι και εδώ ισχύει ότι, για ένα διάστημα το οποίο βρίσκεται κοντά στο ακροφύσιο εκροής η μεταβολή της αραίωσης δεν επηρεάζεται από την ταχύτητα του περιβάλλοντος ρευστού. Αν κάνουμε σύγκριση αυτών των δυο διαγραμμάτων παρατηρούμε αύξηση της τελικής τιμής της απόστασης z από το ακροφύσιο που μπορεί να φτάσει η φλέβα για κάθε ταχύτητα του περιβάλλοντος ρευστού που μελετήθηκε. Για παράδειγμα, για μικρές τιμές ρεύματος U_a η τελική τιμή της απόστασης z που μπορεί να φτάσει η φλέβα είναι $z = 10\text{m}$ ενώ στο προηγούμενο διάγραμμα ήταν $z < 10\text{m}$.

Στο Διάγραμμα 4.36 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (σε m) της ανωστικής φλέβας, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (σε m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 36 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=0^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01 \text{ m/s}, 0,10 \text{ m/s}, 0,25 \text{ m/s}$.

Παρατηρούμε ότι για μεσαίες τιμές ταχύτητας ρεύματος U_a η μεταβολή της ακτίνας της ανωστικής φλέβας είναι η μεγαλύτερη αλλά δεν φτάνει στην επιφάνεια όπως γίνεται με την μικρότερη ταχύτητα του ρεύματος U_a . Συγκριτικά και με το προηγούμενο διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 που μελετήθηκε υπάρχει αύξηση των τιμών των μεγεθών του.

4.3.1.3 Προσομοιώσεις για $F_0=50$.

Στους Πίνακες 4.27, 4.28 και 4.29 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_0=0^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01 \text{ m/s}, 0,10 \text{ m/s}$ και $0,25 \text{ m/s}$, αντιστοίχως.

Πίνακας 4.27 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=50$ και $U_a =0,01 \text{ m/s}$.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	$\rho_a \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	$\rho_o \text{ (kg/m}^3\text{)}$	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	$g \text{ (m/s}^2\text{)}$	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	$d_o \text{ (m)}$	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	$U_a \text{ (m/s)}$	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	0
Αρχική παροχή*	$Q_o \text{ (m}^3\text{/s)}$	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.28 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,10
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	0
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

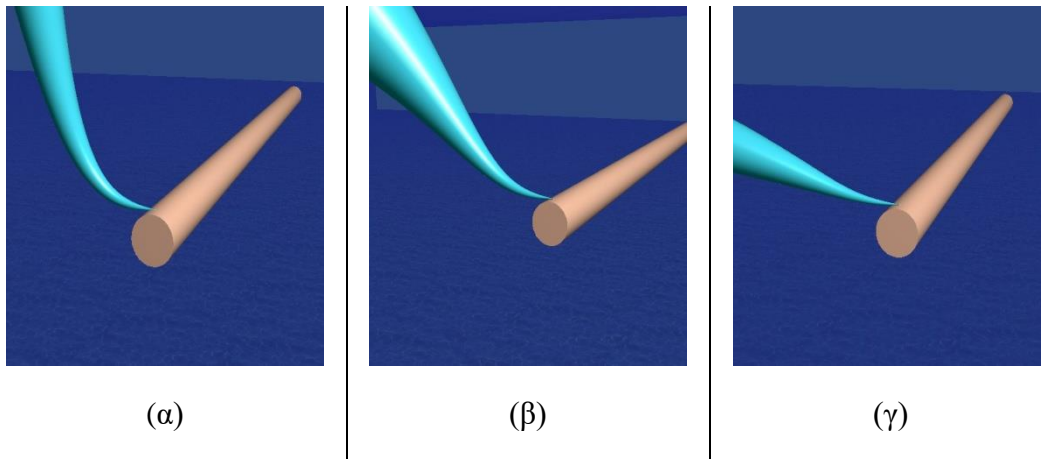
Πίνακας 4.29 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	0
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

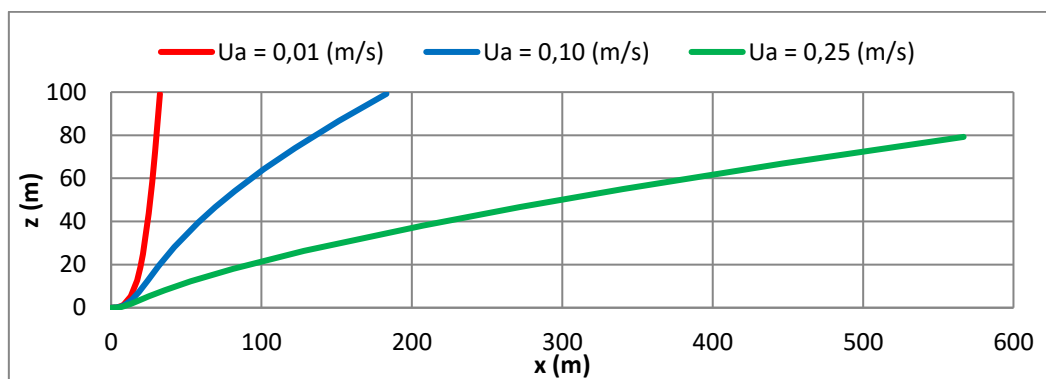
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.9 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της οριζόντιας φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 9 Οπτική παράσταση πεδίου ροής οριζόντιας φλέβας ($\theta_0=0^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

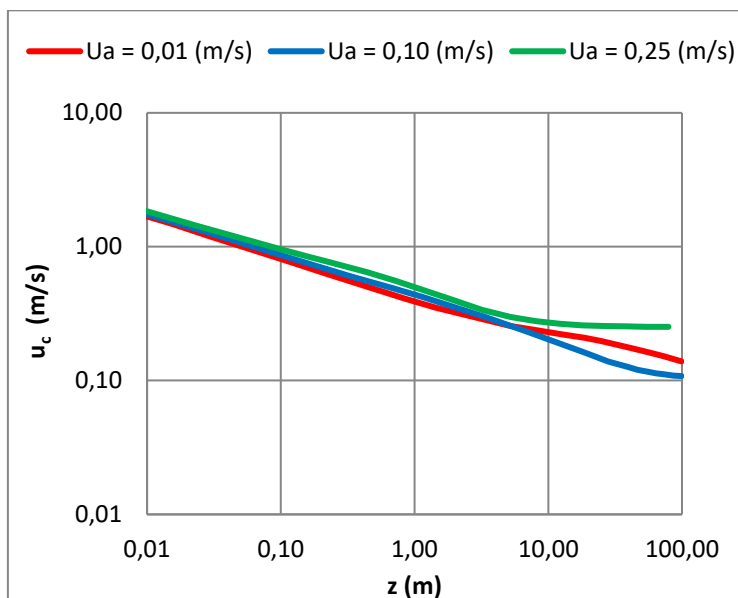
Στο Διάγραμμα 4.37 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.



Διάγραμμα 4. 37 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=0^\circ$, $F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρούμε ότι για μικρές τιμές ταχύτητας του ρεύματος η ανάδυση της φλέβας είναι άμεση. Για μεσαίες τιμές της ταχύτητας του ρεύματος της φλέβας η ανάδυση είναι πιο αργή ενώ για μεγάλες τιμές ρεύματος η ανάδυση δεν ολοκληρώνεται πλήρως. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα τροχιάς της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_o=3$, $F_o=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως παρατηρούμε μεγάλη διαφορά καθώς οι τιμές των μεγεθών έχουν σχεδόν διπλασιαστεί.

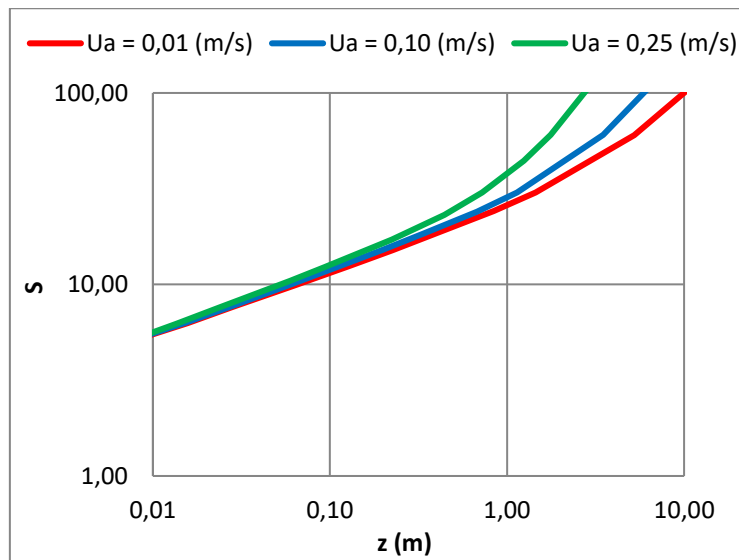
Στο Διάγραμμα 4.38 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της οριζόντιας ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 38 Διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=0^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα παρατηρούμε ότι μέχρι την απόσταση $z=10$ m (περίπου) η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c είναι σχεδόν ίδια. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό $Froude$ 3 και 10 ($F_o=3, F_o=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως παρατηρούμε αύξηση στην τιμή της αρχικής αξονικής ταχύτητας u_c ($F_o=3, u_c < 1$ και $F_o=10, u_c = 1$) και αύξηση και στην τιμή της απόστασης z από το ακροφύσιο όπου η φλέβα παραμένει σταθερή. ($F_o=3, z=0,1$ m και $F_o=10, z=1$ m).

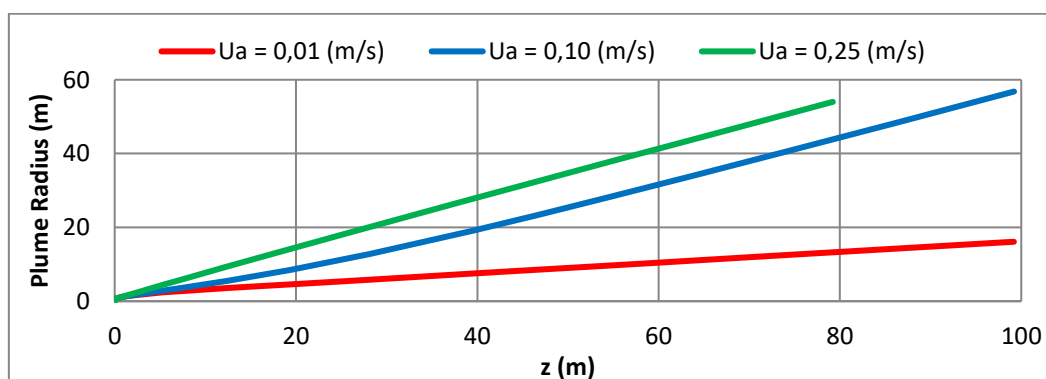
Στο Διάγραμμα 4.39 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της οριζόντιας ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s , αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4. 39 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=0^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Παρατηρείται ότι μέχρι την απόσταση $z=0,10$ m η αραίωση S παραμένει σταθερή και δεν επηρεάζεται από την ταχύτητα του ρεύματος. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα μεταβολής της αραίωσης της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_0=3, F_0=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως παρατηρούμε μια αύξηση της τιμής της αρχικής αραίωσης από το ακροφύσιο. Στην περίπτωση με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 η αραίωση έχει τιμή $S \approx 2$, ενώ στην περίπτωση με πυκνομετρικό αριθμό Froude 10 η αραίωση έχει τιμή $S \approx 4$.

Στο Διάγραμμα 4.40 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (σε m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 40 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=0^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Στο παραπάνω διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας της φλέβας παρατηρούμε μεγάλη διαφορά συγκριτικά με τα άλλα δυο διαγράμματα με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_o=3$, $F_o=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι όσο μεγαλώνει η τιμή του πυκνομετρικού αριθμού Froude μεγαλώνει και η τιμή της μεταβολής της ακτίνας.

4.3.2 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_o=30^\circ$

4.3.2.1 Προσομοιώσεις για $F_o=3$.

Στους Πίνακες 4.30, 4.31 και 4.32 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_o=30^\circ$, $F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s και 0,25 m/s αντιστοίχως.

Πίνακας 4.30 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=30^\circ$, $F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	30
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.31 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=30^\circ$, $F_o=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,1
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	30
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

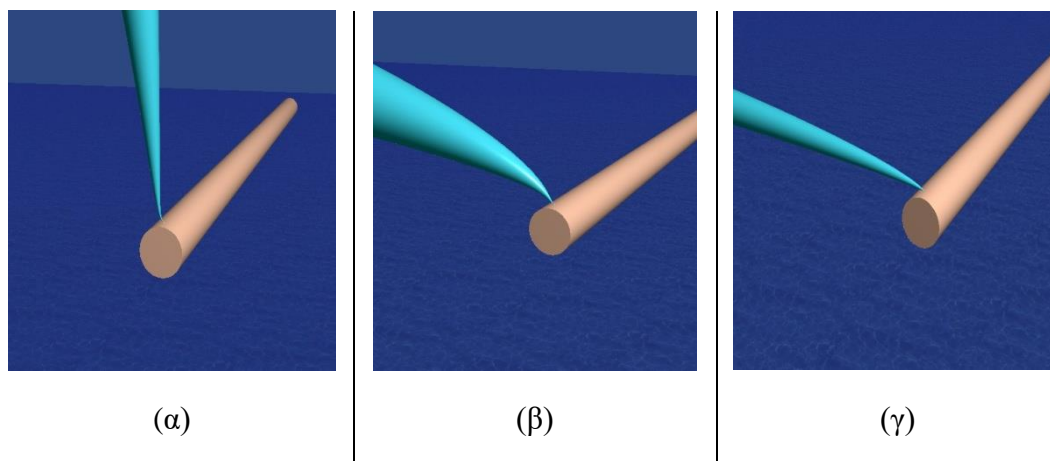
Πίνακας 4.32 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=30^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	30
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

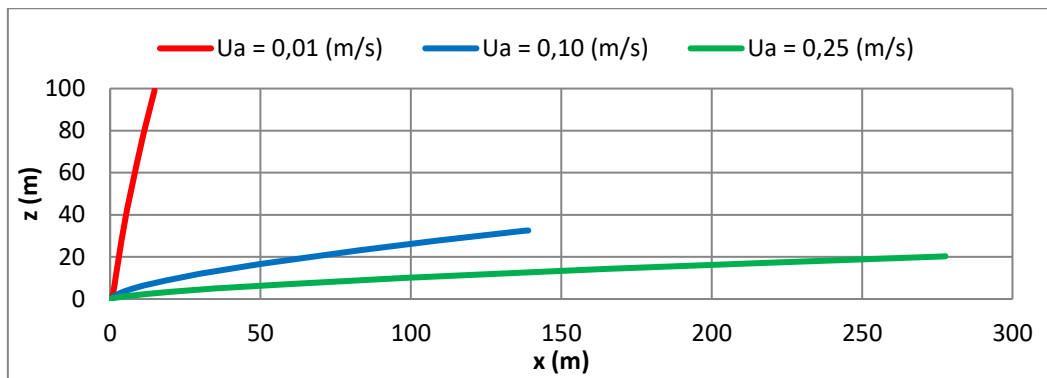
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.10 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 10 Οπτική παράσταση πεδίου ροής φλέβας ($\theta_0=30^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

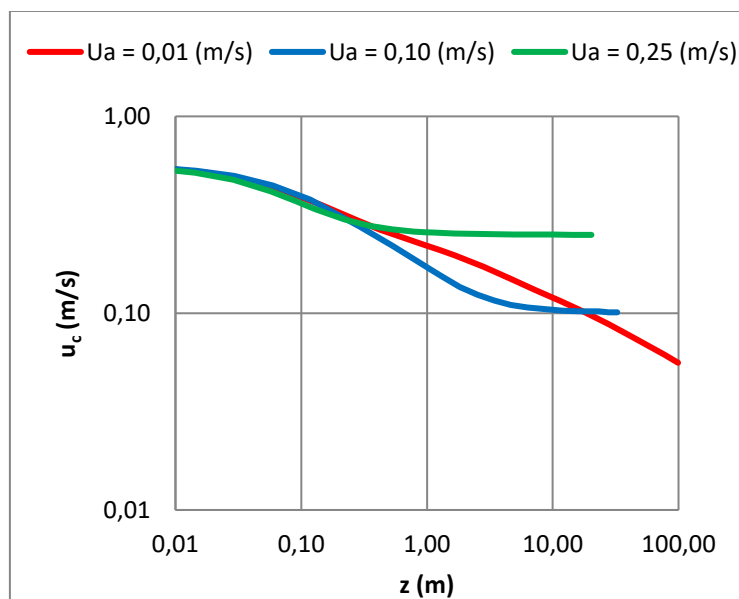
Στο Διάγραμμα 4.41 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.



Διάγραμμα 4. 41 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=30^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα ότι για τη μικρότερη ταχύτητα του ρεύματος που μελετήθηκε ($U_a=0,01$ m/s) η φλέβα αναδύεται στην επιφάνεια γρήγορα συγκριτικά με τις υπόλοιπες ταχύτητες του ρεύματος. Για μεγαλύτερες τιμές ρεύματος U_a παρατηρείται ότι η τροχιά της φλέβας που σχηματίζεται έχει μεγαλύτερο μήκος με συνέπεια η φλέβα να αναδύεται αργότερα.

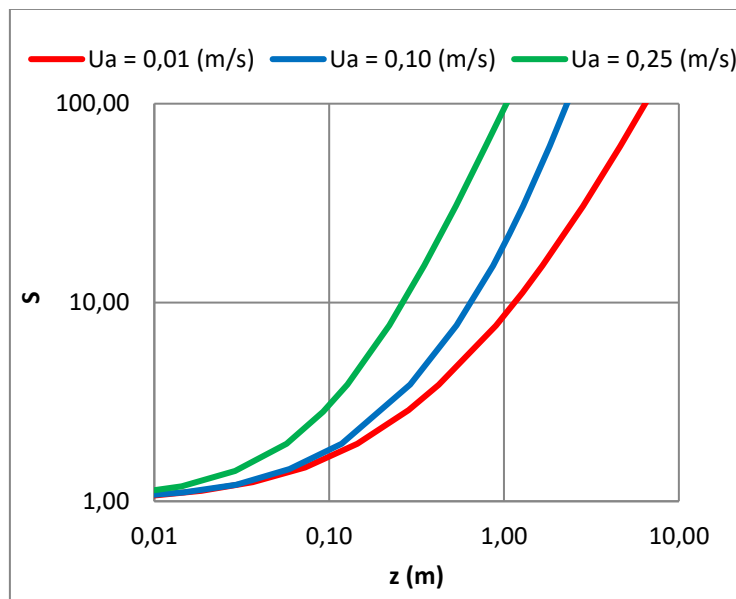
Στο Διάγραμμα 4.42 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 42 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Παρατηρείται ότι μέχρι την απόσταση $z=0,40\text{m}$ η αξονική ταχύτητα u_c παραμένει σταθερή και για τις τρεις ταχύτητες του περιβάλλοντος ρευστού που μελετήθηκαν. Όταν όμως η φλέβα απομακρυνθεί από το ακροφύσιο η αξονική ταχύτητα u_c μειώνεται και στην συνέχεια καταλήγει στην τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a .

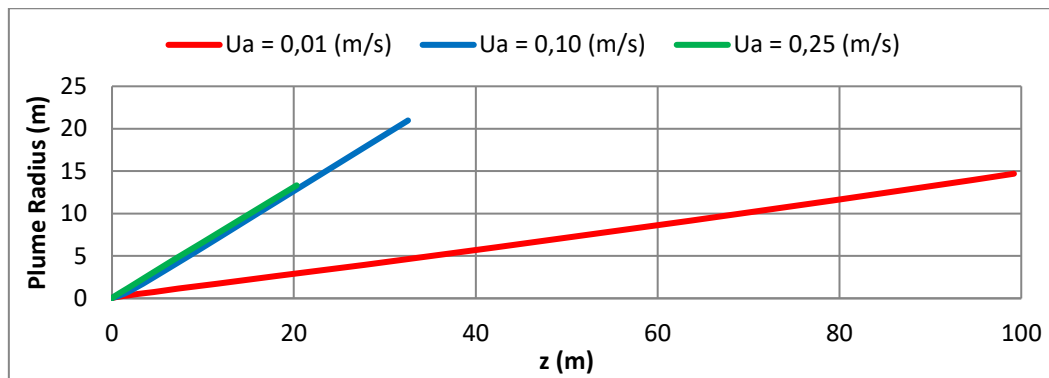
Στο Διάγραμμα 4.43 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4. 43 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=30^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Παρατηρείται ότι στην περιοχή κοντά στο ακροφύσιο εκροής επιτυγχάνονται μεγαλύτερα επίπεδα αραιώσεων για μεγάλες τιμές ταχύτητας ρεύματος. Ακόμα για ένα μικρό διάστημα κοντά στο ακροφύσιο η μεταβολή της αραιώσης δεν μεταβάλλεται από την ταχύτητα ρεύματος U_a . Μετά από αυτό το διάστημα οι κατανομές αποκτούν διαφορετική τροχιά και είναι ανεξάρτητες.

Στο Διάγραμμα 4.44 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 44 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=30^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01 \text{ m/s}, 0,10 \text{ m/s}, 0,25 \text{ m/s}$.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας παρατηρούμε ότι για μικρές ταχύτητες ρεύματος U_a η μεταβολή της ακτίνας της φλέβας είναι μικρή αλλά η απόσταση z που διανύει από το ακροφύσιο είναι μεγάλη και έτσι αναδύεται στην επιφάνεια. Αντίθετα για μεγάλες και μεσαίες ταχύτητες ρεύματος U_a της φλέβας η μεταβολή είναι παρόμοια όμως η φλέβα δεν φτάνει στην επιφάνεια.

4.3.2.2 Προσομοιώσεις για $F_0=10$.

Στους Πίνακες 4.33, 4.34 και 4.35 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_0=30^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01 \text{ m/s}, 0,10 \text{ m/s}$ και $0,25 \text{ m/s}$ αντιστοίχως.

Πίνακας 4.33 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=30^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01 \text{ m/s}$.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	$\rho_a \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	$\rho_o \text{ (kg/m}^3\text{)}$	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	$g \text{ (m/s}^2\text{)}$	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	$d_o \text{ (m)}$	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	$U_a \text{ (m/s)}$	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	30
Αρχική παροχή*	$Q_o \text{ (m}^3\text{/s)}$	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.34 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=30^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,10
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	30
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

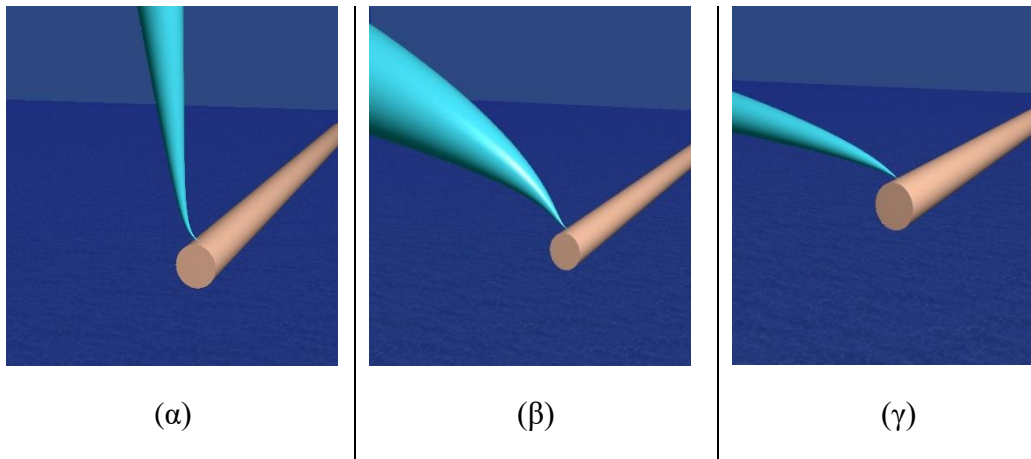
Πίνακας 4.35 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=30^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	30
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

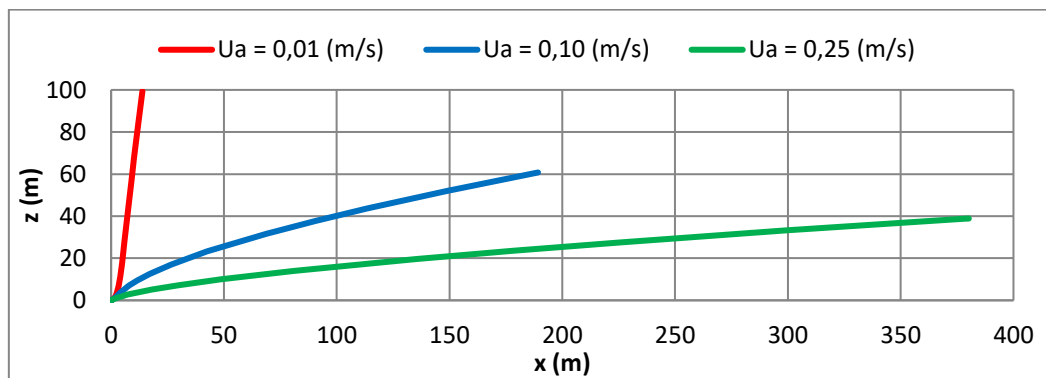
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.11 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 11 Οπτική παράσταση πεδίου ροής φλέβας ($\theta_o=30^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

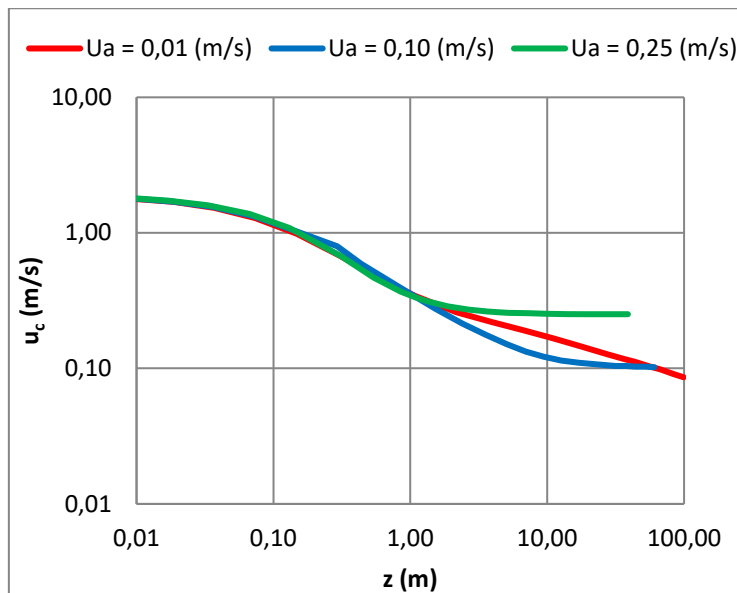
Στο Διάγραμμα 4.45 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.



Διάγραμμα 4. 45 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=30^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι όσο πιο μικρή είναι η τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a , η φλέβα αναδύεται πιο γρήγορα. Ακόμα συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα τροχιάς που μελετήθηκε προηγουμένως με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_o=3$) παρατηρείται αύξηση των τιμών της τροχιάς για τις τιμές ρεύματος $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.

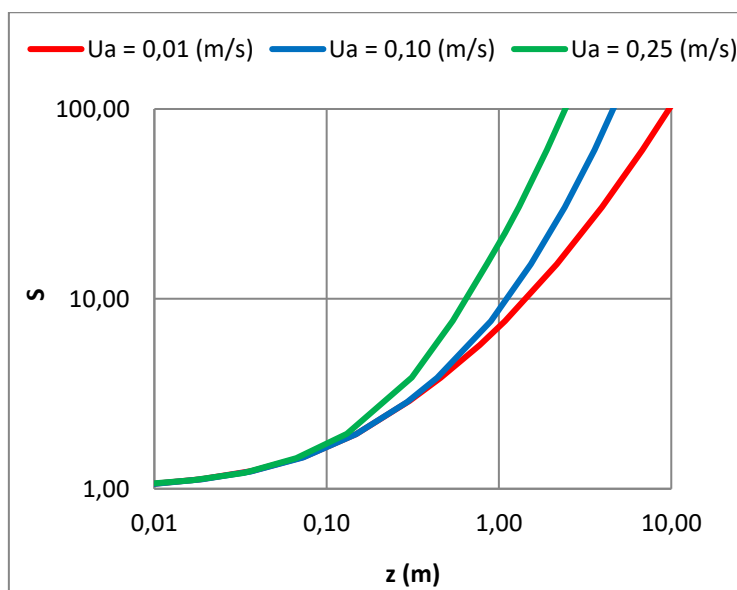
Στο Διάγραμμα 4.46 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4.46 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι στο σημείο $z=1$ m η αξονική ταχύτητα u_c παραμένει σταθερή και ανεπηρέαστη για όλες τις ταχύτητες του ρεύματος U_a που μελετήθηκαν. Μετά το πέρας αυτής της απόστασης η αξονική ταχύτητα για κάθε ρεύμα αποκτά την δική της τιμή και καταλήγει στην τιμή του ρεύματος.

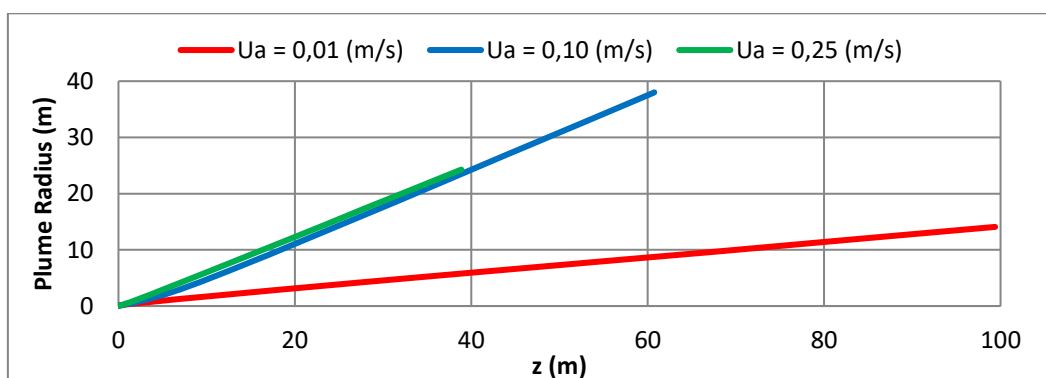
Στο Διάγραμμα 4.47 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραιώσης S της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4.47 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραιώσης για $\theta_0=30^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Όπως και στο αντίστοιχο διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραιώσης S με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_o=3$) που μελετήθηκε προηγουμένως έτσι και εδώ ισχύει ότι, κοντά στο ακροφύσιο συναντάμε μεγαλύτερα επίπεδα αραιώσεων για μεγάλες τιμές ταχύτητας του περιβάλλοντος ρευστού. Αν κάνουμε σύγκριση αυτών των δυο διαγραμμάτων παρατηρούμε αύξηση των τιμών των μεγεθών που μελετήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει αύξηση της τελικής τιμής της απόστασης z από το ακροφύσιο καθώς τώρα η μέγιστη τιμή της απόστασης z που μπορεί να φτάσει η φλέβα, για παράδειγμα σε μικρή τιμή ταχύτητας του ρεύματος U_a , είναι $z=10\text{m}$ ενώ στο προηγούμενο διάγραμμα ήταν $z<10\text{m}$.

Στο Διάγραμμα 4.48 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 48 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_o=30^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρούμε ότι για μεσαίες τιμές ταχύτητας ρεύματος U_a η μεταβολή της ακτίνας της ανωστικής φλέβας είναι η μεγαλύτερη αλλά δεν φτάνει στην επιφάνεια όπως γίνεται με την μικρότερη ταχύτητα του ρεύματος U_a . Συγκριτικά και με το προηγούμενο διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_o=3$) που μελετήθηκε υπάρχει αύξηση των τιμών των μεγεθών του.

4.3.2.3 Προσομοιώσεις για $F_o=50$.

Στους Πίνακες 4.36, 4.37 και 4.38 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_o=30^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s και 0,25 m/s αντιστοίχως.

Πίνακας 4.36 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=30^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	30
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.37 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=30^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,10
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	30
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

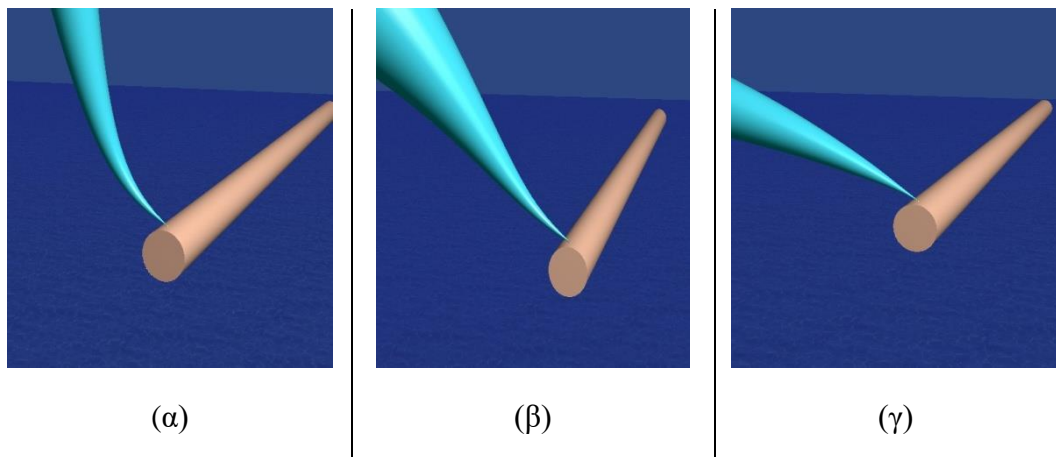
Πίνακας 4.38 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=30^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	30
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

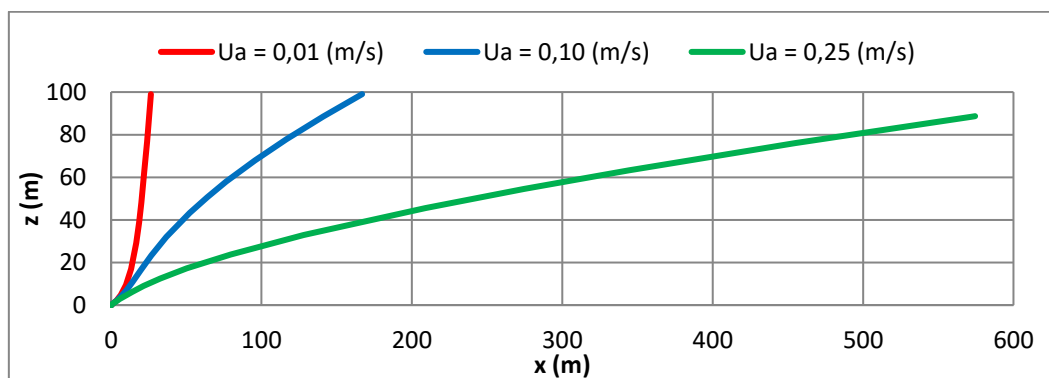
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.12 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 12 Οπτική παράσταση πεδίου ροής φλέβας ($\theta_o=30^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

Στο Διάγραμμα 4.49 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.

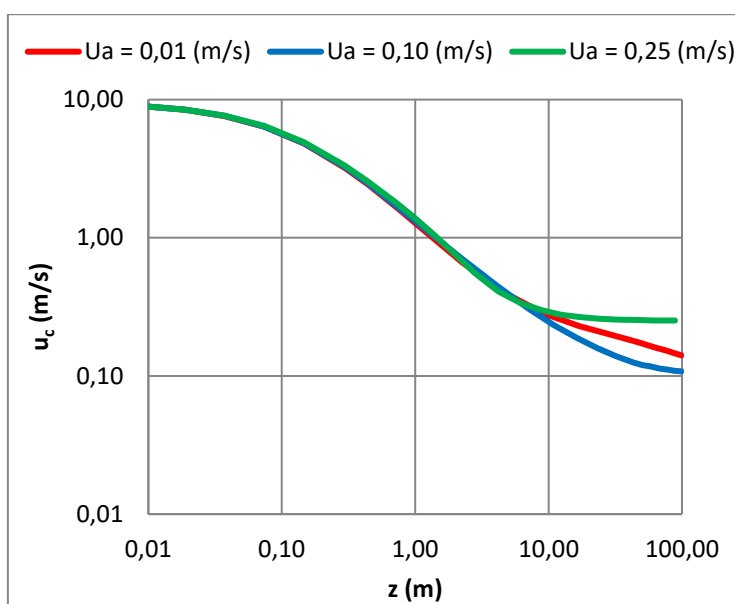


Διάγραμμα 4. 49 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=30^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρούμε ότι για μικρές τιμές ταχύτητας U_a του ρεύματος η ανάδυση της φλέβας είναι άμεση. Για μεσαίες τιμές της ταχύτητας του ρεύματος U_a της φλέβας η ανάδυση είναι πιο αργή αλλά φτάνει στην επιφάνεια ενώ για

μεγάλες τιμές ρεύματος U_a η ανάδυση δεν ολοκληρώνεται πλήρως. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα τροχιάς της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_o=3$, $F_o=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως παρατηρούμε μεγάλη διαφορά καθώς οι τιμές των μεγεθών έχουν σχεδόν διπλασιαστεί.

Στο Διάγραμμα 4.50 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.

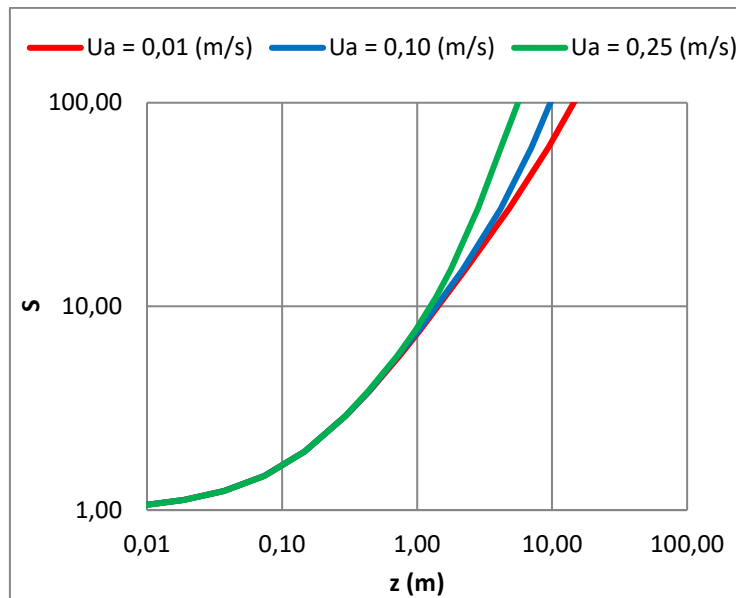


Διάγραμμα 4. 50 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=30^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας u_c παρατηρούμε ότι για μεγάλη απόσταση z από το ακροφύσιο η αξονική ταχύτητα u_c της φλέβας παραμένει σταθερή και ανεπηρέαστη για κάθε τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a . Αυτό ισχύει μέχρι την απόσταση $z=10$ m. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_o=3$, $F_o=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως παρατηρούμε αύξηση στην τιμή της αξονικής ταχύτητας u_c ($F_o=3$, $u_c < 1$ και $F_o=10$, $u_c > 1$) και αύξηση και στην τιμή της απόστασης z από το ακροφύσιο όπου η φλέβα παραμένει σταθερή. ($F_o=3$, $z=0,1$ m και $F_o=10$, $z=1$ m).

Στο Διάγραμμα 4.51 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του

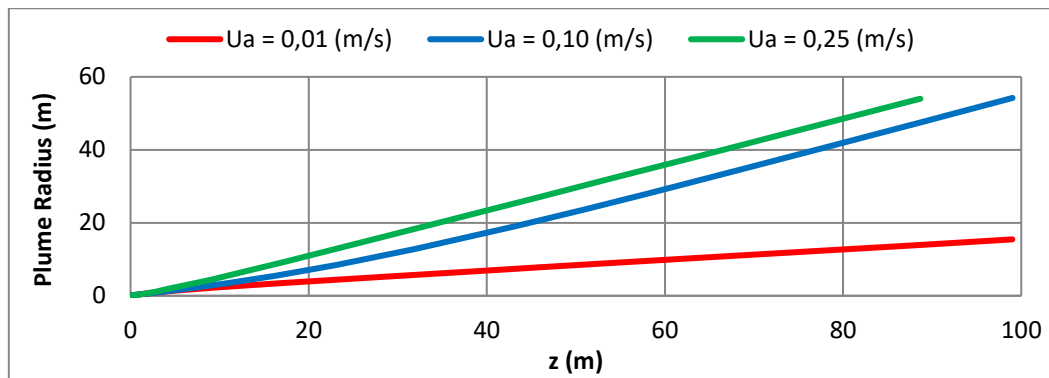
κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s , $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως



Διάγραμμα 4.51 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=30^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι μέχρι την απόσταση $z=1$ m η αραίωση S παραμένει σταθερή και δεν επηρεάζεται από την ταχύτητα του περιβάλλοντος ρευστού. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα μεταβολής της αραίωσης S της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_0=3, F_0=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως παρατηρούμε μια αύξηση στην τελική τιμή της απόστασης z από το ακροφύσιο όπου η φλέβα μπορεί να φτάσει. Στην περίπτωση με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 η απόσταση z έχει τιμή $z<10$ m, ενώ στην περίπτωση με πυκνομετρικό αριθμό Froude 10 η απόσταση z έχει τιμή $z=10$ m.

Στο Διάγραμμα 4.52 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s , $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 52 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=30^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Στο παραπάνω διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας της φλέβας παρατηρούμε μεγάλη διαφορά συγκριτικά με τα άλλα δυο διαγράμματα με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_0=3, F_0=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως. Ακόμα παρατηρούμε ομοιότητα με το αντίστοιχο διάγραμμα με γωνία εκροής $\theta_0=0^\circ$.

4.3.3 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=45^\circ$

4.3.3.1 Προσομοιώσεις για $F_0=3$.

Στους Πίνακες 4.39, 4.40 και 4.41 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_0=45^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s και 0,25 m/s αντιστοίχως.

Πίνακας 4.39 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=45^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_0 (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_0 (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	45
Αρχική παροχή*	Q_0 (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.40 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=45^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο	Τιμή
---------	---------	------

	(μονάδες μέτρησης)	
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,10
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	45
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

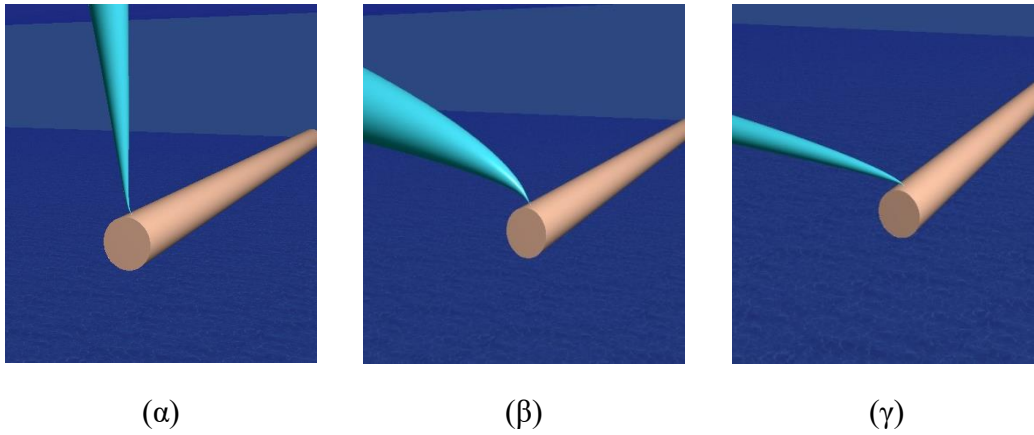
Πίνακας 4.41 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=45^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	45
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

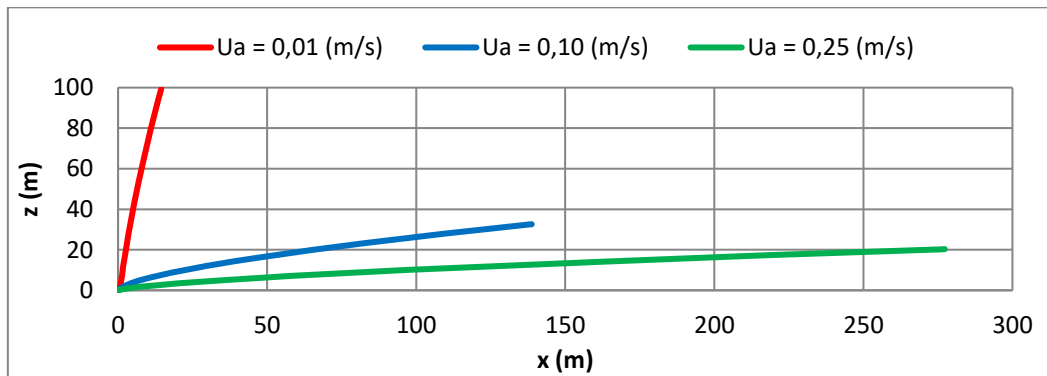
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.13 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 13 Οπτική παράσταση πεδίου ροής φλέβας ($\theta_0=45^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

Στο Διάγραμμα 4.53 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.

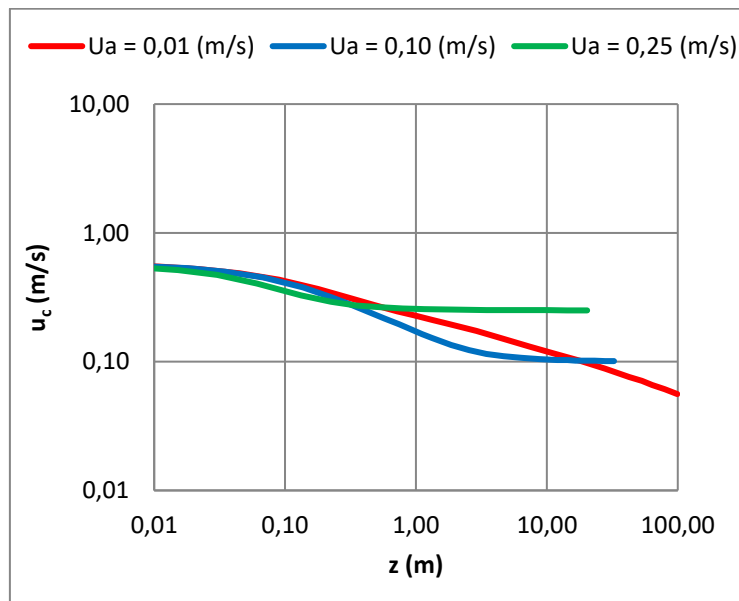


Διάγραμμα 4. 53 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=45^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα ότι για τη μικρότερη ταχύτητα του ρεύματος που μελετήθηκε ($U_a=0,01$ m/s) η φλέβα αναδύεται στην επιφάνεια πιο γρήγορα συγκριτικά με τις υπόλοιπες περιπτώσεις ρεύματος του περιβάλλοντος. Οι άλλες δυο ταχύτητες του ρεύματος φτάνουν μέχρι ένα σημείο και χάνονται λόγω της ταχύτητας και της άνωσης που δημιουργείται. Για μεγάλες τιμές ρεύματος U_a παρατηρείται ότι η τροχιά που σχηματίζεται είναι μεγαλύτερη άρα και το μήκος της τροχιάς της φλέβας αυξάνεται και έτσι αναδύεται αργότερα.

Στο Διάγραμμα 4.54 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του

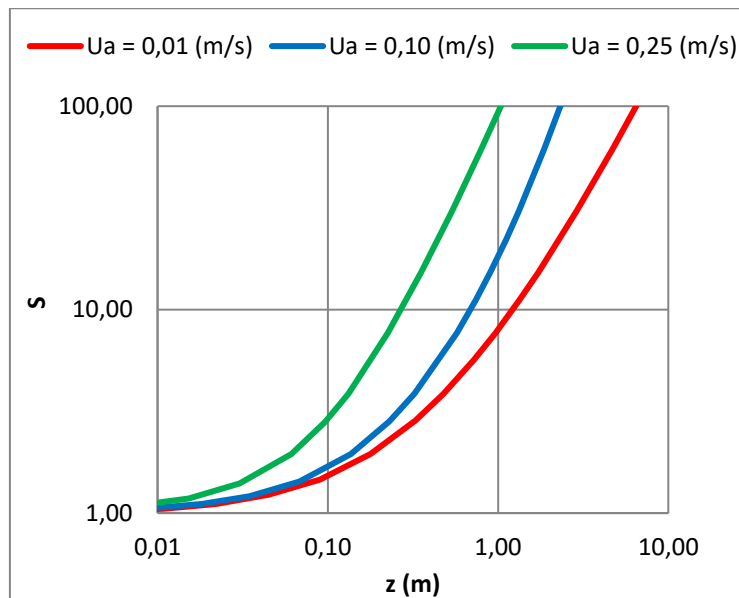
κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 54 Διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=45^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα ότι μέχρι την απόσταση $z=0,06$ m από το ακροφύσιο, η μεταβολή της ταχύτητας της ανωστικής φλέβας είναι ανεπηρέαστη και για τις τρεις ταχύτητες του περιβάλλοντος ρευστού που μελετήθηκαν. Η μέγιστη τιμή που λαμβάνει η αξονική ταχύτητα u_c της φλέβας, είναι αυτή κατά την έξοδο της από το ακροφύσιο ($u_c < 1$) και μετά μειώνεται καταλήγοντας στην ταχύτητα του περιβάλλοντος ρευστού.

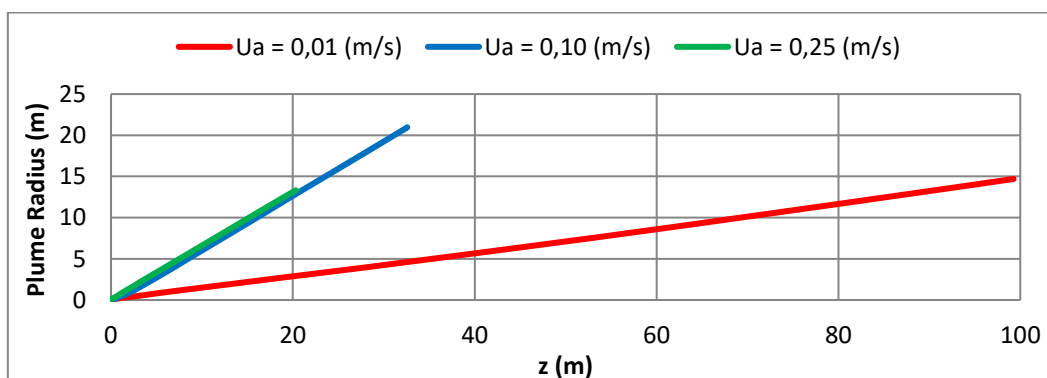
Στο Διάγραμμα 4.55 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4. 55 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραιώσης για $\theta_0=45^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι στην περιοχή κοντά στο ακροφύσιο εκροής επιτυγχάνονται καλύτερες τιμές αραιώσεων για μεγάλες ταχύτητες ρεύματος. Όταν η φλέβα αποκρίνεται από το ακροφύσιο εκροής οι τιμές των αραιώσεων για κάθε τιμή ρεύματος που μελετήθηκε αυξάνονται.

Στο Διάγραμμα 4.56 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 56 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=45^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα παρατηρούμε ότι για μικρές ταχύτητες ρεύματος U_a δεν προκύπτει μεγάλη μεταβολή στην ακτίνα της φλέβας καθώς φτάνει

στην επιφάνεια. Στις περιπτώσεις με μεγαλύτερη τιμή ρεύματος U_a , λόγω της μεγαλύτερης άνωσης που σχηματίζεται, η φλέβα δεν μπορεί να προχωρήσει πάρα πολύ μακριά από το ακροφύσιο.

4.3.3.2 Προσομοιώσεις για $F_o=10$.

Στους Πίνακες 4.42, 4.43 και 4.44 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_o=45^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01\text{m/s}$, $0,10\text{ m/s}$ και $0,25\text{ m/s}$ αντιστοίχως.

Πίνακας 4.42 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=45^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01\text{ m/s}$.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	45
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.43 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=45^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,10\text{ m/s}$.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,10
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	45
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.44 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=45^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,25\text{ m/s}$.

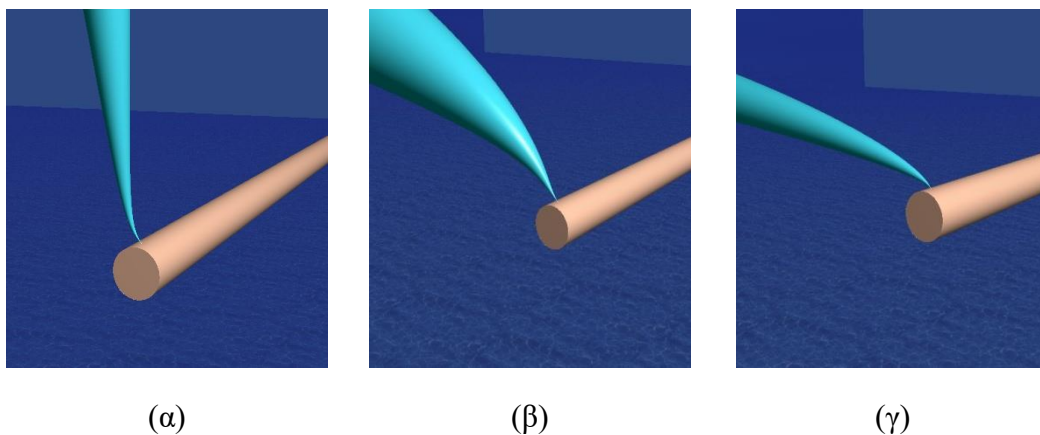
Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
---------	----------------------------------	------

Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o °	45
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

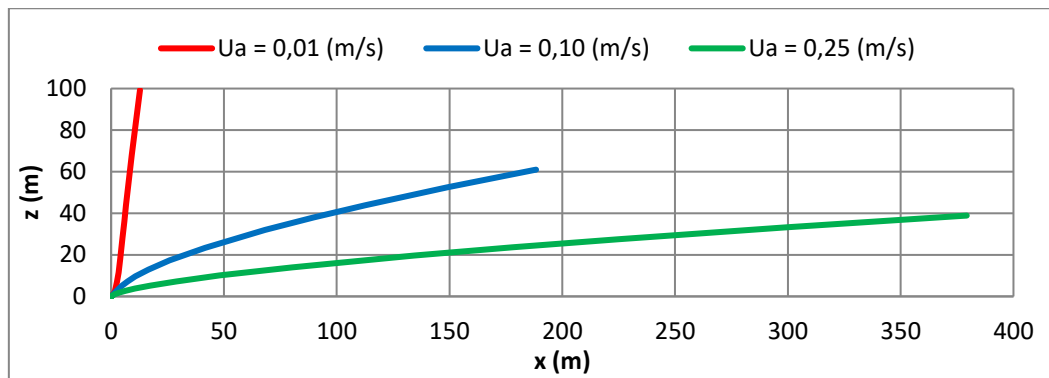
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.14 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s , αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 14 Οπτική παράσταση πεδίου ροής φλέβας ($\theta_o=45^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

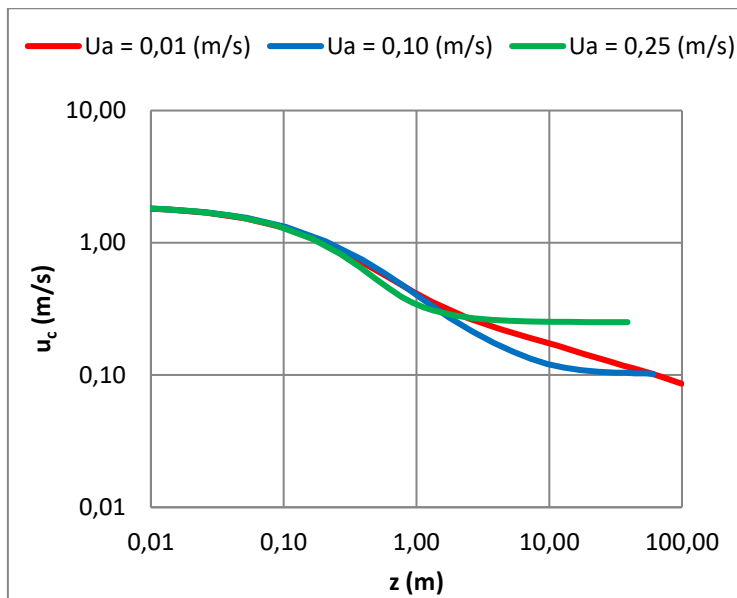
Στο Διάγραμμα 4.57 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.



Διάγραμμα 4. 57 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=45^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Παρατηρείται ότι όσο πιο μικρή είναι η τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a η φλέβα αναδύεται πιο γρήγορα. Ακόμα συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα τροχιάς που μελετήθηκε προηγουμένως με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_0=3$) παρατηρείται αύξηση των τιμών που αφορούν την μέση και την μεγάλη ταχύτητα ρεύματος που μελετήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση που η ταχύτητα του ρεύματος είναι $U_a=0,10$ m/s, η απόσταση z διπλασιάζεται ($z=60$ m), καθώς η φλέβα απομακρύνεται από το ακροφύσιο και η τροχιά της είναι μεγαλύτερη ($150 < x < 200$ m) από την προηγούμενη. Στην περίπτωση που η ταχύτητα του ρεύματος είναι $U_a=0,25$ m/s, η απόσταση z διπλασιάζεται ($z=40$ m) καθώς η φλέβα απομακρύνεται από το ακροφύσιο και η τροχιά της είναι πάλι μεγαλύτερη ($350 < x < 400$ m).

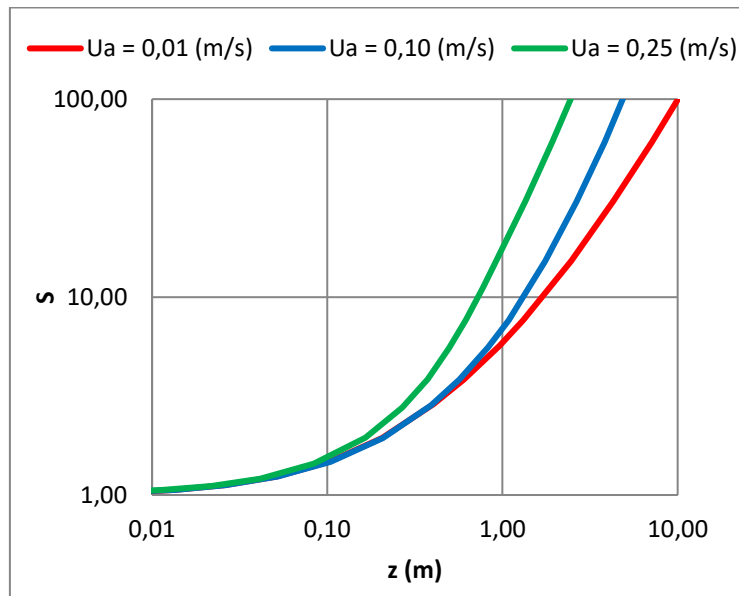
Στο Διάγραμμα 4.58 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 58 Διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01 \text{ m/s}, 0,10 \text{ m/s}, 0,25 \text{ m/s}$.

Παρατηρείται ότι όσο μειώνεται η τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a , μειώνεται και η τιμή της αξονικής ταχύτητας u_c . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να απομακρύνεται η φλέβα από το ακροφύσιο και να αναδύεται αργότερα. Αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό στο σημείο $z=0,30\text{m}$ όπου, η αξονική ταχύτητα u_c για όλες τις ταχύτητες του ρεύματος U_a που μελετήθηκαν παραμένει σταθερή και ανεπηρέαστη. Μετά το πέρας αυτής της απόστασης η αξονική ταχύτητα u_c για κάθε ρεύμα αποκτά την δική της τιμή καταλήγοντας στην ταχύτητα του ρεύματος. Ακόμα συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_0=3$) που μελετήθηκε προηγουμένως παρατηρείται αύξηση τιμής της αξονικής ταχύτητας ($u_c > 1$).

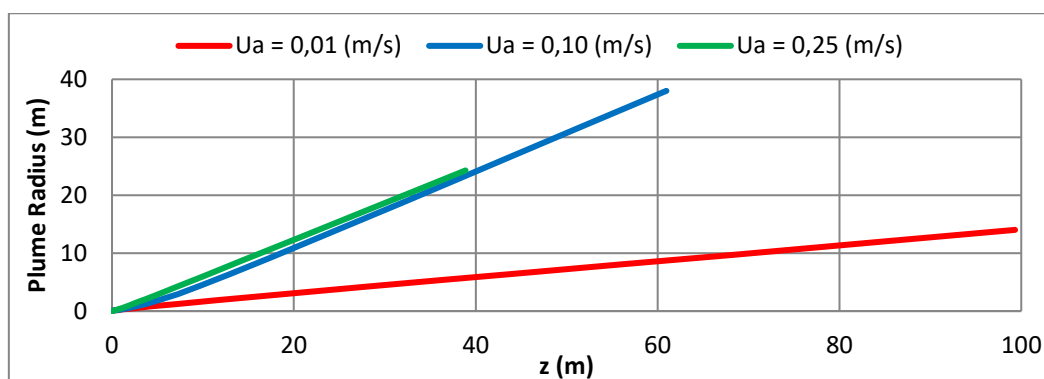
Στο Διάγραμμα 4.59 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01 \text{ m/s}, U_a=0,10 \text{ m/s}$ και $U_a=0,25 \text{ m/s}$, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4.59 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=45^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Όπως και στο αντίστοιχο διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραίωσης S με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_0=3$) που μελετήθηκε προηγουμένως, παρατηρούμε αύξηση των τιμών της αραίωσης S και της απόστασης z από το ακροφύσιο. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται αύξηση της τελικής τιμής της απόστασης z από το ακροφύσιο η οποία τώρα είναι $z=10$ m. Παρατηρούμε επίσης, ότι η τιμή της αραίωσης S παραμένει σταθερή και ανεπηρέαστη από τις τρεις ταχύτητες ρεύματος U_a μέχρι την απόσταση $z=0,10$ m από το ακροφύσιο.

Στο Διάγραμμα 4.60 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 60 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=45^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρούμε ότι για μεσαίες τιμές ταχύτητας ρεύματος U_a η μεταβολή της ακτίνας της ανωστικής φλέβας είναι η μεγαλύτερη και λόγω της άνωσης δεν φτάνει στην επιφάνεια όπως γίνεται με την μικρότερη ταχύτητα του ρεύματος U_a . Συγκριτικά και με το προηγούμενο διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_0=3$) που μελετήθηκε, η μικρότερη ταχύτητα του ρεύματος $U_a=0,01$ m/s παραμένει σταθερή και στην ακτίνα και στην απόσταση που διανύει η φλέβα από το ακροφύσιο.

4.3.3.3 Προσομοιώσεις για $F_0=50$.

Στους Πίνακες 4.45, 4.46 και 4.47 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_0=45^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s και 0,25 m/s αντιστοίχως.

Πίνακας 4.45 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=45^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_0 (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_0 (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	45
Αρχική παροχή*	Q_0 (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.46 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=45^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,10
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	45
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

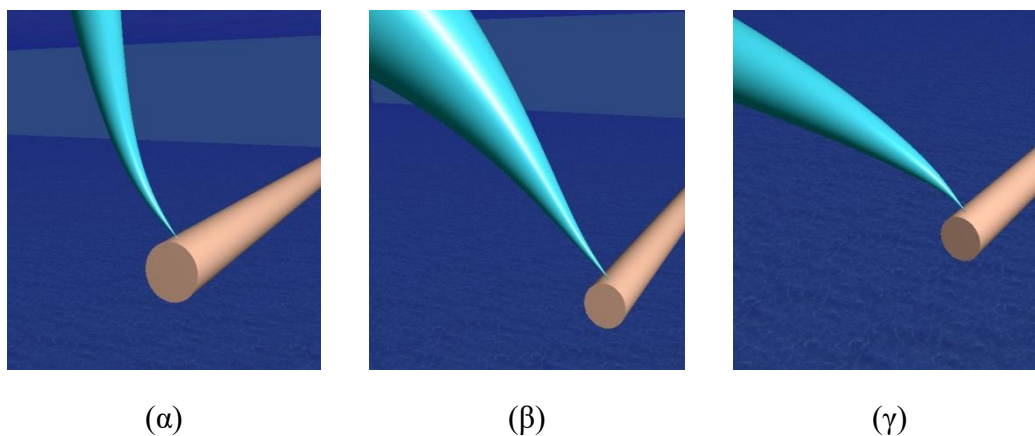
Πίνακας 4.47 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=45^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	45
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

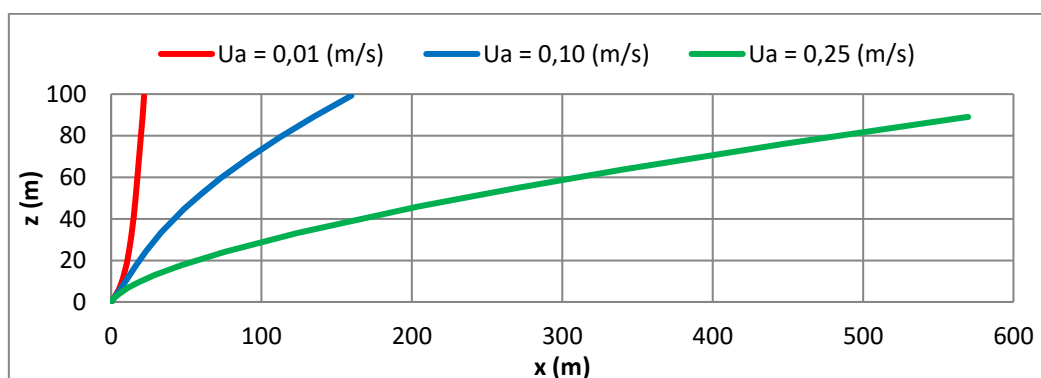
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.15 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 15 Οπτική παράσταση πεδίου ροής φλέβας ($\theta_o=45^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

Στο Διάγραμμα 4.61 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.

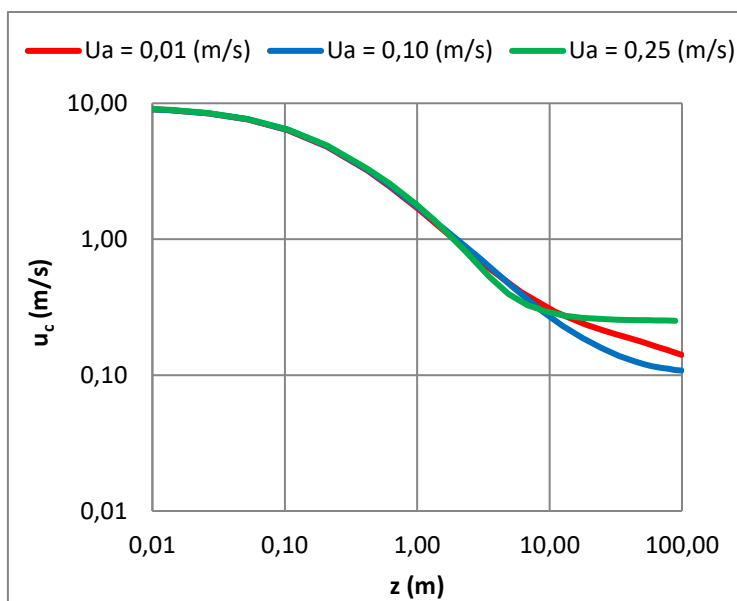


Διάγραμμα 4. 61 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=45^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρούμε ότι για μικρές τιμές ταχύτητας του ρεύματος U_a η ανάδυση της φλέβας είναι άμεση. Για μεσαίες τιμές της ταχύτητας του ρεύματος U_a της φλέβας η ανάδυση είναι πιο αργή αλλά φτάνει στην επιφάνεια ενώ για μεγάλες τιμές ρεύματος U_a η ανάδυση δεν ολοκληρώνεται πλήρως. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα τροχιάς της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_o=3, F_o=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως παρατηρούμε μεγάλη διαφορά στις τιμές της τροχιάς της φλέβας για την μέση και την μεγάλη ταχύτητα του ρεύματος U_a . Για παράδειγμα, στην ταχύτητα του ρεύματος με $U_a=0,25$ m/s η τροχιά έχει σχεδόν διπλασιαστεί ($500 < x < 600$ m), στο αντίστοιχο διάγραμμα με πυκνομετρικό αριθμό $F_o=3$

η τροχιά ήταν $250 < x < 300\text{m}$ ενώ στο αντίστοιχο διάγραμμα με πυκνομετρικό αριθμό $F_o=10$ η τροχιά ήταν $350 < x < 400\text{m}$.

Στο Διάγραμμα 4.62 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.

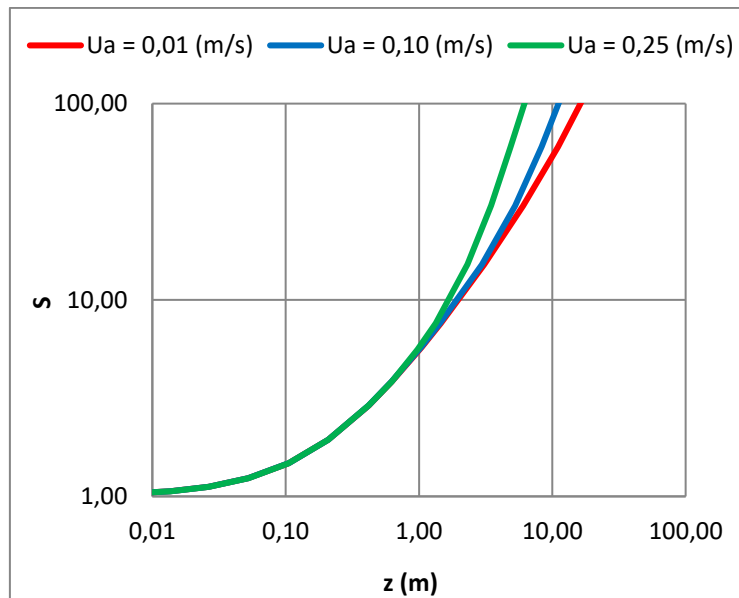


Διάγραμμα 4. 62 Διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=45^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας u_c παρατηρούμε ότι για μεγάλη απόσταση z από το ακροφύσιο η αξονική ταχύτητα u_c της φλέβας παραμένει ανεπηρέαστη για κάθε τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a . Αυτό ισχύει μέχρι την απόσταση $z=10\text{m}$. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας u_c της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_o=3$, $F_o=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως παρατηρούμε αύξηση στην αρχική τιμή της αξονικής ταχύτητας u_c στο ακροφύσιο καθώς η τιμή της φτάνει τα $u_c = 10\text{m/s}$. Στις άλλες δυο περιπτώσεις ισχύει ότι για πυκνομετρικό αριθμό $F_o=3$ η αρχική αξονική ταχύτητα είναι $u_c < 1$ και για πυκνομετρικό αριθμό $F_o=10$ η αρχική αξονική ταχύτητα είναι $u_c > 1$.

Στο Διάγραμμα 4.63 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του

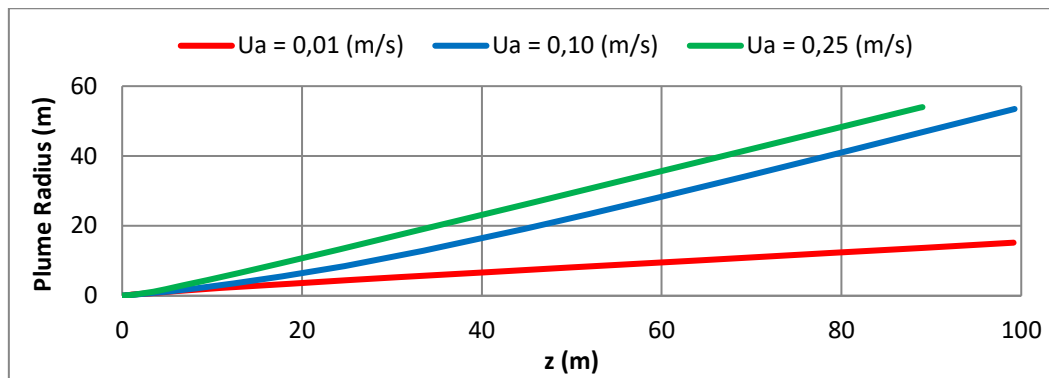
κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4. 63 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_o=45^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι μέχρι την απόσταση $z=1$ m η αραίωση S παραμένει σταθερή και ανεπηρέαστη από τις τρεις τιμές ταχύτητας του ρεύματος U_a που μελετήθηκαν. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα μεταβολής της αραίωσης S της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_o=3, F_o=10$) παρατηρούμε μια αύξηση της τελικής τιμής της απόστασης z από το ακροφύσιο που μπορεί να φτάσει η φλέβα ($z > 10$). Στην περίπτωση με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 η απόσταση z έχει τιμή $z < 10$, ενώ στην περίπτωση με πυκνομετρικό αριθμό Froude 10 απόσταση z έχει τιμή $z = 10$.

Στο Διάγραμμα 4.64 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 64 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=45^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01 \text{ m/s}, 0,10 \text{ m/s}, 0,25 \text{ m/s}$.

Στο παραπάνω διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας της φλέβας παρατηρούμε μεγάλη διαφορά συγκριτικά με τα άλλα δυο διαγράμματα με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_0=3, F_0=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι όσο μεγαλώνει η τιμή του πυκνομετρικού αριθμού Froude μεγαλώνει και η τιμή της μεταβολής της ακτίνας για κάθε ταχύτητα ρεύματος U_a που μελετάται.

4.3.4 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=60^\circ$

4.3.4.1 Προσομοιώσεις για $F_0=3$.

Στους Πίνακες 4.48, 4.49 και 4.50 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_0=60^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01 \text{ m/s}, 0,10 \text{ m/s}$ και $0,25 \text{ m/s}$ αντιστοίχως.

Πίνακας 4.48 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=60^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01 \text{ m/s}$.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	$\rho_a \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	$\rho_0 \text{ (kg/m}^3\text{)}$	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	$g \text{ (m/s}^2\text{)}$	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	$d_0 \text{ (m)}$	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	$U_a \text{ (m/s)}$	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	60
Αρχική παροχή*	$Q_0 \text{ (m}^3\text{/s)}$	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.49 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=60^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,1
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	60
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

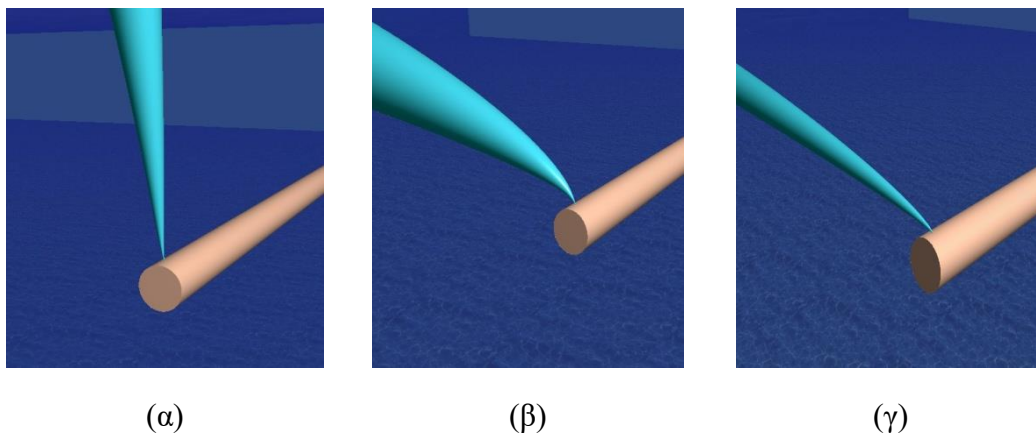
Πίνακας 4.50 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=60^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	60
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

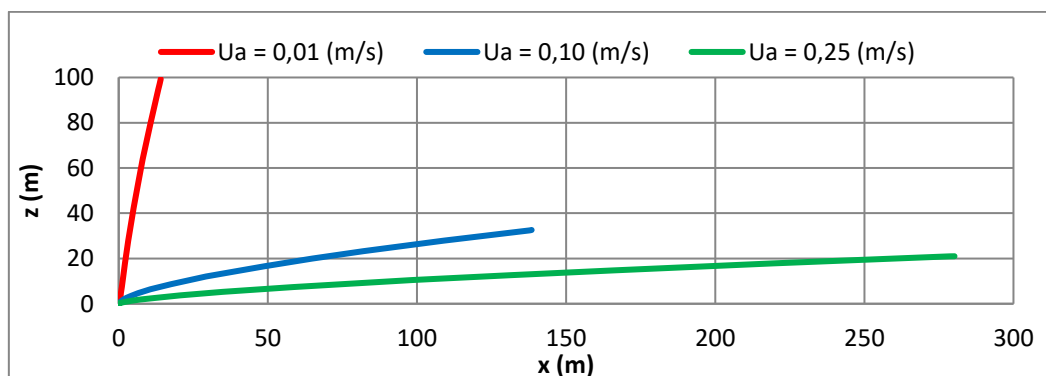
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.16 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 16 Οπτική παράσταση πεδίου ροής φλέβας ($\theta_o=60^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

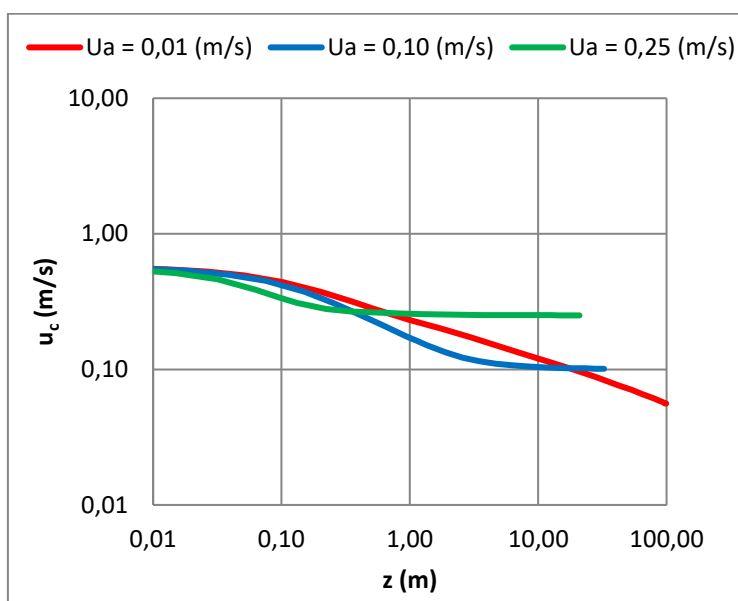
Στο Διάγραμμα 4.65 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.



Διάγραμμα 4. 65 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=60^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι για τη μικρότερη ταχύτητα του ρεύματος που η φλέβα αναδύεται στην επιφάνεια άμεσα. Οι άλλες δυο ταχύτητες του ρεύματος φτάνουν μέχρι ένα σημείο και χάνονται. Για μεγάλες τιμές ρεύματος U_a παρατηρείται ότι η τροχιά που σχηματίζεται είναι μεγαλύτερη άρα και το μήκος της τροχιάς της φλέβας αυξάνεται.

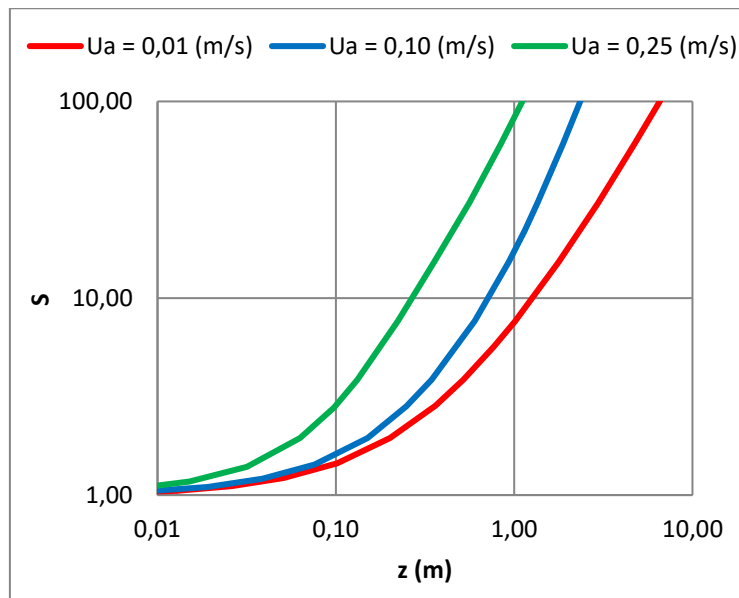
Στο Διάγραμμα 4.66 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 66 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=60^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Παρατηρείται ότι κατά την εκροή της φλέβας από το ακροφύσιο η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας, για μεγάλες ταχύτητες ρεύματος περιβάλλοντος, παρουσιάζει μια καμπύλη σχετικά με το προηγούμενο αντίστοιχο διάγραμμα μεταβολής για την γωνία $\theta_0=45^\circ$. Η τιμή της αξονικής ταχύτητας μειώνεται καθώς απομακρύνεται η φλέβα από το ακροφύσιο και εν τέλει καταλήγει στην ταχύτητα του ρεύματος.

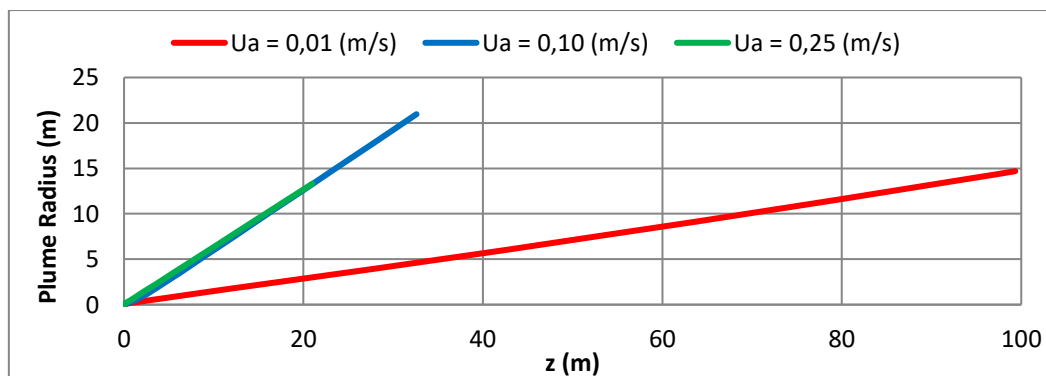
Στο Διάγραμμα 4.67 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4. 67 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=60^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι στην περιοχή κοντά στο ακροφύσιο εκροής επιτυγχάνονται μεγάλες τιμές αραίωσης για μεγάλες ταχύτητες ρεύματος περιβάλλοντος. Ακόμα για ένα διάστημα η μεταβολή της αραίωσης δεν επηρεάζεται από την τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a που μελετήθηκε. Αυτό το διάστημα αφορά τις μικρές και μεσαίες ταχύτητες.

Στο Διάγραμμα 4.68 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 68 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=60^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας της ανωστικής φλέβας παρατηρούμε ότι για μεγάλες ταχύτητες ρεύματος U_a η μεταβολή της ακτίνας της φλέβας είναι η μικρότερη από κάθε τιμή ταχύτητας ρεύματος U_a που έχει μελετηθεί. Πιο συγκεκριμένα, η ταχύτητα $U_a=0,25$ m/s έχει μεταβολή ακτίνας Plume radius=13m και φτάνει μέχρι την απόσταση $z=20$ m από το ακροφύσιο ενώ η μικρότερη ταχύτητα $U_a=0,01$ m/s έχει μεταβολή ακτίνας Plume radius=15m και φτάνει μέχρι την απόσταση $z=100$ m που βρίσκεται η επιφάνεια.

4.3.4.2 Προσομοιώσεις για $F_o=10$.

Στους Πίνακες 4.51, 4.52 και 4.53 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_o=60^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s και 0,25 m/s αντιστοίχως.

Πίνακας 4.51 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=60^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	60
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.52 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=60^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,10
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	60
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

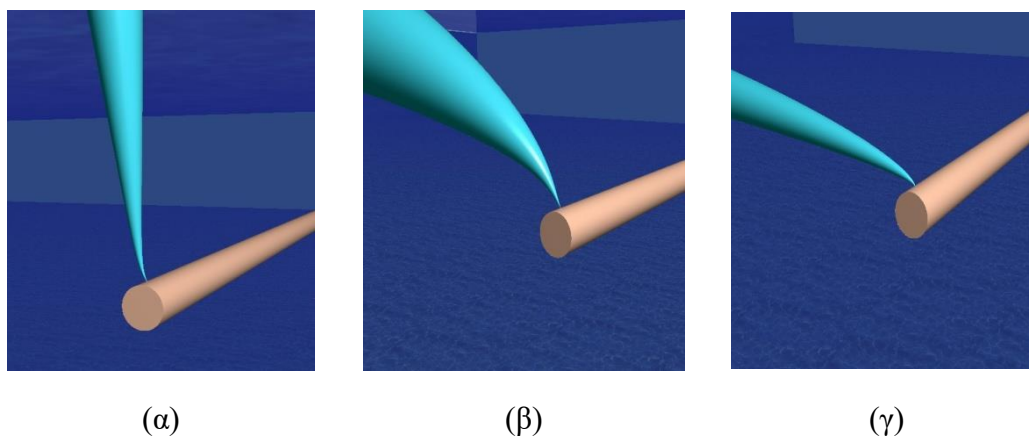
Πίνακας 4.53 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=60^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_0 (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_0 (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	60
Αρχική παροχή*	Q_0 (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

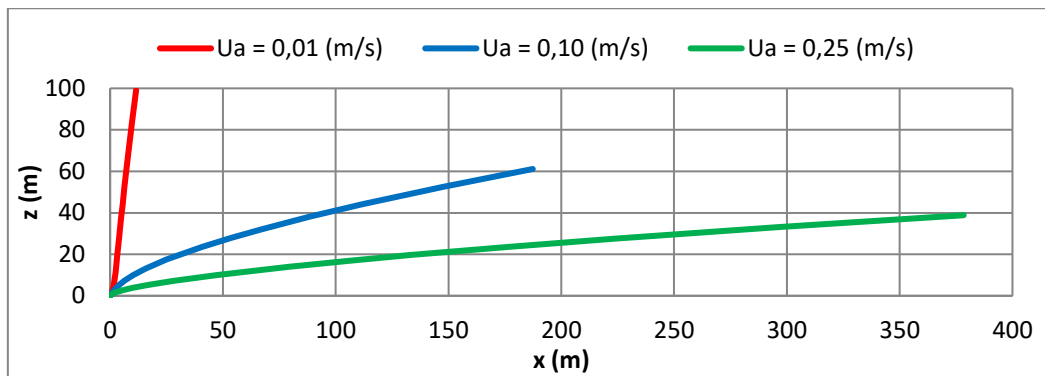
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.17 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 17 Οπτική παράσταση πεδίου ροής φλέβας ($\theta_0=60^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

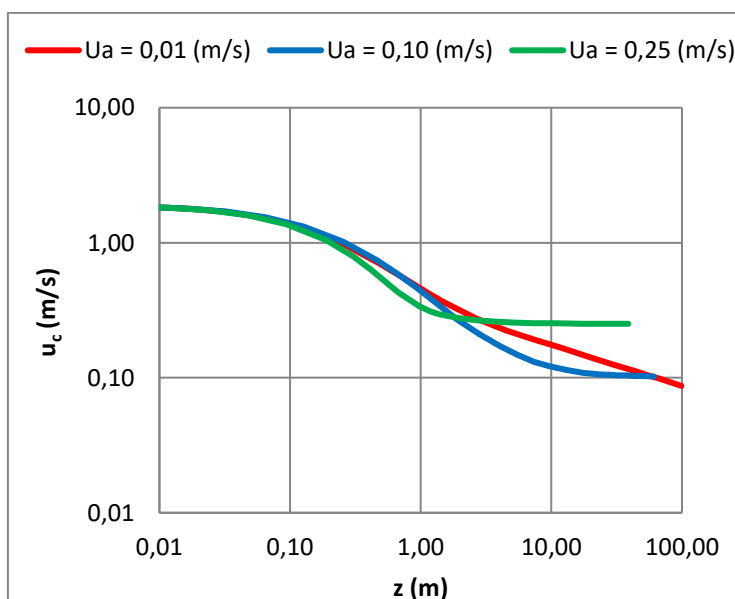
Στο Διάγραμμα 4.69 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.



Διάγραμμα 4. 69 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=60^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι όσο πιο μικρή είναι η τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a (σε m/s), η φλέβα αναδύεται πιο γρήγορα. Ακόμα συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα τροχιάς που μελετήθηκε προηγουμένως με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_o=3$) παρατηρείται αύξηση των τιμών που αφορούν την μέση και την μεγάλη ταχύτητα ρεύματος που μελετήθηκαν.

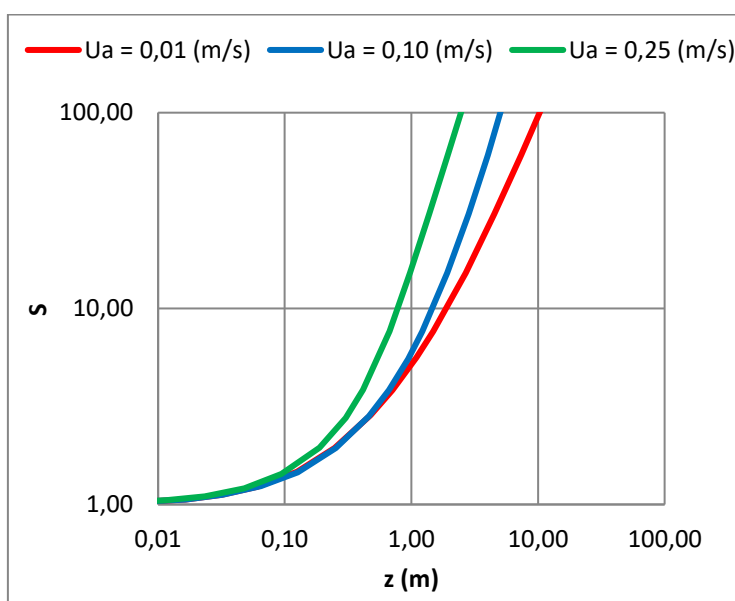
Στο Διάγραμμα 4.70 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 70 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=60^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι όσο μειώνεται η τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a μειώνεται και η τιμή της αξονικής ταχύτητας u_c και η φλέβα απομακρύνεται από το ακροφύσιο και αναδύεται αργότερα. Στο σημείο $z=0,10\text{m}$ η αξονική ταχύτητα u_c για όλες τις ταχύτητες του ρεύματος U_a που μελετήθηκαν παραμένει σταθερή και ανεπηρέαστη. Μετά το πέρας αυτής της απόστασης z η αξονική ταχύτητα u_c για κάθε ρεύμα αποκτά την δική της τιμή καταλήγοντας στην ταχύτητα του ρεύματος. Ακόμα συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_o=3$) που μελετήθηκε προηγουμένως παρατηρείται αύξηση τιμής της αξονικής ταχύτητας u_c ($u_c > 1 \text{ m/s}$) κατά την εκροή της από το ακροφύσιο.

Στο Διάγραμμα 4.71 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραιώσης S της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01 \text{ m/s}$, $U_a=0,10 \text{ m/s}$ και $U_a=0,25 \text{ m/s}$, αντιστοίχως.

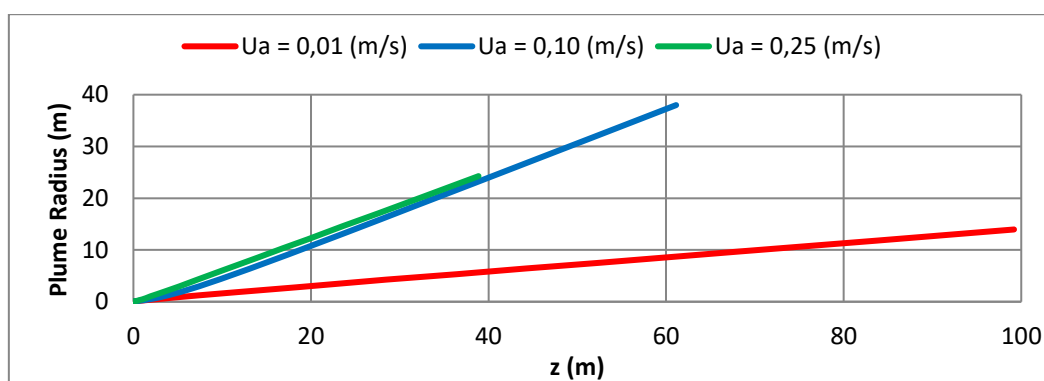


Διάγραμμα 4. 71 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραιώσης για $\theta_0=60^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01 \text{ m/s}, 0,10 \text{ m/s}, 0,25 \text{ m/s}$.

Όπως και στο αντίστοιχο διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραιώσης S με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_o=3$) που μελετήθηκε προηγουμένως έτσι και εδώ ισχύει ότι κοντά στο ακροφύσιο συναντάμε μεγάλες τιμές αραιώσεων για μεγάλες ταχύτητες ρεύματος και αντίστοιχα σε πιο μεγάλη απόσταση z από το ακροφύσιο συναντάμε μικρές τιμές αραιώσεων για μικρές ταχύτητες ρεύματος. Αν κάνουμε

σύγκριση αυτών των δυο διαγραμμάτων παρατηρούμε αύξηση των τιμών των μεγεθών που μελετήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται αύξηση της τελικής τιμής της απόστασης z από το ακροφύσιο η οποία τώρα είναι $z=10m$.

Στο Διάγραμμα 4.72 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 72 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=60^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρούμε ότι για μεσαίες τιμές ταχύτητας ρεύματος U_a η μεταβολή της ακτίνας της ανωστικής φλέβας είναι η μεγαλύτερη από όλες (Plume radius $\approx 40m$ και φτάνει μέχρι την απόσταση $z=60m$ από το ακροφύσιο). Συγκριτικά και με το προηγούμενο διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_0=3$) που μελετήθηκε έτσι και εδώ ισχύει μια αύξηση των τιμών των μεγεθών που μελετήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, η ταχύτητα $U_a=0,25$ m/s έχει μεταβολή ακτίνας Plume radius=25m και φτάνει μέχρι την απόσταση $z=40m$ από το ακροφύσιο ενώ η μικρότερη ταχύτητα $U_a=0,01$ m/s έχει μεταβολή ακτίνας Plume radius=15m και φτάνει μέχρι την απόσταση $z=100m$ που βρίσκεται η επιφάνεια.

4.3.4.3 Προσομοιώσεις για $F_0=50$.

Στους Πίνακες 4.54, 4.55 και 4.56 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_0=60^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s και 0,25 m/s αντιστοίχως.

Πίνακας 4.54 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=60^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	60
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.55 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=60^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,10
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	60
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

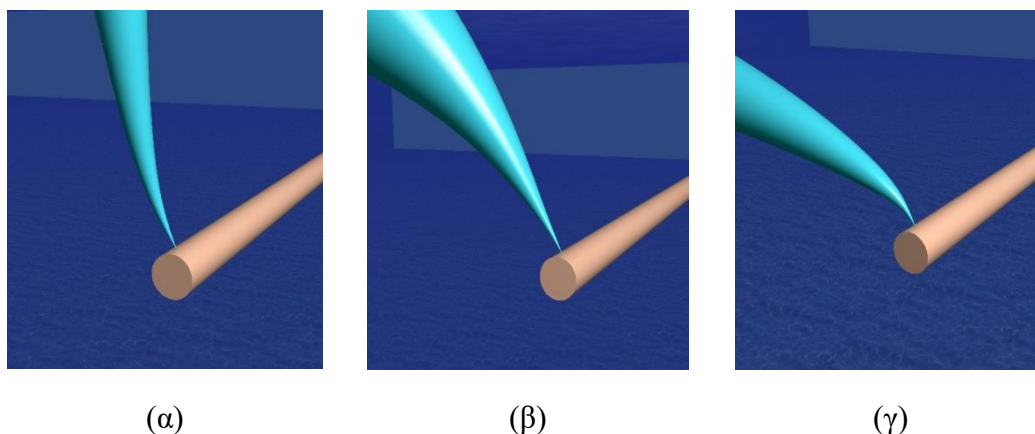
Πίνακας 4.56 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=60^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	60
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

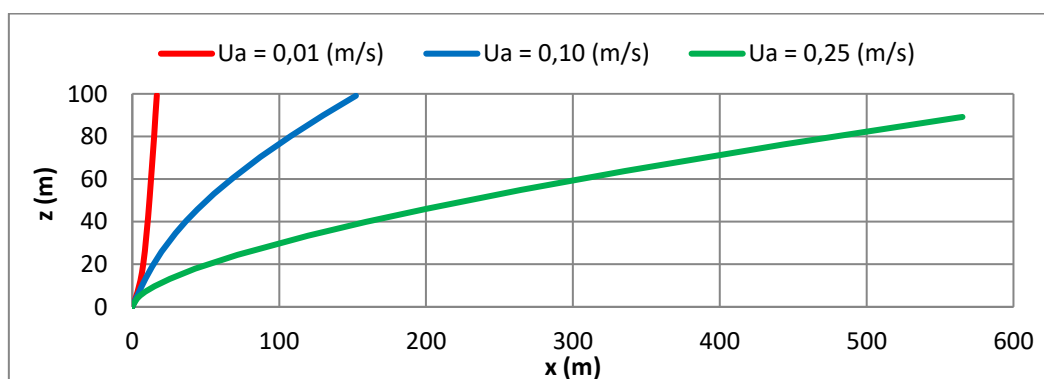
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.18 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 18 Οπτική παράσταση πεδίου ροής φλέβας ($\theta_o=60^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

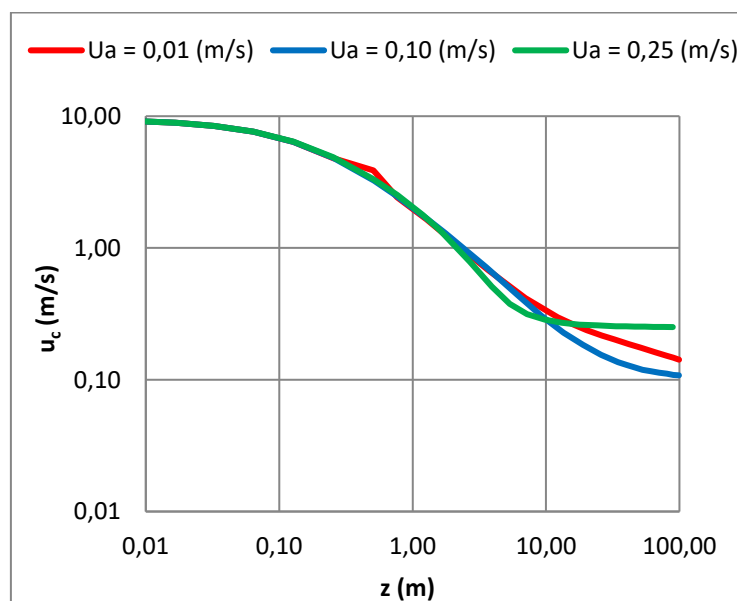
Στο Διάγραμμα 4.73 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.



Διάγραμμα 4. 73 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=60^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρούμε ότι για μικρές τιμές ταχύτητας του ρεύματος U_a η ανάδυση της φλέβας είναι άμεση. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα τροχιάς της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_o=3$, $F_o=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως παρατηρούμε μεγάλη διαφορά στις τιμές της τροχιάς της φλέβας για την μέση και την μεγάλη ταχύτητα του ρεύματος U_a . Για παράδειγμα, στην ταχύτητα του ρεύματος με $U_a=0,25$ m/s η τροχιά έχει σχεδόν διπλασιαστεί ($500 < x < 600$ m), στο αντίστοιχο διάγραμμα με πυκνομετρικό αριθμό $F_o=3$ η τροχιά ήταν $250 < x < 300$ m ενώ στο αντίστοιχο διάγραμμα με πυκνομετρικό αριθμό $F_o=10$ η τροχιά ήταν $350 < x < 400$ m.

Στο Διάγραμμα 4.74 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.

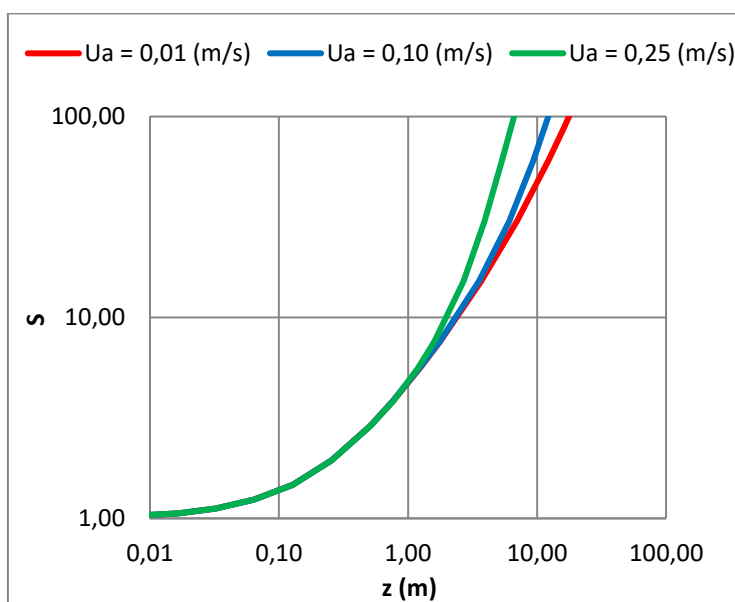


Διάγραμμα 4. 74 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=60^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας u_c παρατηρούμε ότι για μεγάλη απόσταση z από το ακροφύσιο η αξονική ταχύτητα u_c της φλέβας παραμένει σταθερή και ανεπηρέαστη από κάθε τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a . Αυτό ισχύει μέχρι την απόσταση $z \approx 3$ m. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό

Froude 3 και 10 ($F_o=3$, $F_o=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως παρατηρούμε αύξηση στην αρχική τιμή της αξονικής ταχύτητας u_c στο ακροφύσιο ($u_c \approx 10$) όπου για πυκνομετρικό αριθμό $F_o=3$ η αξονική ταχύτητα είναι $u_c < 1$ και για πυκνομετρικό αριθμό $F_o=10$ η αξονική ταχύτητα είναι $u_c > 1$.

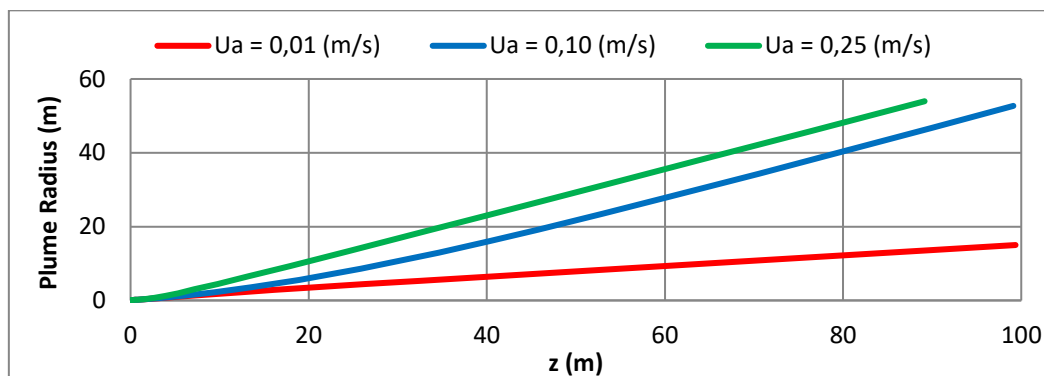
Στο Διάγραμμα 4.75 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4.75 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_o=60^\circ$, $F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Παρατηρείται ότι μέχρι την απόσταση $z \approx 2$ m η αραίωση S παραμένει σταθερή και ανεπηρέαστη από τις τρεις τιμές ταχύτητας του ρεύματος U_a που μελετήθηκαν. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα μεταβολής της αραίωσης S της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_o=3$, $F_o=10$) παρατηρούμε μια αύξηση της τελικής τιμής της απόστασης z από το ακροφύσιο που μπορεί να φτάσει η φλέβα. Για παράδειγμα, σε μικρή ταχύτητα ρεύματος U_a ισχύει $z > 10$. Αντίστοιχα, στην περίπτωση με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 η τελική απόσταση z έχει τιμή $z < 10$, ενώ στην περίπτωση με πυκνομετρικό αριθμό Froude 10 η τελική απόσταση z έχει τιμή $z = 10$.

Στο Διάγραμμα 4.76 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (σε m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4.76 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_o=60^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Στο παραπάνω διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας της φλέβας παρατηρούμε μεγάλη διαφορά συγκριτικά με τα άλλα δυο διαγράμματα με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_o=3, F_o=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι όσο μεγαλώνει η τιμή του πυκνομετρικού αριθμού Froude και η γωνία εκροής της φλέβας μεγαλώνει και η τιμή της μεταβολής της ακτίνας της.

4.3.5 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_o=75^\circ$

4.3.5.1 Προσομοιώσεις για $F_o=3$.

Στους Πίνακες 4.57, 4.58 και 4.59 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_o=75^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s και $0,25$ m/s αντιστοίχως.

Πίνακας 4.57 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=75^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)

Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	75
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.58 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=75^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,1
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	75
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

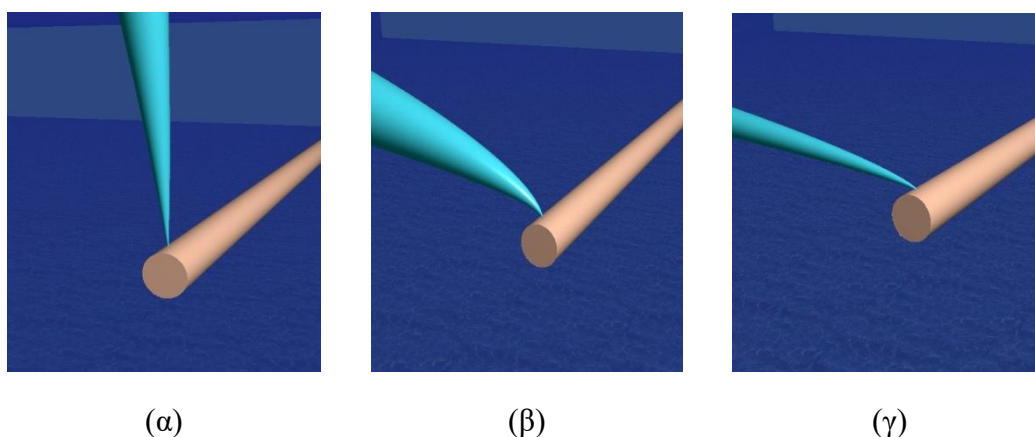
Πίνακας 4.59 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=75^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	75
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

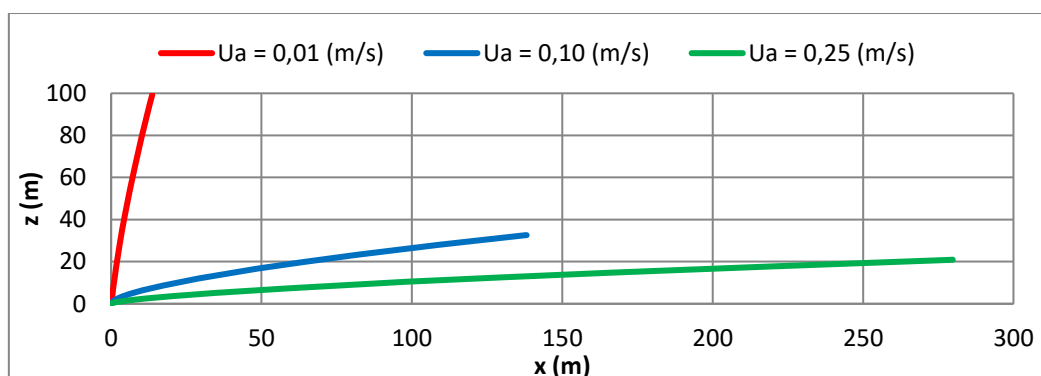
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.19 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 19 Οπτική παράσταση πεδίου ροής φλέβας ($\theta_0=75^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

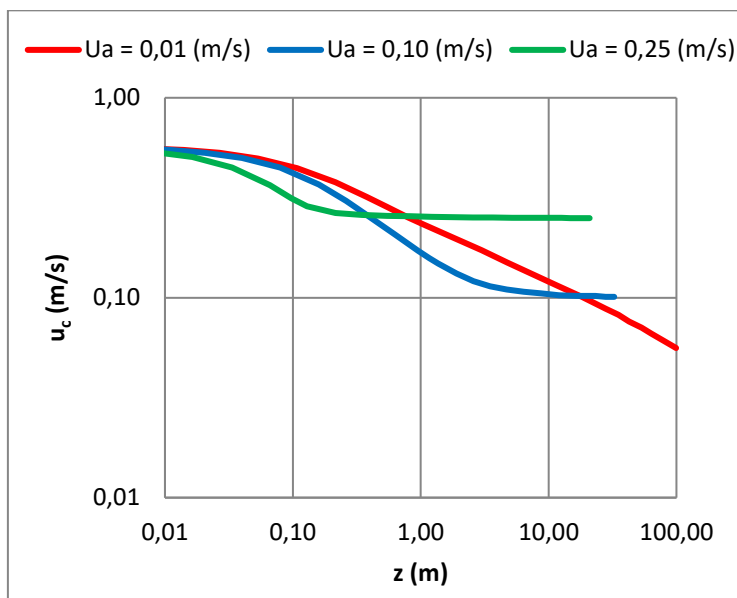
Στο Διάγραμμα 4.77 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.



Διάγραμμα 4. 77 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=75^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα ότι για τη μικρότερη ταχύτητα του ρεύματος που μελετήθηκε ($U_a=0,01$ m/s) η φλέβα αναδύεται στην επιφάνεια άμεσα συγκριτικά με τις υπόλοιπες ταχύτητες. Οι άλλες δυο ταχύτητες του ρεύματος φτάνουν μέχρι ένα σημείο και χάνονται λόγω της ταχύτητας και της άνωσης που δημιουργείται. Για μεγάλες τιμές ρεύματος U_a παρατηρείται ότι η τροχιά που σχηματίζεται είναι μεγαλύτερη άρα και το μήκος της τροχιάς της φλέβας αυξάνεται.

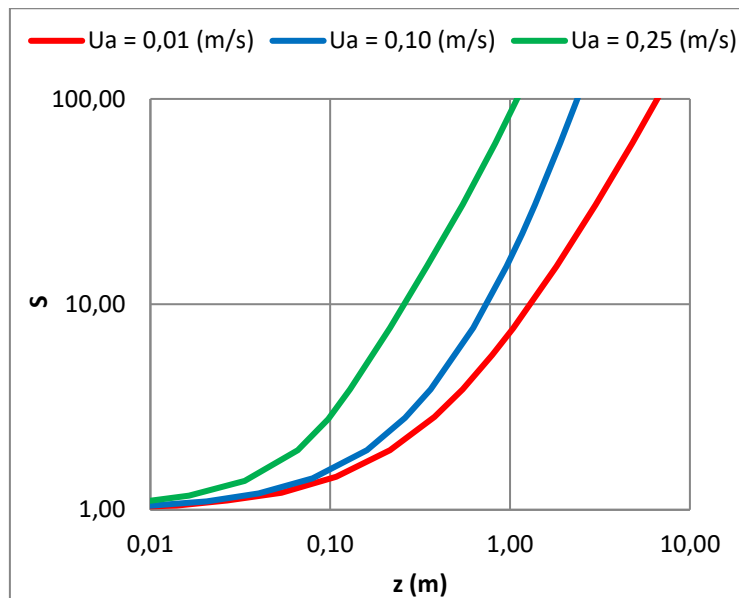
Στο Διάγραμμα 4.78 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 78 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=75^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι κατά την εκροή της φλέβας από το ακροφύσιο η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c , για μεγάλες ταχύτητες ρεύματος περιβάλλοντος, παρουσιάζει μια καμπύλη. Συγκριτικά και με το προηγούμενο αντίστοιχο διάγραμμα μεταβολής για την γωνία $\theta_o=60^\circ$ η καμπύλη είναι πιο μεγάλη. Η τιμή της αξονικής ταχύτητας μειώνεται καθώς απομακρύνεται η φλέβα από το ακροφύσιο και εν τέλει καταλήγει στην ταχύτητα του ρεύματος.

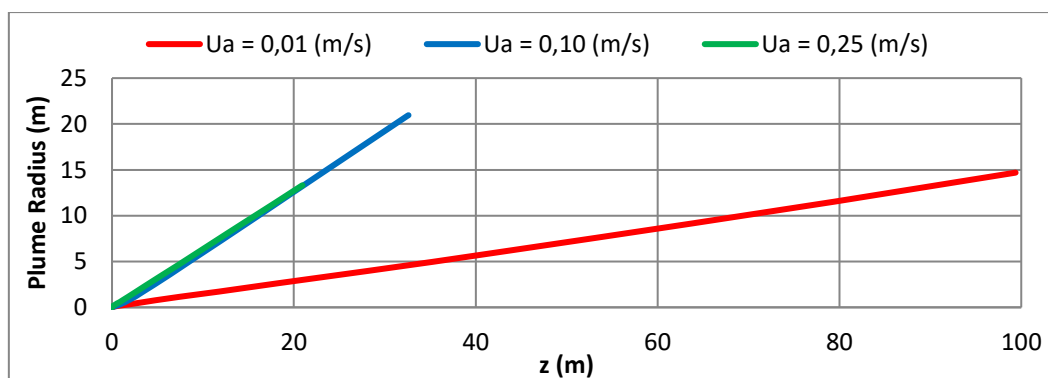
Στο Διάγραμμα 4.79 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4.79 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=75^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι στην περιοχή κοντά στο ακροφύσιο εκροής επιτυγχάνονται μεγαλύτερα επίπεδα αραιώσεων.

Στο Διάγραμμα 4.80 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (σε m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4.80 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=75^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας της ανωστικής φλέβας παρατηρούμε ότι για μεγάλες ταχύτητες ρεύματος U_a η μεταβολή της ακτίνας της φλέβας είναι η μικρότερη από κάθε τιμή ταχύτητας ρεύματος U_a που έχει μελετηθεί. Πιο συγκεκριμένα, η ταχύτητα $U_a=0,25$ m/s έχει μεταβολή ακτίνας Plume radius=14m και φτάνει μέχρι την απόσταση $z=21$ m από το ακροφύσιο ενώ η μικρότερη ταχύτητα $U_a=0,01$ m/s έχει μεταβολή ακτίνας Plume radius=15m και φτάνει μέχρι την απόσταση $z=100$ m που βρίσκεται η επιφάνεια.

4.3.5.2 Προσομοιώσεις για $F_o=10$.

Στους Πίνακες 4.60, 4.61 και 4.62 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_o=75^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s και 0,25 m/s αντιστοίχως.

Πίνακας 4.60 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=75^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	75
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.61 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=75^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,10
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	75
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

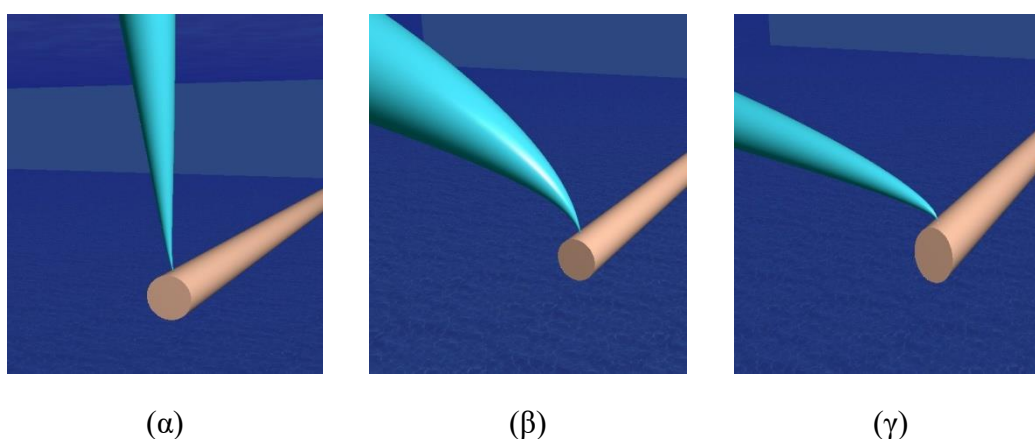
Πίνακας 4.62 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=75^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	75
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

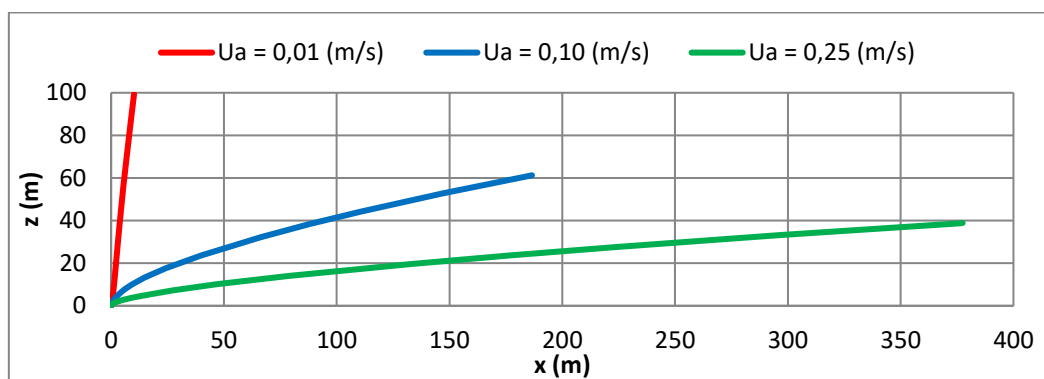
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.20 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 20 Οπτική παράσταση πεδίου ροής φλέβας ($\theta_0=75^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

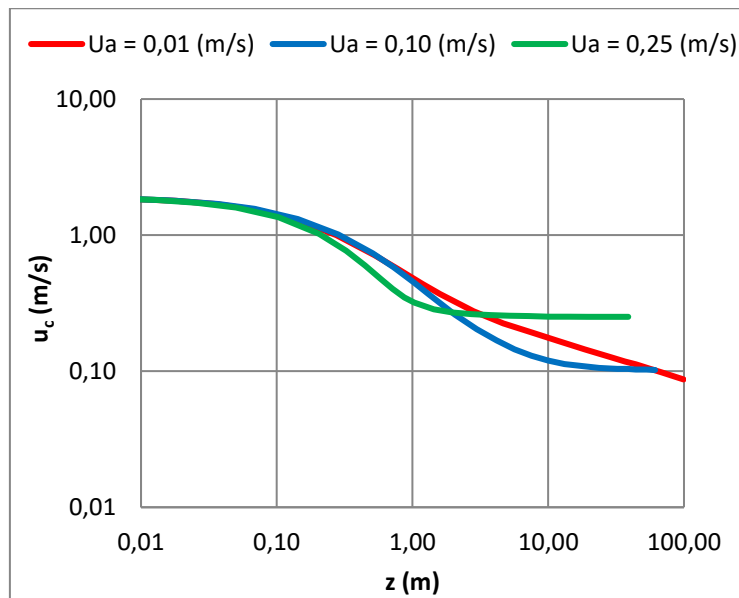
Στο Διάγραμμα 4.81 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.



Διάγραμμα 4. 81 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=75^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι όσο πιο μικρή είναι η τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a (m/s), η φλέβα αναδύεται πιο γρήγορα. Ακόμα συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα τροχιάς που μελετήθηκε προηγουμένως με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_0=3$) παρατηρείται αύξηση των τιμών που αφορούν την μέση και την μεγάλη ταχύτητα ρεύματος που μελετήθηκαν.

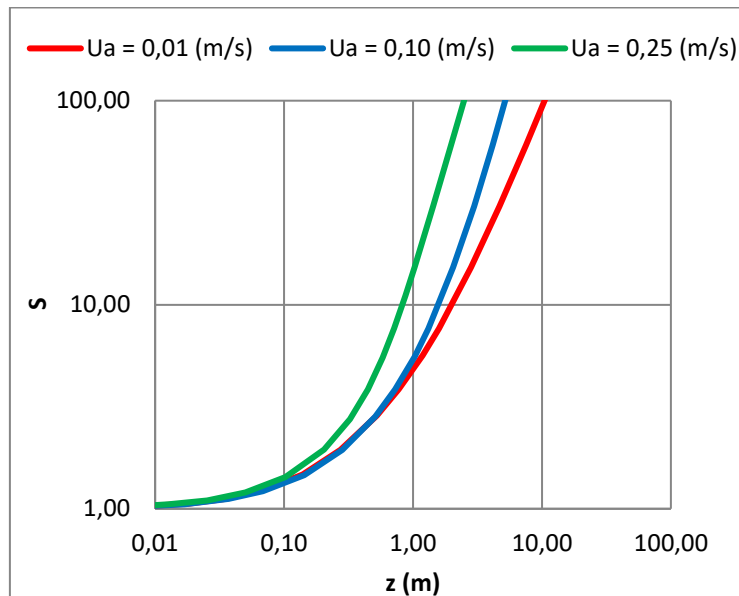
Στο Διάγραμμα 4.82 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 82 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=75^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι όσο μειώνεται η τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a , η τιμή της αξονικής ταχύτητας u_c μειώνεται και η φλέβα απομακρύνεται από το ακροφύσιο και αναδύεται αργότερα. Στο σημείο $z=0,25$ m η αξονική ταχύτητα u_c για όλες τις ταχύτητες του ρεύματος U_a που μελετήθηκαν παραμένει σταθερή και ανεπηρέαστη. Μετά το πέρας αυτής της απόστασης η αξονική ταχύτητα u_c για κάθε ρεύμα αποκτά την δική της τιμή. Ακόμα συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας u_c με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_0=3$) που μελετήθηκε προηγουμένως παρατηρείται αύξηση τιμής της αξονικής ταχύτητας u_c ($u_c > 1$) κατά την εκροή της από το ακροφύσιο.

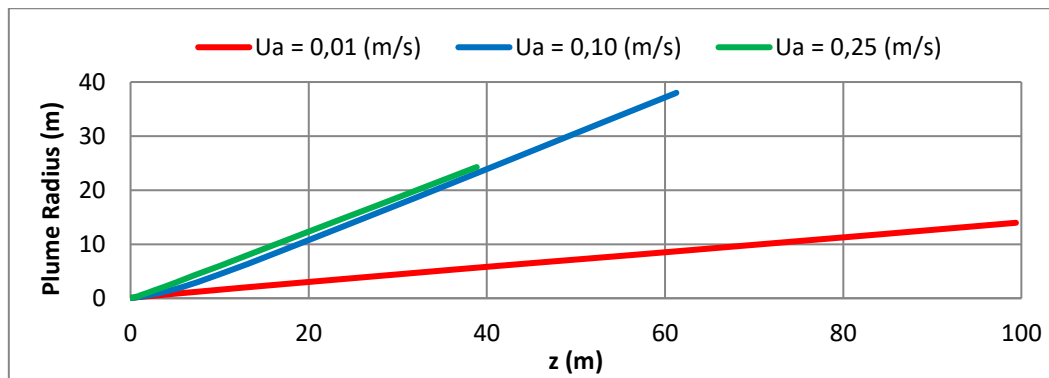
Στο Διάγραμμα 4.83 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4. 83 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραιώσης για $\theta_0=75^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Όπως και στο αντίστοιχο διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραιώσης S με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_0=3$) που μελετήθηκε προηγουμένως έτσι και εδώ ισχύει ότι κοντά στο ακροφύσιο συναντάμε μεγάλες αραιώσεις S και αντίστοιχα σε πιο μεγάλη απόσταση z από το ακροφύσιο συναντάμε μικρές αραιώσεις. Αν κάνουμε σύγκριση αυτών των δυο διαγραμμάτων παρατηρούμε αύξηση των τιμών των μεγεθών που μελετήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει αύξηση της τελικής τιμής της απόστασης z από το ακροφύσιο καθώς τώρα η μέγιστη τιμή της, για μικρή ταχύτητα ρεύματος U_a , είναι $z=10$ m.

Στο Διάγραμμα 4.84 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (σε m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 84 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=75^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01 \text{ m/s}, 0,10 \text{ m/s}, 0,25 \text{ m/s}$.

Παρατηρούμε ότι για μεσαίες τιμές ταχύτητας ρεύματος U_a η μεταβολή της ακτίνας της ανωστικής φλέβας είναι η μεγαλύτερη από όλες. Συγκριτικά και με το προηγούμενο διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_0=3$) που μελετήθηκε έτσι και εδώ ισχύει μια αύξηση των τιμών των μεγεθών που μελετήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, η ταχύτητα $U_a=0,25 \text{ m/s}$ έχει μεταβολή ακτίνας Plume radius=25m και φτάνει μέχρι την απόσταση $z=39\text{m}$ από το ακροφύσιο ενώ η μικρότερη ταχύτητα $U_a=0,01 \text{ m/s}$ έχει μεταβολή ακτίνας Plume radius=14m και φτάνει μέχρι την απόσταση $z=100\text{m}$ που βρίσκεται η επιφάνεια.

4.3.5.3 Προσομοιώσεις για $F_0=50$.

Στους Πίνακες 4.63, 4.64 και 4.65 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_0=75^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01\text{m/s}, 0,10 \text{ m/s}$ και $0,25 \text{ m/s}$ αντιστοίχως.

Πίνακας 4.63 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=75^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01 \text{ m/s}$.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	$\rho_a \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	$\rho_o \text{ (kg/m}^3\text{)}$	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	$g \text{ (m/s}^2\text{)}$	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	$d_o \text{ (m)}$	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	$U_a \text{ (m/s)}$	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	75
Αρχική παροχή*	$Q_o \text{ (m}^3\text{/s)}$	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.64 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=75^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,10
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	75
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

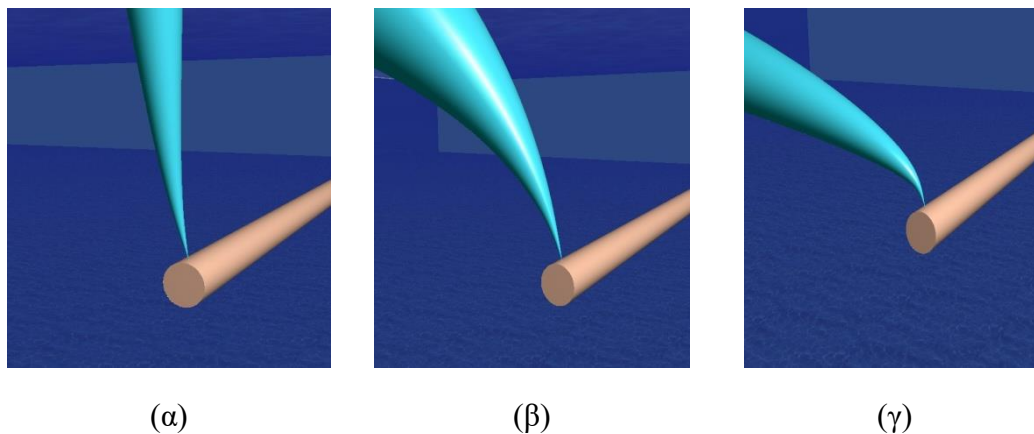
Πίνακας 4.65 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=75^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	75
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

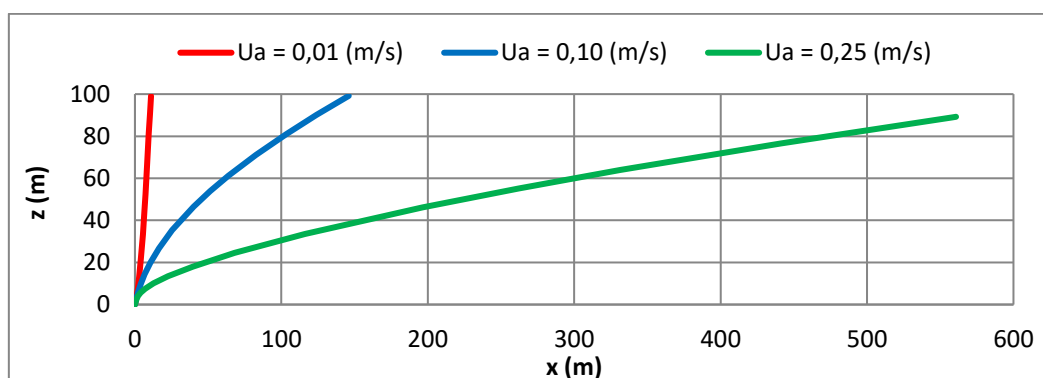
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.21 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 21 Οπτική παράσταση πεδίου ροής φλέβας ($\theta_o=75^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

Στο Διάγραμμα 4.85 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.

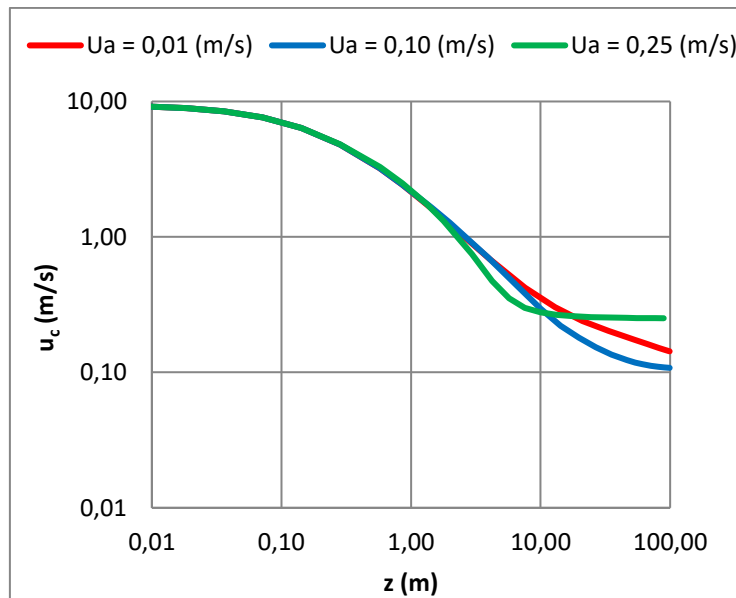


Διάγραμμα 4. 85 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=75^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρούμε ότι για μεγάλες τιμές ρεύματος U_a η ανάδυση δεν ολοκληρώνεται πλήρως. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα τροχιάς της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_o=3, F_o=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως παρατηρούμε μεγάλη διαφορά καθώς οι τιμές των μεγεθών έχουν σχεδόν διπλασιαστεί.

Στο Διάγραμμα 4.86 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του

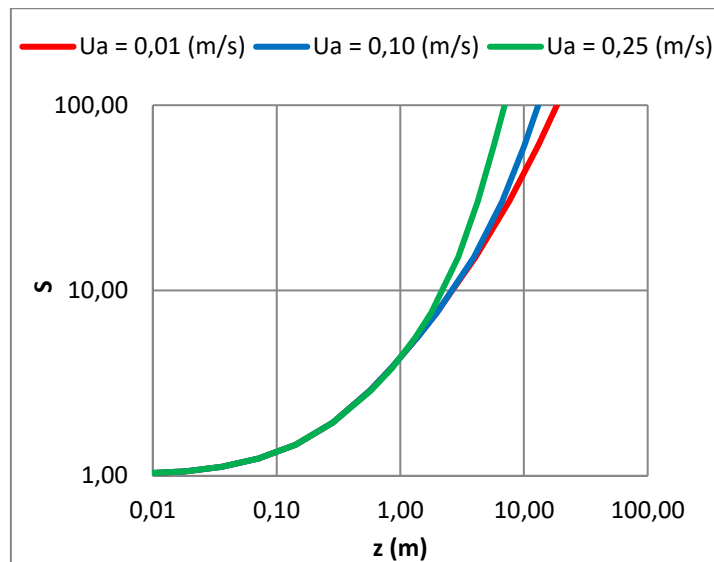
κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 86 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=75^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας u_c παρατηρούμε ότι για μεγάλη απόσταση z από το ακροφύσιο η αξονική ταχύτητα u_c της φλέβας παραμένει σταθερή και ανεπηρέαστη από κάθε τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a . Αυτό ισχύει μέχρι την απόσταση $z=3$ m. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας u_c της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_o=3, F_o=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως παρατηρούμε αύξηση στην αρχική τιμή της αξονικής ταχύτητας u_c . ($F_o=3, u_c < 1$ και $F_o=10, u_c > 1$)

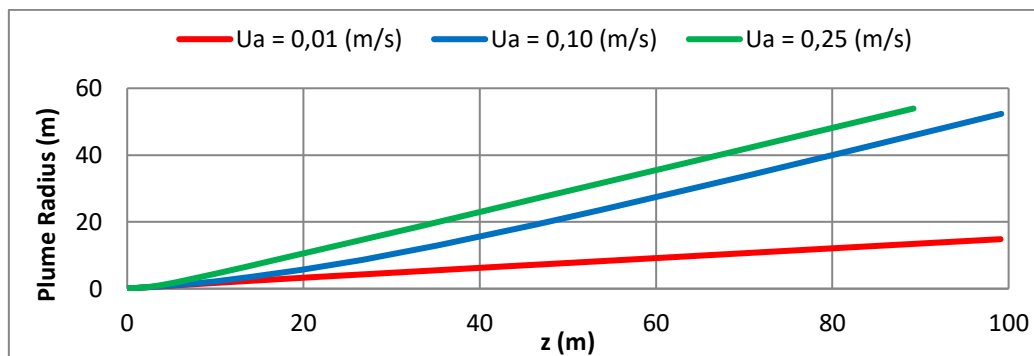
Στο Διάγραμμα 4.87 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4. 87 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραιώσης για $\theta_0=75^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι μέχρι την απόσταση $z=1,5$ m η αραιώση παραμένει σταθερή και ανεξάρτητη από τις τρεις τιμές ταχύτητας του ρεύματος U_a που μελετήθηκαν. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα μεταβολής της αραιώσης S της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_0=3, F_0=10$) παρατηρούμε μια αύξηση της τελικής τιμής της απόστασης z από το ακροφύσιο ($z > 10$). Στην περίπτωση με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 η τελική απόσταση z έχει τιμή $z < 10$, ενώ στην περίπτωση με πυκνομετρικό αριθμό Froude 10 έχει τιμή $z = 10$.

Στο Διάγραμμα 4.88 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (σε m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 88 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=75^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Στο παραπάνω διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας της φλέβας παρατηρούμε μεγάλη διαφορά συγκριτικά με τα άλλα δυο διαγράμματα με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_o=3$, $F_o=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι όσο μεγαλώνει η τιμή του πυκνομετρικού αριθμού Froude μεγαλώνει και η τιμή της μεταβολής της ακτίνας για κάθε ταχύτητα ρεύματος U_a που μελετάται.

4.3.6 Αποτελέσματα προσομοιώσεων για αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_o=90^\circ$

4.3.6.1 Προσομοιώσεις για $F_o=3$.

Στους Πίνακες 4.66, 4.67 και 4.68 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_o=90^\circ$, $F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s και 0,25 m/s αντιστοίχως.

Πίνακας 4.66 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=90^\circ$, $F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o °	90
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.67 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=90^\circ$, $F_o=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,10
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o °	90
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης

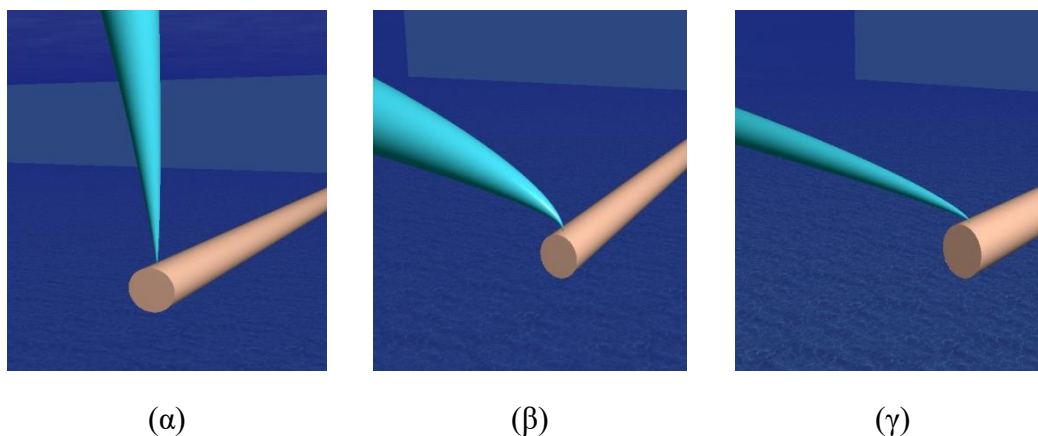
Πίνακας 4.68 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_0 (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_0 (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	90
Αρχική παροχή*	Q_0 (m ³ /s)	0,0044

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

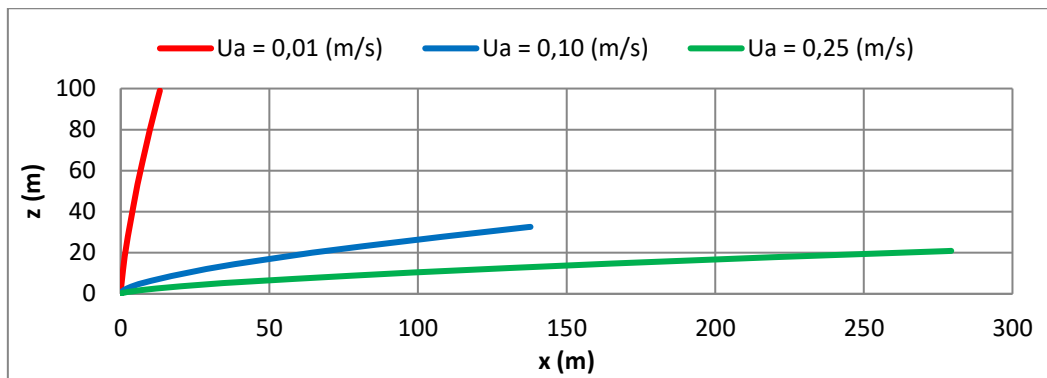
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.22 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της κατακόρυφης φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 22 Οπτική παράσταση πεδίου ροής κατακόρυφης φλέβας ($\theta_0=90^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

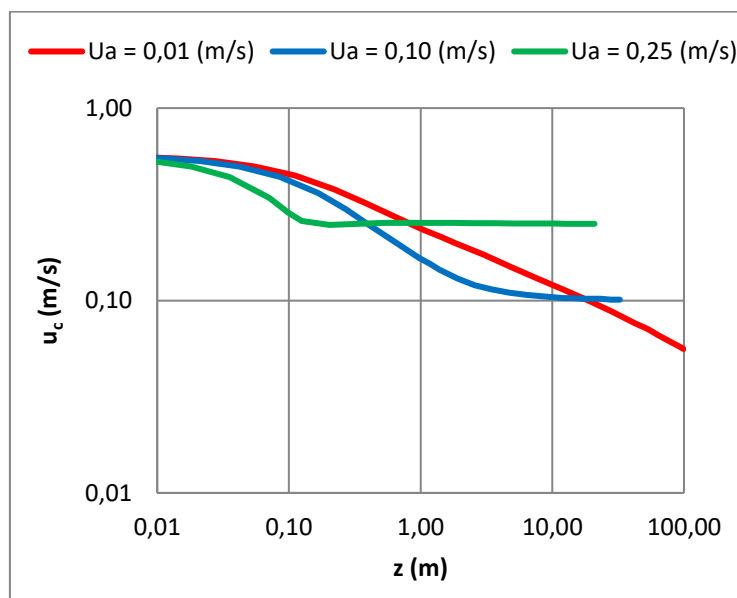
Στο Διάγραμμα 4.89 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.



Διάγραμμα 4. 89 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=90^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα ότι για τη μικρότερη ταχύτητα του ρεύματος που μελετήθηκε ($U_a=0,01$ m/s) η φλέβα αναδύεται στην επιφάνεια άμεσα συγκριτικά με τις υπόλοιπες ταχύτητες. Οι άλλες δυο ταχύτητες του ρεύματος φτάνουν μέχρι ένα σημείο και χάνονται. Για μεγάλες τιμές ρεύματος U_a παρατηρείται ότι η τροχιά που σχηματίζεται είναι μεγαλύτερη άρα και το μήκος της τροχιάς της φλέβας αυξάνεται.

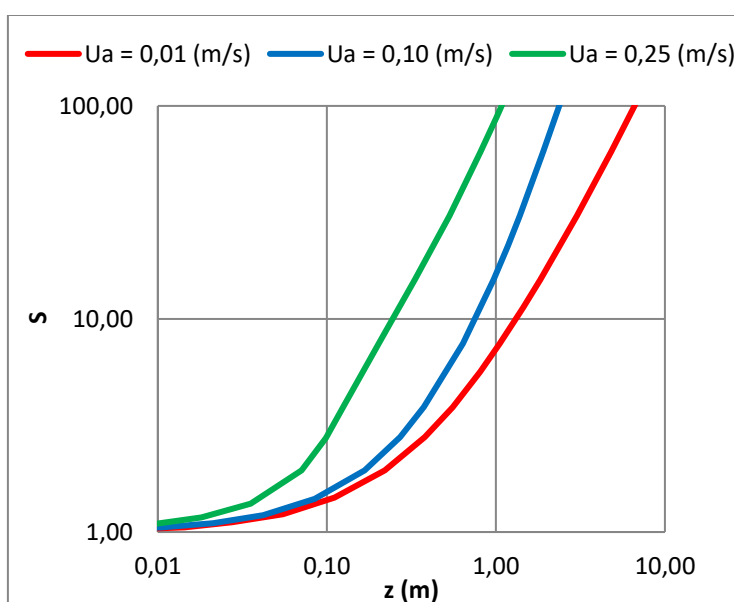
Στο Διάγραμμα 4.90 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της κατακόρυφης ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 90 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=90^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Παρατηρείται ότι κατά την εκροή της φλέβας από το ακροφύσιο η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας, για μεγάλες ταχύτητες ρεύματος περιβάλλοντος, παρουσιάζει μεγαλύτερη καμπύλη σχετικά με το προηγούμενο αντίστοιχο διάγραμμα μεταβολής για την γωνία $\theta_0=75^\circ$. Η τιμή της αξονικής ταχύτητας μειώνεται καθώς απομακρύνεται η φλέβα από το ακροφύσιο και εν τέλει καταλήγει στην ταχύτητα του ρεύματος.

Στο Διάγραμμα 4.91 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της κατακόρυφης ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.

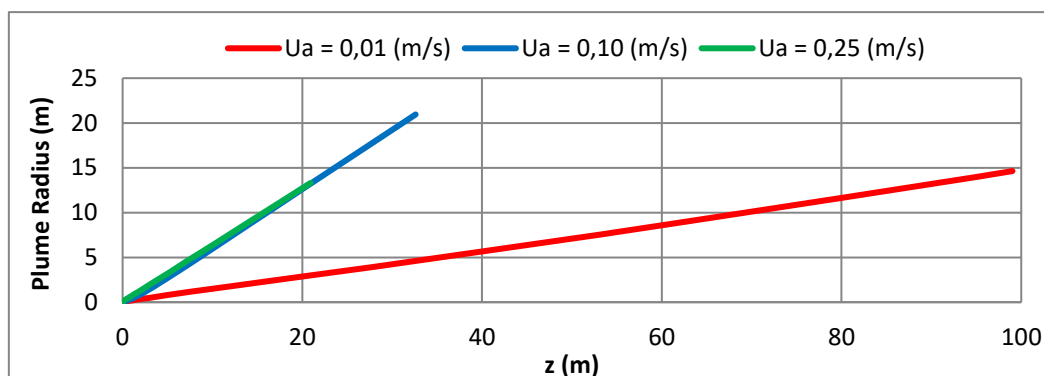


Διάγραμμα 4. 91 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=90^\circ, F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι στην περιοχή κοντά στο ακροφύσιο εκροής επιτυγχάνονται μεγαλύτερα επίπεδα αραιώσεων για μεγάλες τιμές ταχύτητας ρεύματος. Ακόμα για ένα μικρό διάστημα κοντά στο ακροφύσιο η μεταβολή της αραιώσης δεν μεταβάλλεται από την ταχύτητα ρεύματος U_a . Μετά από αυτό το διάστημα οι κατανομές αποκτούν διαφορετική τροχιά και είναι ανεξάρτητες.

Στο Διάγραμμα 4.92 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (σε m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του

κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4.92 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_o=90^\circ, F_o=3$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας της ανωστικής φλέβας παρατηρούμε ότι για μεγάλες ταχύτητες ρεύματος U_a η μεταβολή της ακτίνας της φλέβας είναι η μικρότερη από κάθε τιμή ταχύτητας ρεύματος U_a που έχει μελετηθεί. Πιο συγκεκριμένα, η ταχύτητα $U_a=0,25$ m/s έχει μεταβολή ακτίνας Plume radius=13m και φτάνει μέχρι την απόσταση $z=20$ m από το ακροφύσιο ενώ η μικρότερη ταχύτητα $U_a=0,01$ m/s έχει μεταβολή ακτίνας Plume radius=15m και φτάνει μέχρι την απόσταση $z=100$ m που βρίσκεται η επιφάνεια.

4.3.6.2 Προσομοιώσεις για $F_o=10$.

Στους Πίνακες 4.69, 4.70 και 4.71 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_o=90^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s και 0,25 m/s αντιστοίχως.

Πίνακας 4.69 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=90^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)

Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	90
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.70 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=90^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,10
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	90
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

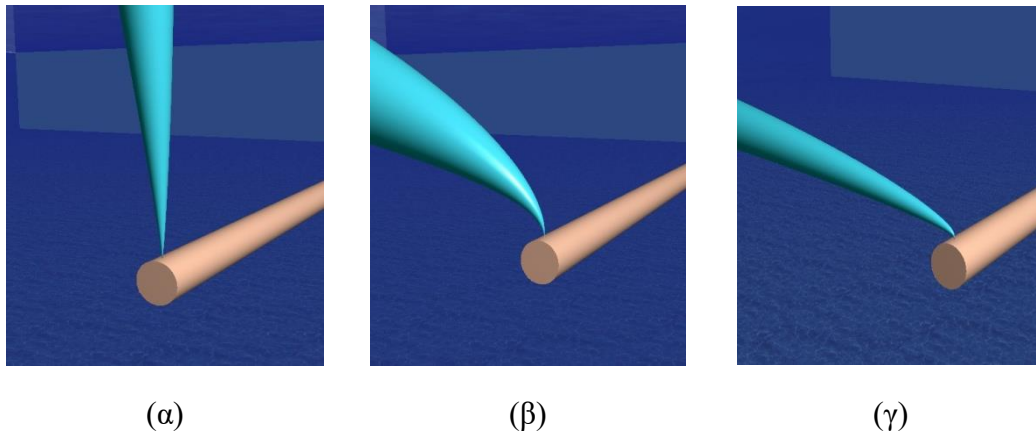
Πίνακας 4.71 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=90^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	90
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

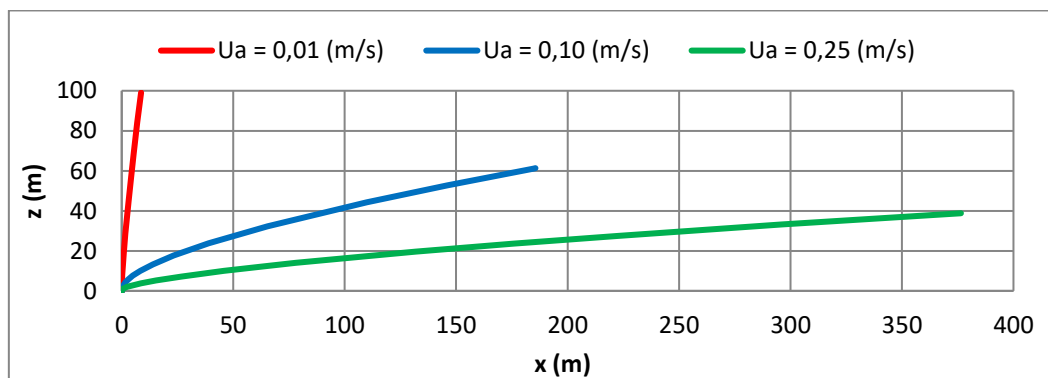
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.23 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της κατακόρυφης φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 23 Οπτική παράσταση πεδίου ροής κατακόρυφης φλέβας ($\theta_o=90^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

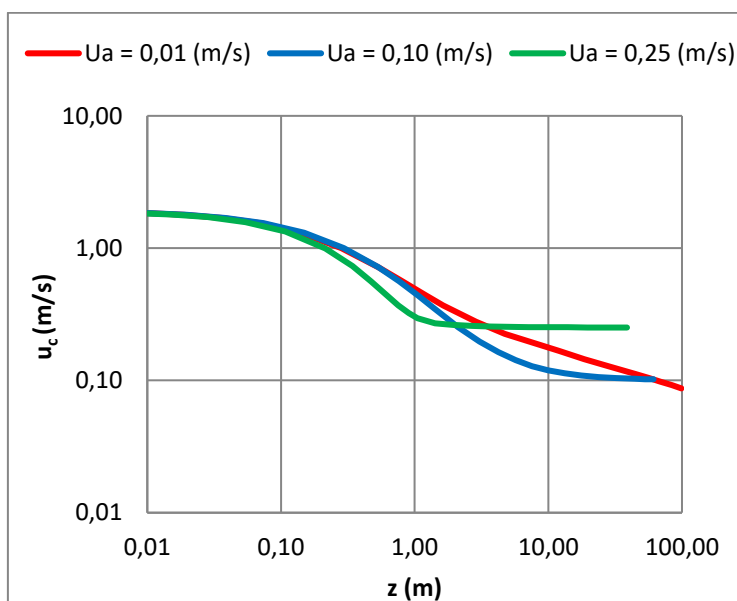
Στο Διάγραμμα 4.93 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.



Διάγραμμα 4. 93 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_o=90^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι όσο πιο μικρή είναι η τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a , η φλέβα αναδύεται πιο γρήγορα. Ακόμα συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα τροχιάς που μελετήθηκε προηγουμένως με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_o=3$) παρατηρείται αύξηση των τιμών των μεγεθών που μελετήθηκαν. Ακόμα παρατηρούμε ότι η καμπύλη της μικρότερης ταχύτητας ρεύματος U_a ($U_a=0,01$ m/s) λόγω της γωνίας εκροής της φλέβας θ_o ($\theta_o=90^\circ$) αρχίζει να γίνεται κάθετη.

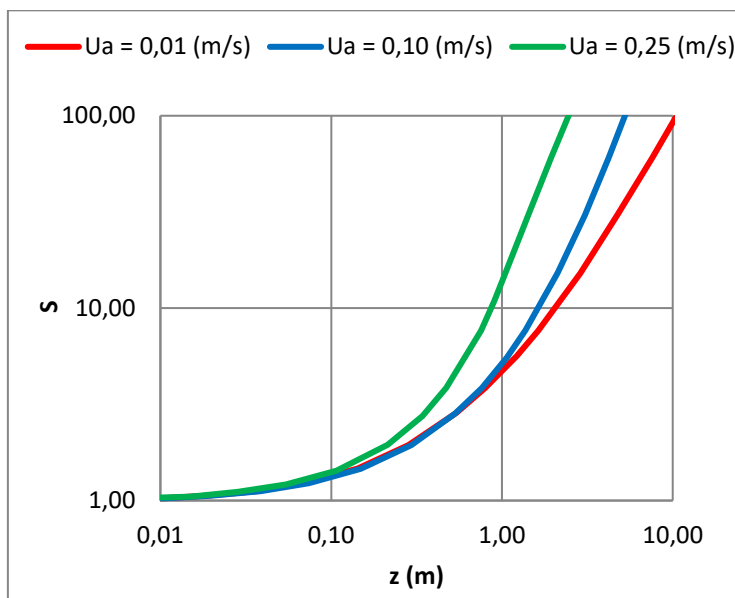
Στο Διάγραμμα 4.94 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της κατακόρυφης ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 94 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_0=90^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι όσο μειώνεται η τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a , η τιμή της αξονικής ταχύτητας u_c μειώνεται και η φλέβα απομακρύνεται από το ακροφύσιο και αναδύεται αργότερα. Αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό στο σημείο $z=0,10$ m όπου η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c για όλες τις ταχύτητες του ρεύματος U_a που μελετήθηκαν παραμένει σταθερή και ανεπηρέαστη. Μετά το πέρας αυτής της απόστασης η αξονική ταχύτητα u_c για κάθε ρεύμα αποκτά την δική της τιμή καταλήγοντας στην τιμή της ταχύτητας του περιβάλλοντος ρευστού. Ακόμα συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_0=3$) που μελετήθηκε προηγουμένως παρατηρείται αύξηση της αρχικής τιμής της αξονικής ταχύτητας u_c .

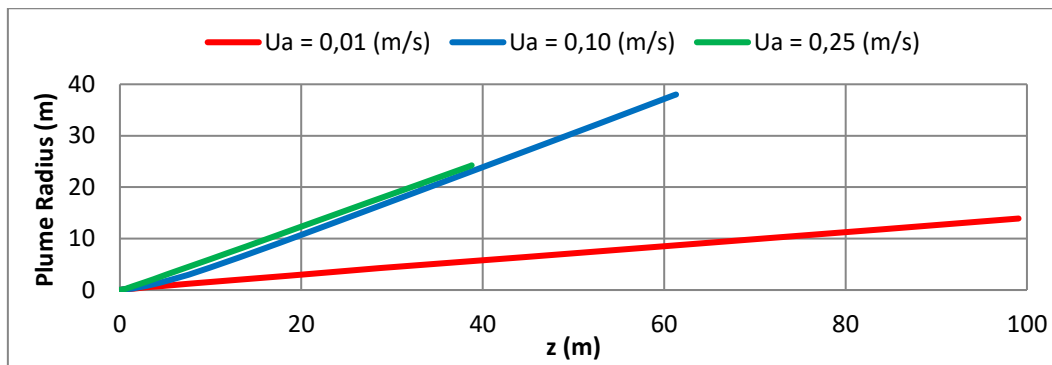
Στο Διάγραμμα 4.95 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της κατακόρυφης ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4. 95 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=90^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Όπως και στο αντίστοιχο διάγραμμα μεταβολής της αξονικής αραίωσης S με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_0=3$) που μελετήθηκε προηγουμένως έτσι και εδώ ισχύει ότι κοντά στο ακροφύσιο συναντάμε μεγάλες αραίώσεις για μεγάλα ρεύματα και αντίστοιχα σε πιο μεγάλη απόσταση z από το ακροφύσιο συναντάμε μικρές αραίώσεις για πιο μικρά ρεύματα. Αν κάνουμε σύγκριση αυτών των δυο διαγραμμάτων παρατηρούμε αύξηση των τιμών των μεγεθών που μελετήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει αύξηση της τελικής τιμής της απόστασης z από το ακροφύσιο καθώς τώρα η μέγιστη τιμή της, για μικρή ταχύτητα ρεύματος U_a , είναι $z=10$ m.

Στο Διάγραμμα 4.96 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (σε m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 96 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=90^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρούμε ότι για μεσαίες τιμές ταχύτητας ρεύματος U_a η μεταβολή της ακτίνας της ανωστικής φλέβας είναι η μεγαλύτερη από όλες. Συγκριτικά και με το προηγούμενο διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 ($F_0=3$) που μελετήθηκε έτσι και εδώ ισχύει μια αύξηση των τιμών των μεγεθών που μελετήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, η ταχύτητα $U_a=0,25$ m/s έχει μεταβολή ακτίνας Plume radius=25m και φτάνει μέχρι την απόσταση $z=39$ m από το ακροφύσιο ενώ η μικρότερη ταχύτητα $U_a=0,01$ m/s έχει μεταβολή ακτίνας Plume radius=14m και φτάνει μέχρι την απόσταση $z=100$ m που βρίσκεται η επιφάνεια.

4.3.6.3 Προσομοιώσεις για $F_0=50$.

Στους Πίνακες 4.72, 4.73 και 4.74 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για την περίπτωση όπου $\theta_0=90^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s και 0,25 m/s αντιστοίχως.

Πίνακας 4.72 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_0 (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_0 (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,01
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	90
Αρχική παροχή*	Q_0 (m ³ /s)	0,0745

- * Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.73 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=90^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,10
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	90
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

- * Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

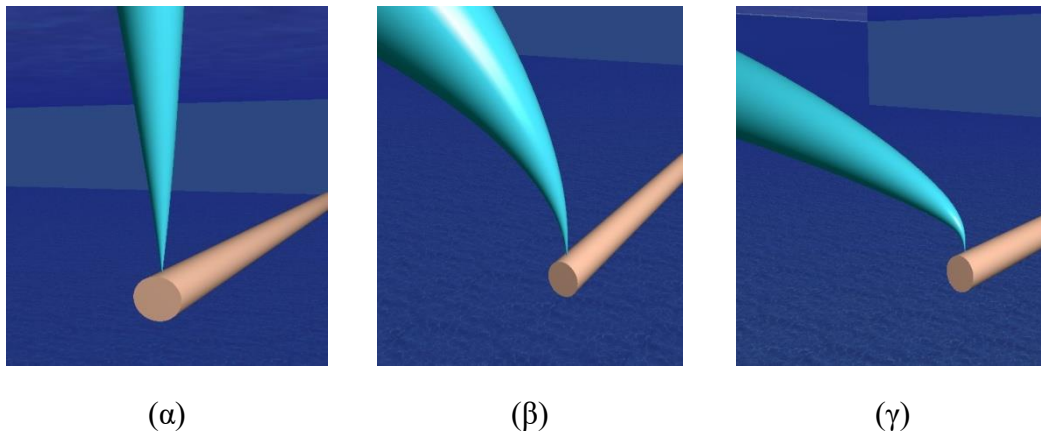
Πίνακας 4.74 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=90^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,25$ m/s.

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,25
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	90
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0745

- * Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

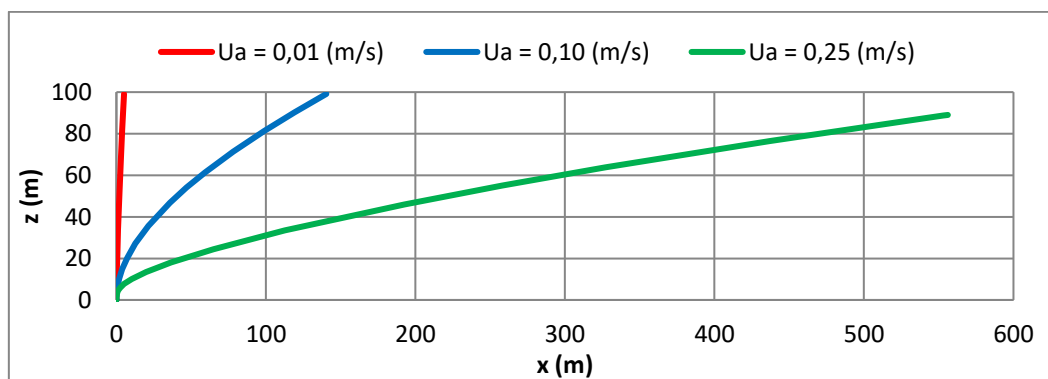
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.24 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της κατακόρυφης φλέβας για $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 24 Οπτική παράσταση πεδίου ροής κατακόρυφης φλέβας ($\theta_0=90^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με ταχύτητα ρεύματος (α) $U_a=0,01$ m/s, (β) $U_a=0,10$ m/s και (γ) $U_a=0,25$ m/s

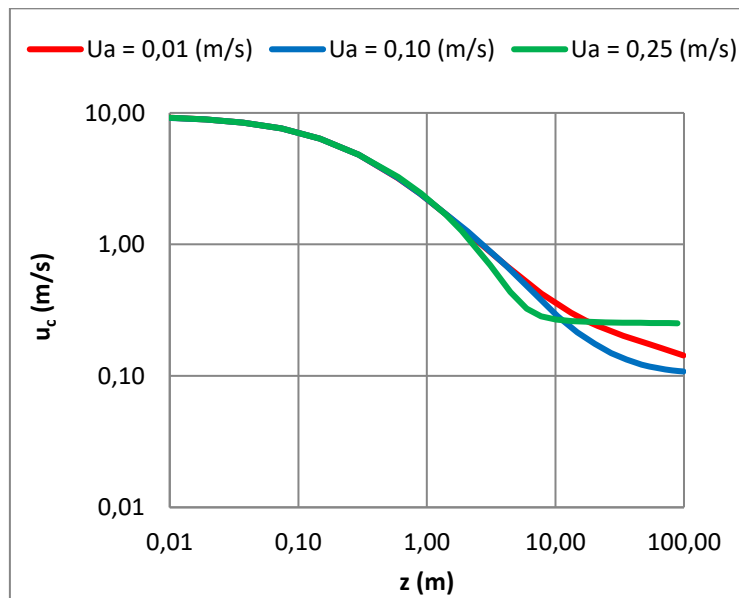
Στο Διάγραμμα 4.97 παρουσιάζονται οι τροχιές (συντεταγμένες του άξονα της φλέβας) για τις περιπτώσεις που προσομοιώθηκαν.



Διάγραμμα 4. 97 Διάγραμμα τροχιάς για $\theta_0=90^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρούμε ότι για μικρές τιμές ταχύτητας του ρεύματος η ανάδυση της φλέβας είναι άμεση διότι η τροχιά της είναι κάθετη. Για μεσαίες τιμές της ταχύτητας του ρεύματος της φλέβας η ανάδυση είναι πιο αργή αλλά φτάνει στην επιφάνεια ενώ για μεγάλες τιμές ρεύματος η ανάδυση δεν ολοκληρώνεται πλήρως. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα τροχιάς της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_o=3, F_o=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως παρατηρούμε μεγάλη διαφορά καθώς οι τιμές των μεγεθών έχουν σχεδόν διπλασιαστεί.

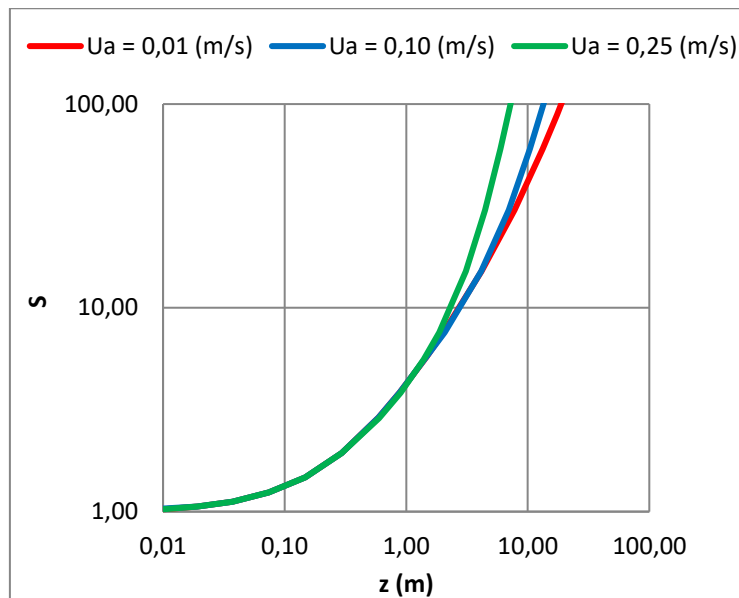
Στο Διάγραμμα 4.98 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής ταχύτητας u_c (σε m/s) της κατακόρυφης ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 98 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής ταχύτητας για $\theta_o=90^\circ, F_o=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Από το παραπάνω συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας u_c παρατηρούμε ότι για μεγάλη απόσταση z από το ακροφύσιο η αξονική ταχύτητα u_c της φλέβας παραμένει σταθερή και ανεπηρέαστη για κάθε τιμή της ταχύτητας του ρεύματος U_a . Αυτό ισχύει μέχρι την απόσταση $z \approx 2m$. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα μεταβολής της αξονικής ταχύτητας της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_o=3, F_o=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως παρατηρούμε αύξηση στην αρχική τιμή της αξονικής ταχύτητας u_c . ($F_o=3, u_c < 1$ και $F_o=10, u_c > 1$)

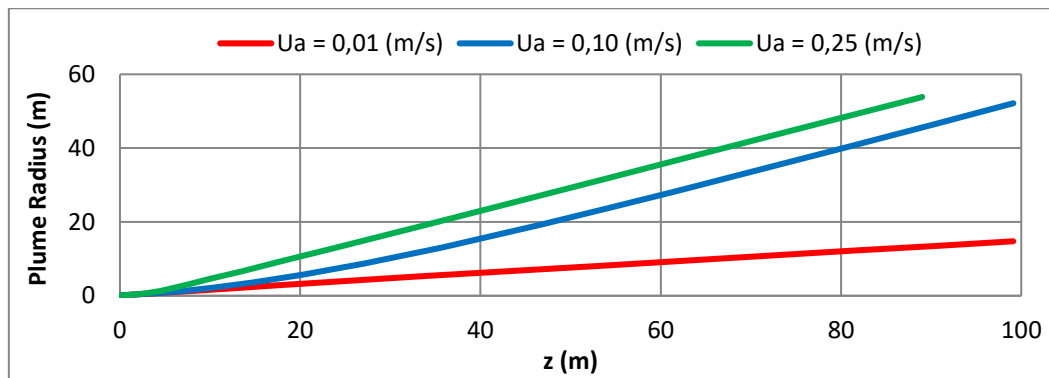
Στο Διάγραμμα 4.99 παρουσιάζεται η μεταβολή της αξονικής αραίωσης S της κατακόρυφης ανωστικής φλέβας, εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s, αντιστοίχως.



Διάγραμμα 4. 99 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής αξονικής αραίωσης για $\theta_0=90^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, 0,10 m/s, 0,25 m/s.

Παρατηρείται ότι μέχρι την απόσταση $z=1,90$ m η μεταβολή της αραίωσης S παραμένει σταθερή και ανεξάρτητη από τις τρεις τιμές ταχύτητας του ρεύματος U_a που μελετήθηκαν. Συγκριτικά και με τα άλλα δυο διαγράμματα μεταβολής της αραίωσης της φλέβας με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_0=3, F_0=10$) παρατηρούμε μια αύξηση της τελικής τιμής της απόστασης z από το ακροφύσιο ($z > 10$). Στην περίπτωση με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 η τελική απόσταση z έχει τιμή $z < 10$, ενώ στην περίπτωση με πυκνομετρικό αριθμό Froude 10 έχει τιμή $z = 10$.

Στο Διάγραμμα 4.100 παρουσιάζεται η μεταβολή της ακτίνας (σε m) της ανωστικής φλέβας (Plume radius), εντός ομογενούς και κινούμενου αποδέκτη, συναρτήσει του κατακόρυφου ύψους z (m), για τις περιπτώσεις $U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα 4. 100 Συγκριτικό διάγραμμα μεταβολής ακτίνας Plume Radius για $\theta_0=90^\circ, F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s, $0,10$ m/s, $0,25$ m/s.

Στο παραπάνω διάγραμμα μεταβολής της ακτίνας της φλέβας παρατηρούμε μεγάλη διαφορά συγκριτικά με τα άλλα δυο διαγράμματα με πυκνομετρικό αριθμό Froude 3 και 10 ($F_0=3, F_0=10$) που μελετήθηκαν προηγουμένως. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι όσο μεγαλώνει η τιμή του πυκνομετρικού αριθμού Froude μεγαλώνει και η τιμή της μεταβολής της ακτίνας της φλέβας.

4.4 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΣΕ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟ ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που έχουν μελετηθεί για τις γωνίες $\theta_0=0$ και $\theta_0=90$. Η σύγκριση θα πραγματοποιηθεί με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα της βιβλιογραφίας του Ayoub (1971) και του Fan (1967).

4.4.1 Αποτελέσματα προσομοιώσεων με αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=0^\circ$

Στους Πίνακες 4.75, 4.76, 4.77 και 4.78 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για τις περιπτώσεις όπου μελετήθηκαν.

Πίνακας 4.75 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=0^\circ, F_0=6,66$ και $U_a=0,6319$ m/s

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή

Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,6319
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o °	0
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0099

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.76 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=0^\circ, F_o=15$ και $U_a=0,5693$ m/s

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,5693
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o °	0
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0223

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.77 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=0^\circ, F_o=15$ και $U_a=0,1423$ m/s

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,1423
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o °	0
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0223

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.78 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=0^\circ, F_o=15$ και $U_a=0,3795$ m/s

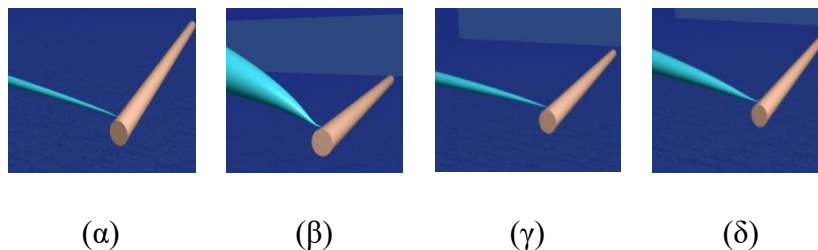
Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
---------	----------------------------	------

Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,3795
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	0
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0447

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

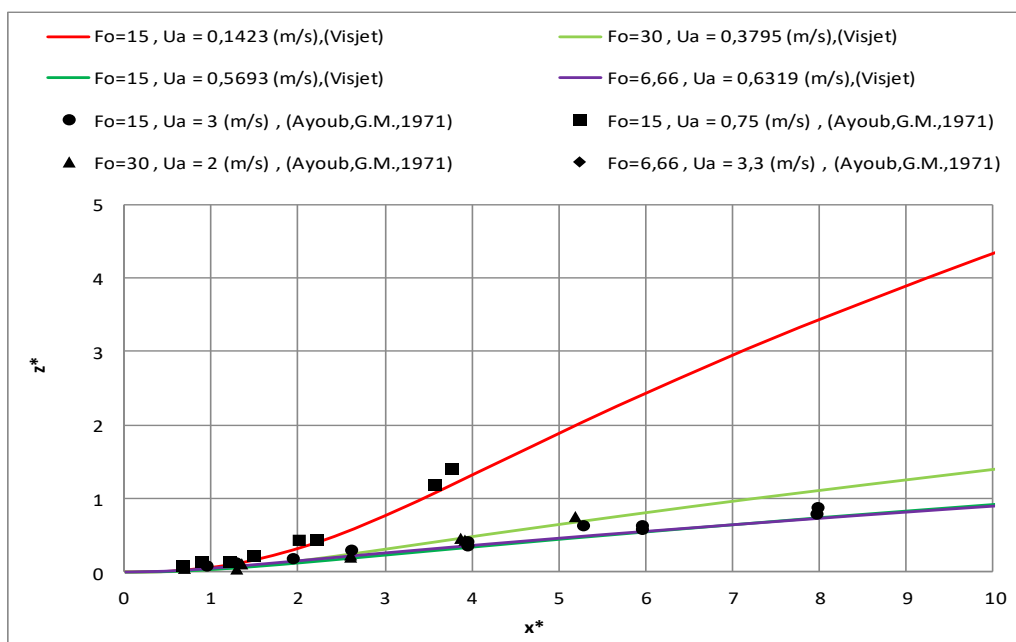
Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.25 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της οριζόντιας φλέβας $\theta_o=0^\circ$ με: (α) $F_o=6,66$ και $U_a=0,6319$ m/s, (β) $F_o=15$ και $U_a=0,1423$ m/s, (γ) $F_o=15$ και $U_a=0,5693$ m/s και (δ) $F_o=30$ και $U_a=0,3795$ m/s, αντιστοίχως.



Εικόνα 4. 25 Οπτική παράσταση πεδίου ροής οριζόντιας φλέβας ($\theta_o=0^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με: (α) $F_o=6,66$ και $U_a=0,6319$ m/s, (β) $F_o=15$ και $U_a=0,1423$ m/s, (γ) $F_o=15$ και $U_a=0,5693$ m/s και (δ) $F_o=30$ και $U_a=0,3795$ m/s

Στο Διάγραμμα 4.101 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αδιαστατοποιημένων τροχιών (x^* , z^*) που προέκυψαν από τη χρήση του μοντέλου VISJET για την οριζόντια γωνία ($\theta_o=0^\circ$) με τιμές $F_o=6,66$, 15 και 30. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συγκρίνονται με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα της βιβλιογραφίας του Ayoub (1971).



Διάγραμμα 4. 101 Συγκριτικό διάγραμμα αδιαστατοποιημένων τροχιών με πειραματικά δεδομένα Ayoub (1971) για $\theta_0=0^\circ$.

Πιο συγκεκριμένα, τα πειραματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την σύγκριση με το μοντέλο παρουσιάζουν ομοιότητες. Ομοιότητες συναντήθηκαν σε όλες τις περιπτώσεις με $F_o=15$ και $U_a=3$ m/s, $F_o=15$ και $U_a=0,75$ m/s, $F_o=30$ και $U_a=2$ m/s και $F_o=6,66$ και $U_a=0,3,3$ m/s, όπου επαληθεύουν τις καμπύλες των δοκιμών του μοντέλου με $F_o=15$ και $U_a=0,5693$ m/s, $F_o=15$ και $U_a=0,1423$ m/s, $F_o=30$ και $U_a=0,3795$ m/s και $F_o=6,66$ και $U_a=3,3$ m/s, αντίστοιχα.

4.4.2 Αποτελέσματα προσομοιώσεων με αρχική γωνία εκτόξευσης $\theta_0=90^\circ$

Στους Πίνακες 4.79, 4.80, 4.81, 4.82, 4.83, 4.84, 4.85, 4.86, 4.87 και 4.88 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχικές τιμές των δεδομένων για τις περιπτώσεις όπου μελετήθηκαν.

Πίνακας 4.79 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,4744$ m/s

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81

Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,4744
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	90
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.80 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=90^\circ, F_o=10$ και $U_a=0,2372$ m/s

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,2372
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	90
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0149

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.81 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=90^\circ, F_o=20$ και $U_a=0,9489$ m/s

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,9489
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	90
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0298

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.82 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=90^\circ, F_o=20$ και $U_a=0,4744$ m/s

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1

Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,4744
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	90
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0298

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.83 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=90^\circ, F_o=20$ και $U_a=0,3163$ m/s

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,3163
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	90
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0298

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.84 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=90^\circ, F_o=40$ και $U_a=1,8978$ m/s

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	1,8978
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_o°	90
Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,0596

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.85 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_o=90^\circ, F_o=40$ και $U_a=0,9489$ m/s

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,9489

Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	90
Αρχική παροχή*	Q_0 (m ³ /s)	0,0596

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.86 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ, F_0=40$ και $U_a=0,6326$ m/s

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,6326
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	90
Αρχική παροχή*	Q_0 (m ³ /s)	0,0596

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.87 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ, F_0=40$ και $U_a=0,4744$ m/s

Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,4744
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	90
Αρχική παροχή*	Q_0 (m ³ /s)	0,0596

* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_0 μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Πίνακας 4.88 Αρχικές τιμές δεδομένων για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ, F_0=80$ και $U_a=0,9489$ m/s

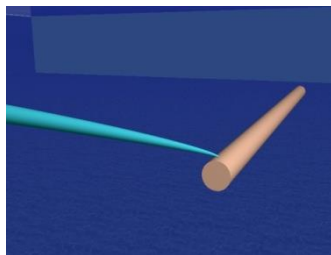
Μέγεθος	Σύμβολο (μονάδες μέτρησης)	Τιμή
Πυκνότητα περιβάλλοντος ρευστού	ρ_a (kg/m ³)	1035 (1,035 g/mL)
Αρχική πυκνότητα εκροής	ρ_o (kg/m ³)	997 (0,997 g/mL)
Επιτάχυνση βαρύτητας	g (m/s ²)	9,81
Διάμετρος ακροφυσίου	d_o (m)	0,1
Ταχύτητα ρεύματος	U_a (m/s)	0,9489
Αρχική γωνία εκτόξευσης	θ_0°	90

Αρχική παροχή*	Q_o (m ³ /s)	0,1192
----------------	---------------------------	--------

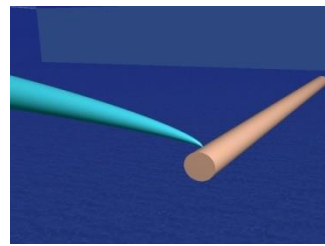
* Η τιμή της αρχικής παροχής υπολογίζεται βάσει του επιθυμητού αριθμού F_o μετά τον υπολογισμό της αρχικής ταχύτητας εκτόξευσης.

Η προσομοίωση των παραπάνω περιπτώσεων πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μοντέλο Visjet. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, παρουσιάζονται στα διαγράμματα και τις εικόνες που ακολουθούν.

Στην Εικόνα 4.26, 4.27, 4.28 και 4.29 παρουσιάζεται οπτικά το πεδίο ροής της κατακόρυφης φλέβας $\theta_o=90^\circ$ με: (α) $F_o=10$ και $U_a=0,4744$ m/s, (β) $F_o=10$ και $U_a=0,2372$ m/s, (γ) $F_o=20$ και $U_a=0,9489$ m/s, (δ) $F_o=20$ και $U_a=0,4744$ m/s και (ε) $F_o=20$ και $U_a=0,3163$ m/s, (ζ) $F_o=40$ και $U_a=1,8975$ m/s, (η) $F_o=40$ και $U_a=0,9489$ m/s, (θ) $F_o=40$ και $U_a=0,6326$ m/s, (ι) $F_o=40$ και $U_a=0,4744$ m/s και (κ) $F_o=80$ και $U_a=0,9489$ m/s, αντιστοίχως.

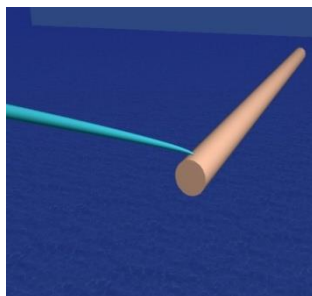


(α)

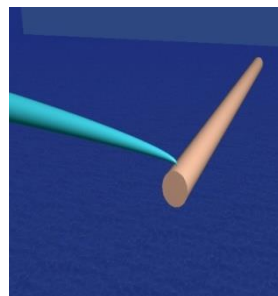


(β)

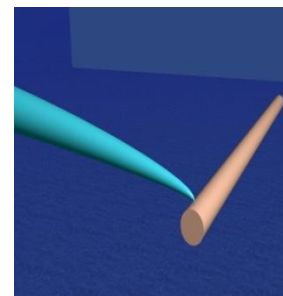
Εικόνα 4. 26 Οπτική παράσταση πεδίου ροής κατακόρυφης φλέβας ($\theta_o=90^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με: (α) $F_o=10$ και $U_a=0,4744$ m/s και (β) $F_o=10$ και $U_a=0,2372$ m/s



(γ)

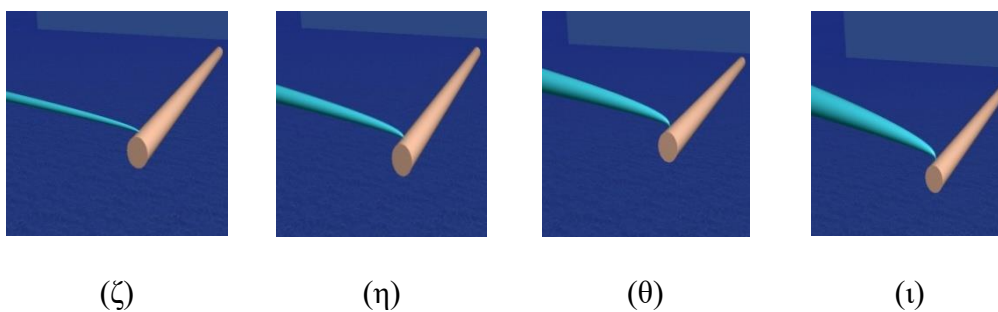


(δ)

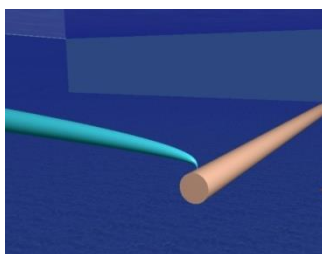


(ε)

Εικόνα 4. 27 Οπτική παράσταση πεδίου ροής κατακόρυφης φλέβας ($\theta_o=90^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με : (γ) $F_o=20$ και $U_a=0,9489$ m/s, (δ) $F_o=20$ και $U_a=0,4744$ m/s και (ε) $F_o=20$ και $U_a=0,3163$ m/s

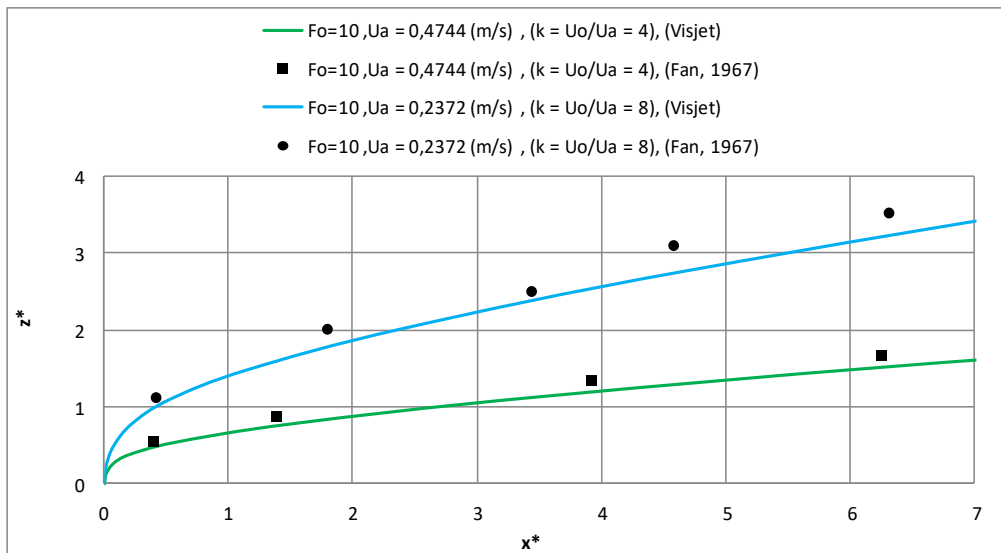


Εικόνα 4. 28 Οπτική παράσταση πεδίου ροής κατακόρυφης φλέβας ($\theta_0=90^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με : (ζ) $F_0=40$ και $U_a=1,8975$ m/s, (η) $F_0=40$ και $U_a=0,9489$ m/s, (θ) $F_0=40$ και $U_a=0,6326$ m/s, (ι) $F_0=40$ και $U_a=0,4744$ m/s



(κ)
Εικόνα 4. 29 Οπτική παράσταση πεδίου ροής κατακόρυφης φλέβας ($\theta_0=90^\circ$) σε κινούμενο αποδέκτη με : (κ) $F_0=80$ και $U_a=0,9489$ m/s

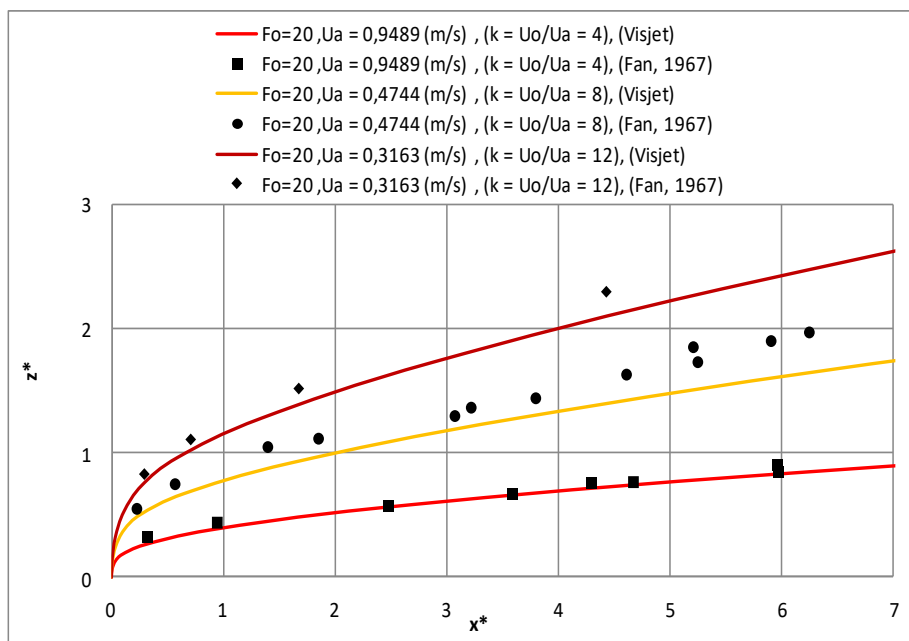
Στο Διάγραμμα 4.102 αδιαστατοποιημένων τροχιών (x^*,z^*) που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη χρήση του μοντέλου VISJET για την περίπτωση με γωνία $\theta_0=90^\circ, F_0=10$ και $U_a=0,4744$ m/s και $U_a=0,2372$ m/s αντίστοιχα, και συγκρίνονται με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα της βιβλιογραφίας του Fan (1967).



Διάγραμμα 4. 102 Συγκριτικό διάγραμμα αδιαστατοποιημένων τροχιών με πειραματικά δεδομένα Fan (1967) για $\theta_0=90^\circ$ και $F_0=10$.

Σε αυτό το διάγραμμα (4.102) παρατηρούμε ότι οι καμπύλες των τροχιών που προέκυψαν από τη χρήση του μοντέλου συμπεριφέρονται αρκετά καλά συγκριτικά με τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα του Fan (1967), χωρίς να εμφανίζονται σημαντικές αποκλίσεις. Για να πραγματοποιηθεί η σύγκριση με τα πειραματικά δεδομένα χρειάζεται να υπάρχει πλήρης αντιστοιχία των περιπτώσεων. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη ότι για $F_0=10$ η αρχική ταχύτητα εκροής είναι $U_0=1,8976$ m/s, υπολογίστηκε ότι για $k=4$, η ταχύτητα του ρεύματος θα πρέπει να ορισθεί $U_a=0,4744$ m/s και για $k=8$, η ταχύτητα του ρεύματος θα πρέπει να ορισθεί $U_a=0,2372$ m/s.

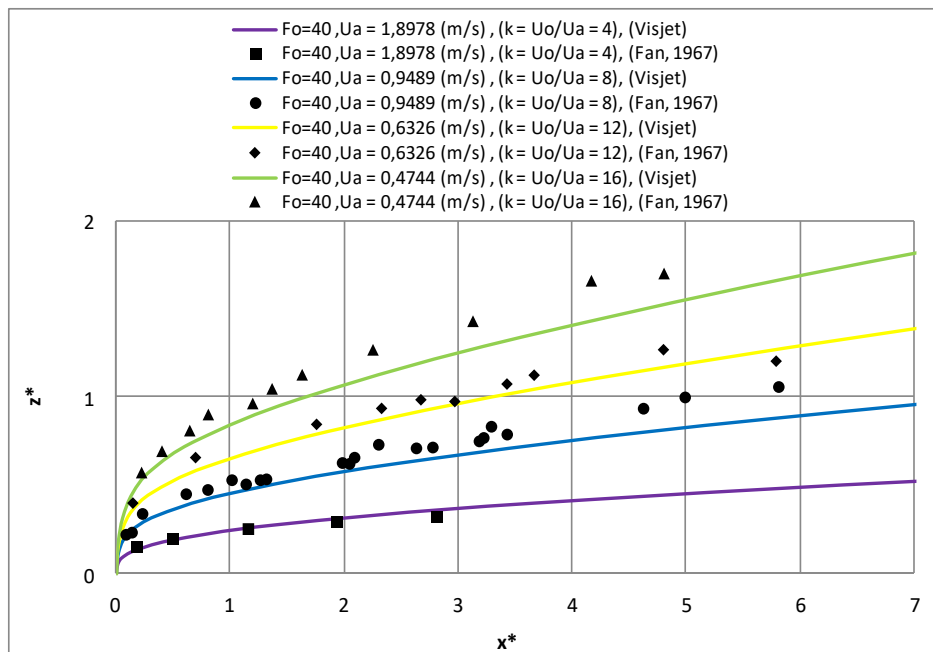
Στο Διάγραμμα 4.103 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αδιαστατοποιημένων τροχιών (x^*,z^*), που προέκυψαν από τη χρήση του μοντέλου VISJET για την περίπτωση με γωνία $\theta_0=90^\circ, F_0=20$ και $U_a=0,9489$ m/s, $U_a=0,4744$ m/s και $U_a=0,3163$ m/s αντίστοιχα, και συγκρίνονται με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα της βιβλιογραφίας του Fan (1967).



Διάγραμμα 4. 103 Συγκριτικό διάγραμμα αδιαστατοποιημένων τροχιών με πειραματικά δεδομένα Fan (1967) για $\theta_0=90^\circ$ και $F_0=20$.

Σε αυτό το διάγραμμα (4.103) παρατηρούμε ότι οι καμπύλες των τροχιών που προέκυψαν από τη χρήση του μοντέλου συμπεριφέρονται αρκετά καλά συγκριτικά με τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα του Fan (1967). Παρατηρείται ότι υπάρχει ακριβής σύμπτωση για την υψηλή ταχύτητα ρεύματος ($k=4$) ενώ για τις υπόλοιπες δύο περιπτώσεις τα αποτελέσματα του μοντέλου είναι ικανοποιητικά. Για να πραγματοποιηθεί η σύγκριση με τα πειραματικά δεδομένα χρειάζεται να υπάρχει πλήρης αντιστοίχιση των περιπτώσεων. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη ότι για $F_0=20$ αρχική ταχύτητα εκροής είναι $U_0=3,796$ m/s, υπολογίστηκε ότι για $k=4$, η ταχύτητα του ρεύματος θα πρέπει να ορισθεί $U_a=0,9489$ m/s, για $k=8$, η ταχύτητα του ρεύματος θα πρέπει να ορισθεί $U_a=0,4744$ m/s και για $k=12$ η ταχύτητα του ρεύματος θα πρέπει να ορισθεί $U_a=0,3163$ m/s.

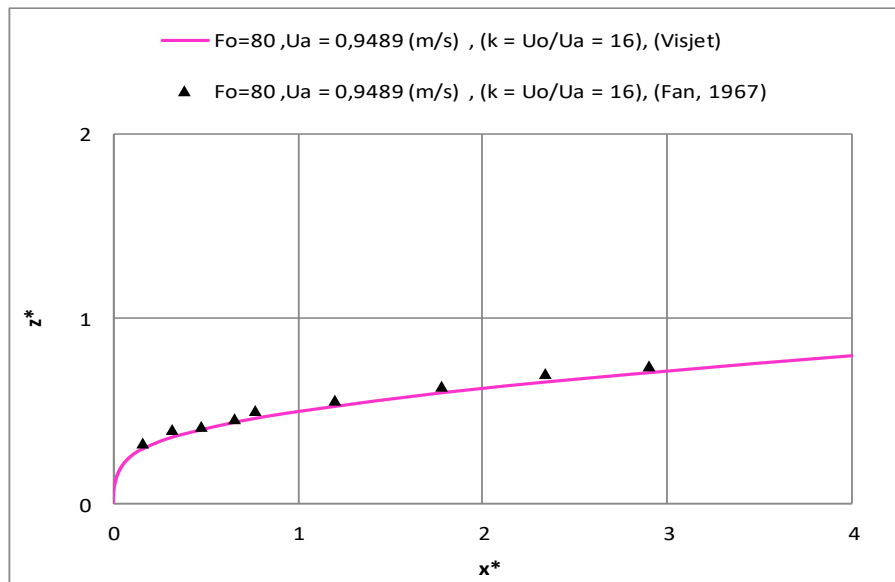
Στο Διάγραμμα 4.104 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αδιαστατοποιημένων τροχιών (x^*,z^*) που προέκυψαν από τη χρήση του μοντέλου VISJET για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ, F_0=40$ και $U_a=1,8978$ m/s, $U_a=0,9489$ m/s, $U_a=0,6326$ m/s και $U_a=0,4744$ m/s αντίστοιχα, και συγκρίνονται με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα της βιβλιογραφίας του Fan (1967).



Διάγραμμα 4. 104 Συγκριτικό διάγραμμα αδιαστατοποιημένων τροχιών με πειραματικά δεδομένα Fan (1967) για $\theta_0=90^\circ$ και $F_0=40$.

Σε αυτό το διάγραμμα (4.104) παρατηρούμε ότι οι καμπύλες των τροχιών που προέκυψαν από τη χρήση του μοντέλου συμπεριφέρονται αρκετά καλά συγκριτικά με τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα του Fan (1967). Παρατηρείται ότι υπάρχει αρκετά ικανοποιητική σύμπτωση για τις υψηλές ταχύτητες ρεύματος ($k=4$ και $k=8$) ενώ για τις υπόλοιπες δύο περιπτώσεις τα αποτελέσματα του μοντέλου δύναται να θεωρηθούν ικανοποιητικά ειδικά για την περιοχή κοντά στην έξοδο του ακροφυσίου. Για να πραγματοποιηθεί η σύγκριση με τα πειραματικά δεδομένα χρειάζεται να υπάρχει πλήρης αντιστοίχιση των περιπτώσεων. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη ότι για $F_0=40$ αρχική ταχύτητα εκροής είναι $U_0=7,591 \text{ m/s}$, υπολογίστηκε ότι για $k=4$, η ταχύτητα του ρεύματος θα πρέπει να ορισθεί $U_a=1,8978 \text{ m/s}$, για $k=8$, η ταχύτητα του ρεύματος θα πρέπει να ορισθεί $U_a=0,9489 \text{ m/s}$, για $k=12$ η ταχύτητα του ρεύματος θα πρέπει να ορισθεί $U_a=0,6326 \text{ m/s}$ και για $k=16$ η ταχύτητα του ρεύματος θα πρέπει να ορισθεί $U_a=0,4744 \text{ m/s}$.

Στο Διάγραμμα 4.105 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αδιαστατοποιημένων τροχιών (x^*, z^*), που προέκυψαν από τη χρήση του μοντέλου VISJET για την περίπτωση $\theta_0=90^\circ$, $F_0=80$ και $U_a=0,9489 \text{ m/s}$, και συγκρίνονται με διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα του Fan (1967).



Διάγραμμα 4. 105 Συγκριτικό διάγραμμα αδιαστατοποιημένων τροχιών με πειραματικά δεδομένα Fan (1967) για $\theta_0=90^\circ$ και $F_0=80$.

Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι η αξονική τροχιά που εκτιμήθηκε από το μοντέλο προσαρμόζεται με τα πειραματικά δεδομένα του Fan (1967), με $F_0=80$. Η αξονική τροχιά υπολογίστηκε για $k=16$ ίδιο με εκείνο του Fan.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετήθηκε το πεδίο ροής που σχηματίζεται από την εκροή ανωστικής φλέβας σε ακίνητο και κινούμενο υδάτινο όγκο για διάφορες περιπτώσεις αρχικών συνθηκών εκροής (γωνία και ταχύτητα εκροής). Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο JETLAG που αποτελεί τον πυρήνα του λογισμικού VISJET. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις σε ακίνητο ($U_a=0$ m/s) και κινούμενο περιβάλλον ρευστό για αρχικές γωνίες εκτόξευσης $\theta_0=0^\circ$, 30° , 45° , 60° , 75° και 90° . Για κάθε περίπτωση υπολογίστηκε η τροχιά του άξονα της ανωστικής φλέβας, η μεταβολή των αξονικών ταχυτήτων και η μεταβολή της αξονικής αραιώσης. Επίσης, υπολογίστηκε η μεταβολή του εύρους της φλέβας συναρτήσει της αξονικής απόστασης και παρουσιάστηκε οπτικά η αναπαράσταση του πεδίου ροής.

Στις περιπτώσεις ακίνητου αποδέκτη, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις, φαίνεται ότι το μοντέλο προβλέπει με καλύτερη ακρίβεια την αξονική τροχιά του πεδίου ροής σε σχέση με τη πρόβλεψη της μεταβολής των αξονικών αραιώσεων. Για την περίπτωση της κατακόρυφης εκροής όπου υπήρχαν διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα μεταβολής αξονικών τιμών ταχυτήτων και αραιώσεων, το

μοντέλο VISJET υποεκτιμά την αξονική μεταβολή των ταχυτήτων ενώ συμπεριφέρεται ικανοποιητικά στην εκτίμηση των αξονικών αραιώσεων έχοντας μια ελαφρά συντηρητική εκτίμηση της αξονικής μεταβολής.

Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι το μοντέλο παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά όταν το περιβάλλον ρευστό είναι κινούμενο. Παρατηρήθηκε ότι η πρόβλεψη των αξονικών τροχιών για κάθε περίπτωση αρχικής γωνίας εκτόξευσης και ταχύτητας ρεύματος, που υπήρχαν διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα, ήταν αρκετά καλή.

5.1 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Ενδεικτικά παρατίθενται στην συνέχεια ορισμένες προτάσεις που θα μπορούσαν να αποτελέσουν θέματα μελλοντικής έρευνας. Όσο αφορά το πειραματικό πεδίο έρευνας, θα ήταν χρήσιμο να πραγματοποιηθούν πειράματα για τις περιπτώσεις στις οποίες υπάρχουν ελλείψεις, ώστε να υπάρξουν δεδομένα για να συγκριθούν με τα αποτελέσματα που παρέχει το μοντέλο VISJET. Αναφορικά με το πεδίο των προσομοιώσεων, υπάρχει η δυνατότητα να μελετηθούν περιπτώσεις ανωστικών φλεβών σε πυκνομετρικά στρωματοποιημένο αποδέκτη με παρουσία ή μη ρεύματος στο περιβάλλον ρευστό. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων θα πρέπει να συγκριθούν με αντίστοιχα πειραματικά δεδομένα της διεθνούς βιβλιογραφίας και όπου δεν υπάρχουν να πραγματοποιηθούν σε μελλοντικό χρόνο.

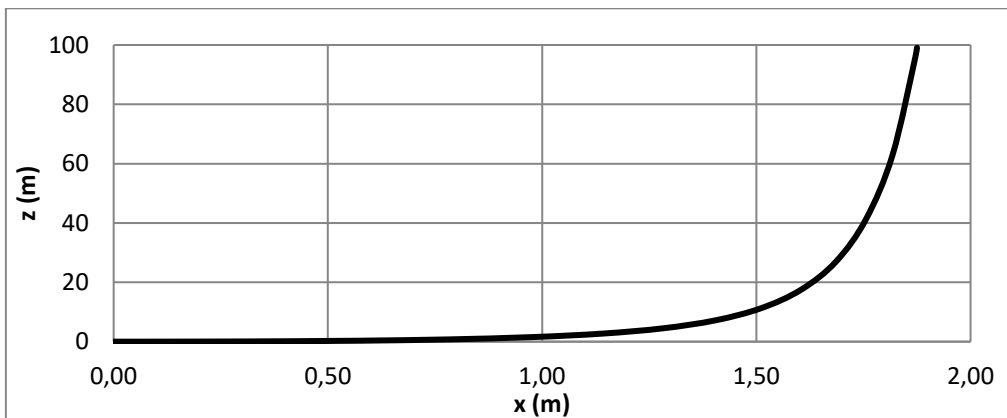
Τέλος, θα ήταν χρήσιμο να μελετηθεί και η περίπτωση της αλληλεπίδρασης πολλαπλών φλεβών τόσο με τη χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού όσο και πειραματικά, όπου υπάρχουν ελλείψεις στα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα της διεθνούς βιβλιογραφίας. Οι περιπτώσεις που μπορούν να εξετασθούν είναι γραμμικού διαχύτη ή τύπου ροζέτας σε διάφορες αρχικές συνθήκες εκροής και περιβαλλοντικών συνθηκών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

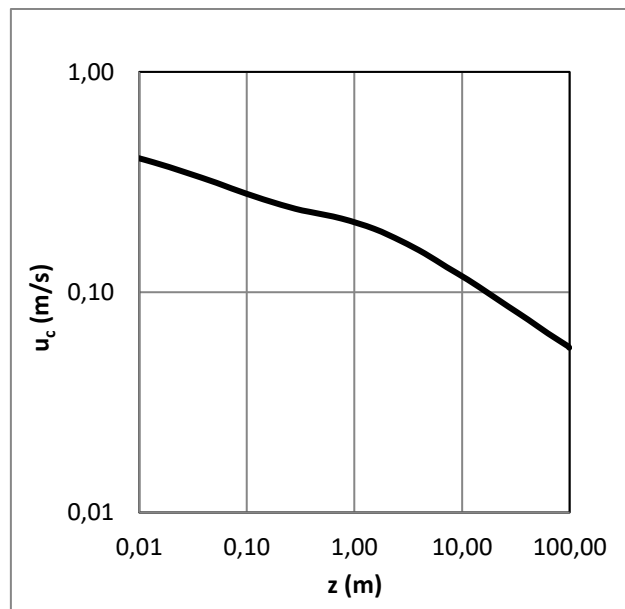
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΣΤΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΤΡΟΧΙΩΝ, ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ, ΜΕΣΗΣ ΑΡΑΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΤΗΣ ΦΛΕΒΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ($U_a=0$ m/s)

Διαγράμματα για γωνία 0°

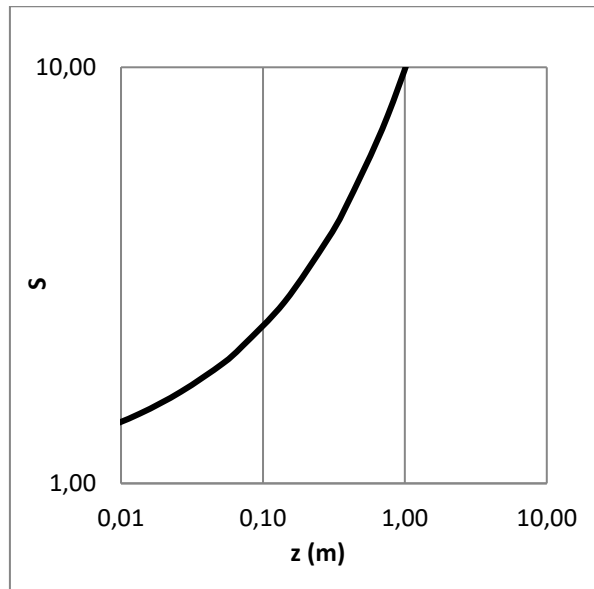
■ Γωνία $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.



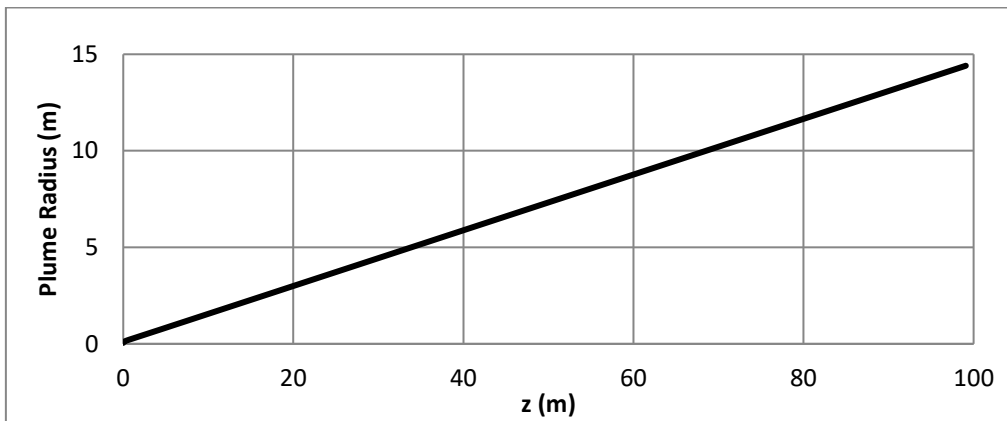
Διάγραμμα A. 1 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα A. 2 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

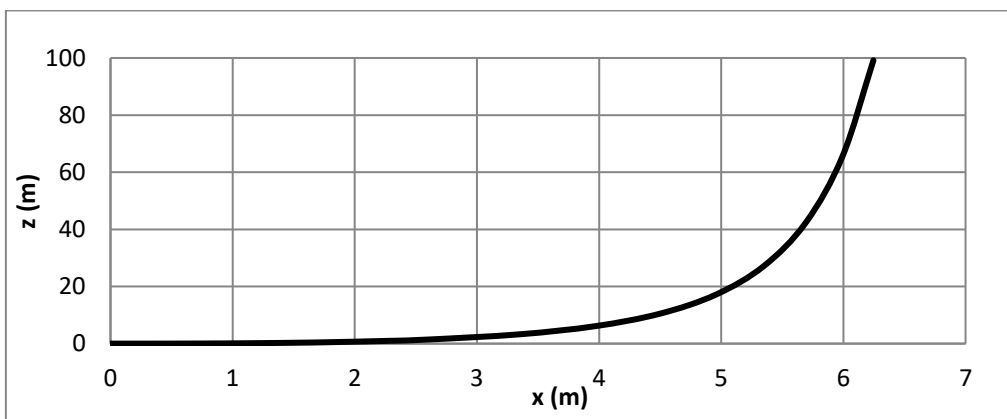


Διάγραμμα Α. 3 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

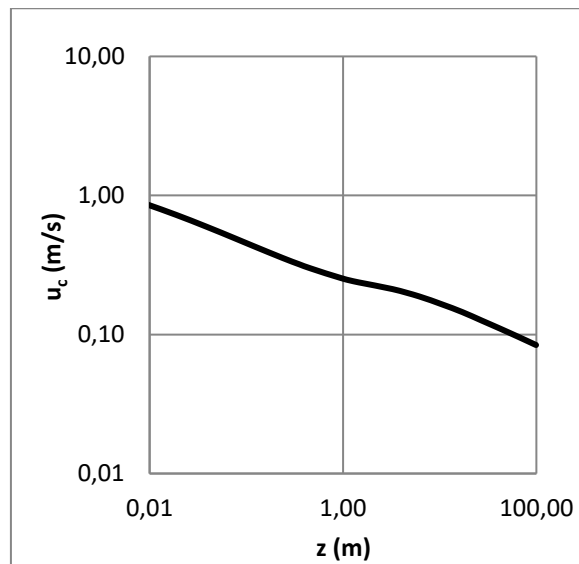


Διάγραμμα Α. 4 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

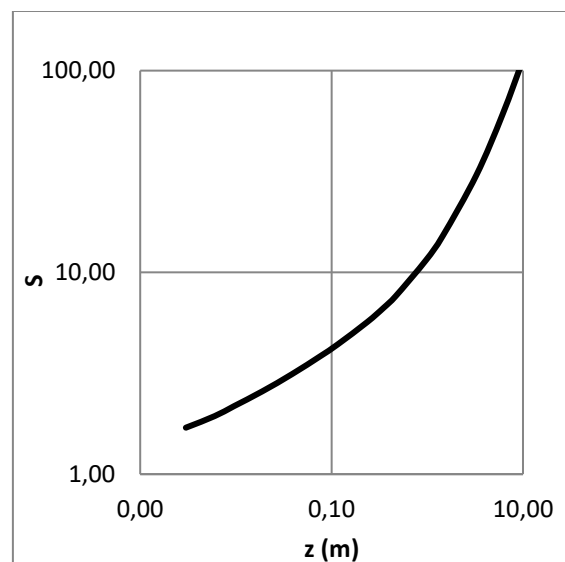
■ Γωνία $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.



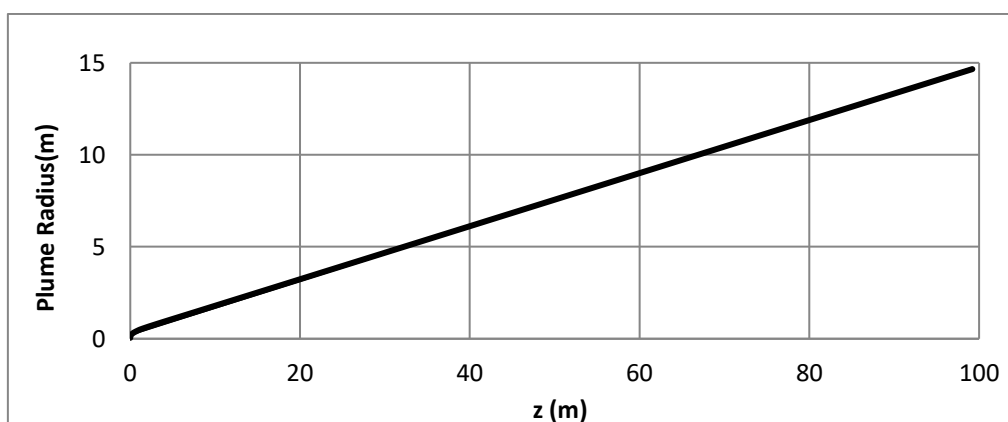
Διάγραμμα Α. 5 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 6 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

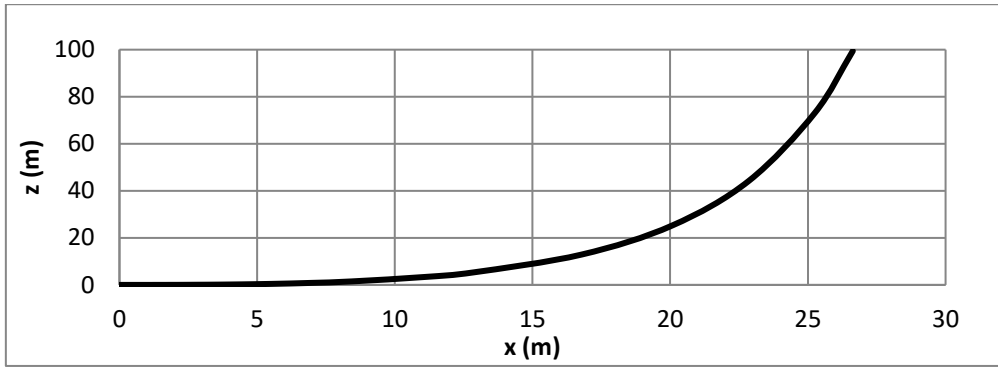


Διάγραμμα Α. 7 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

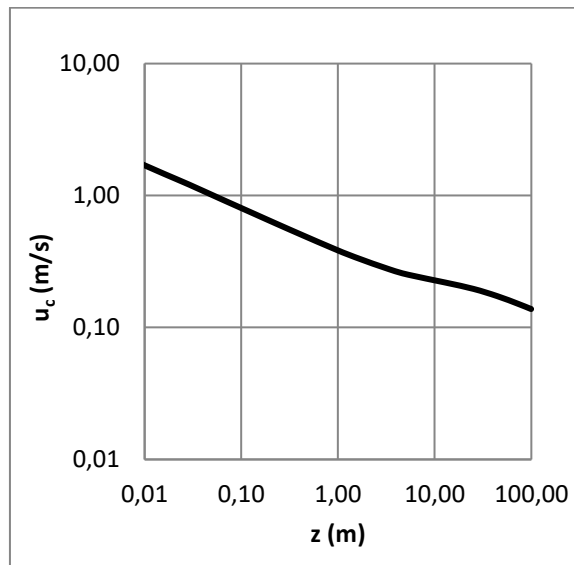


Διάγραμμα Α. 8 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

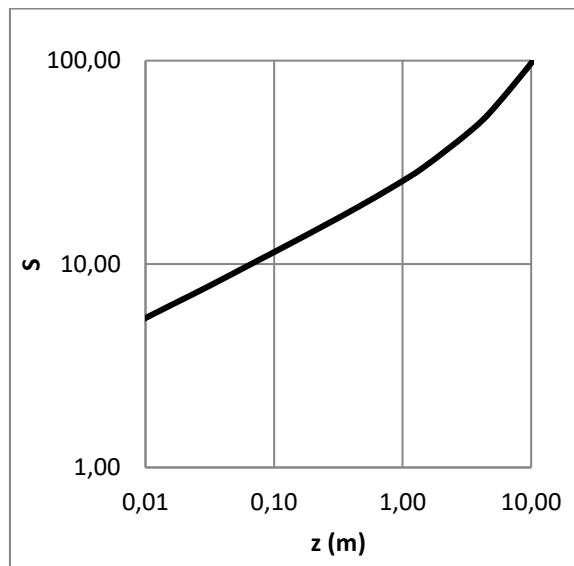
■ Γωνία $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



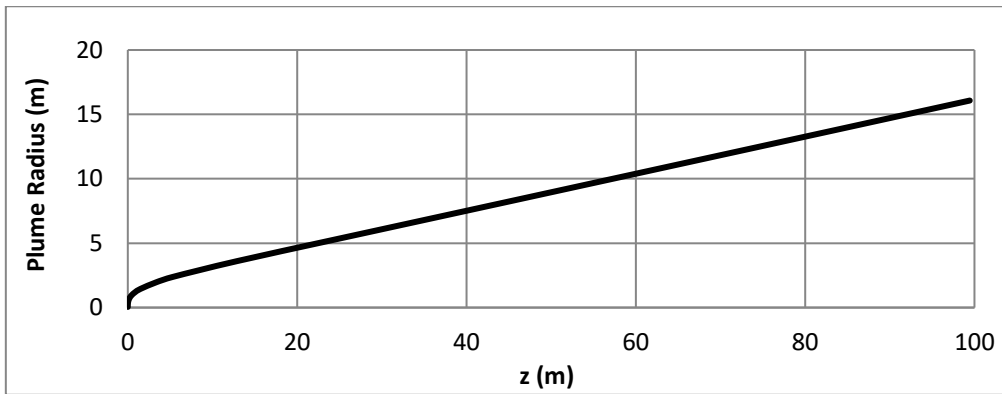
Διάγραμμα Α. 9 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 10 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



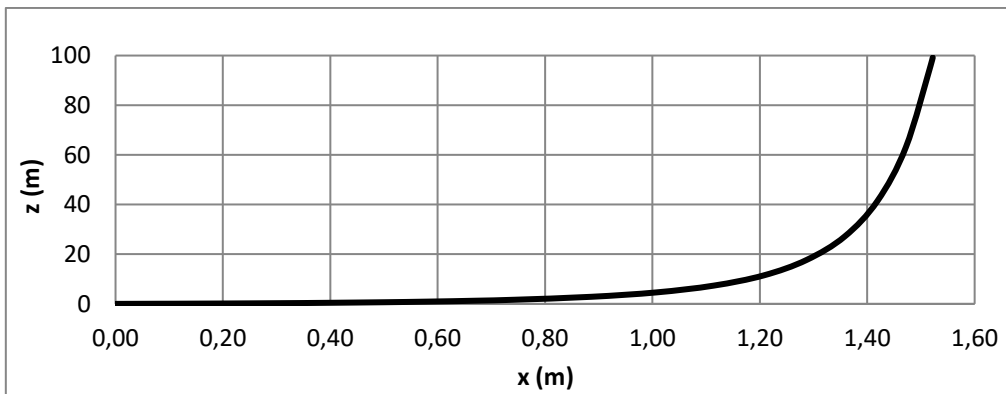
Διάγραμμα Α. 11 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



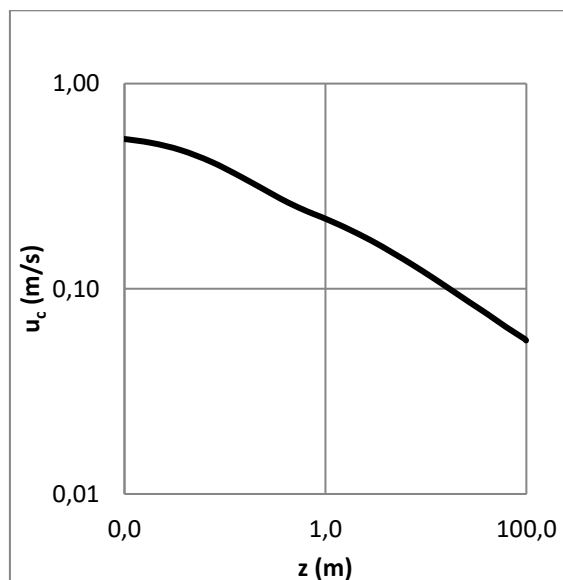
Διάγραμμα Α. 12 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.

Διαγράμματα για γωνία 30°

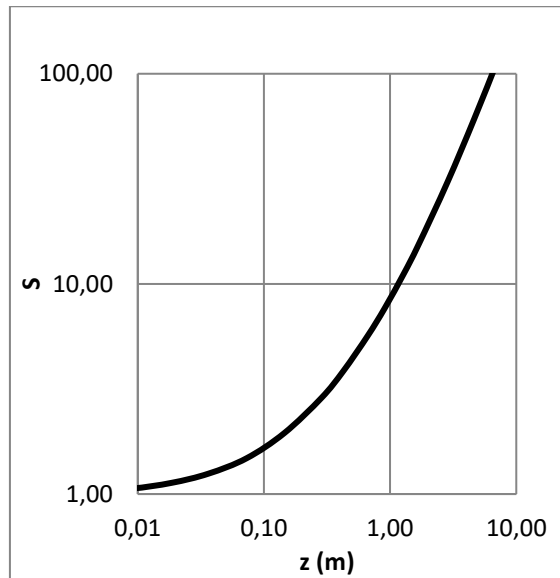
■ Γωνία $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.



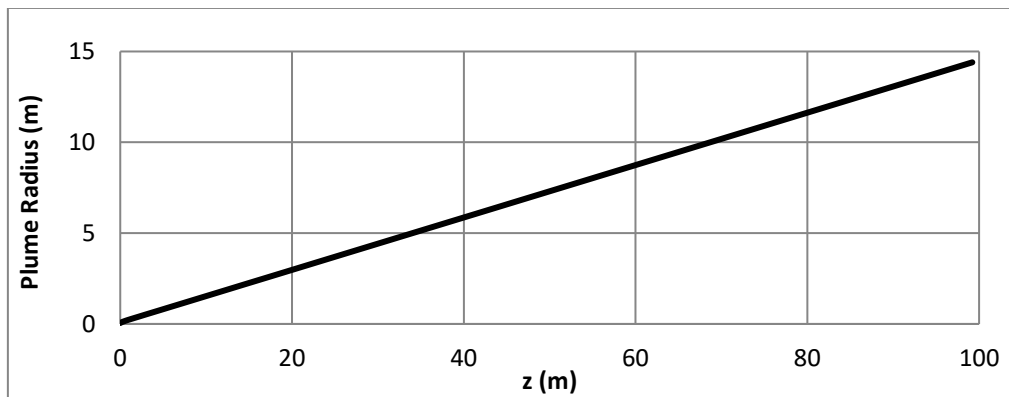
Διάγραμμα Α. 13 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 14 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

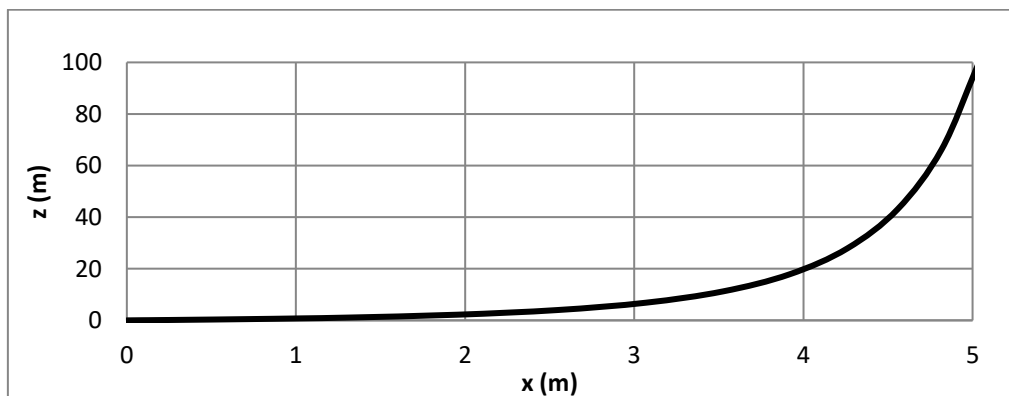


Διάγραμμα Α. 15 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

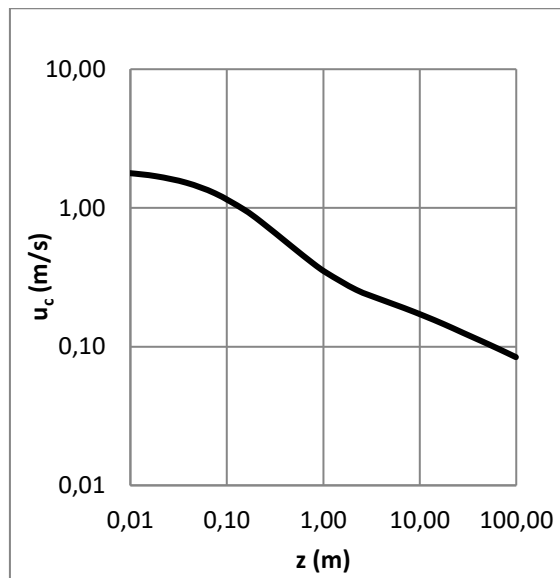


Διάγραμμα Α. 16 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

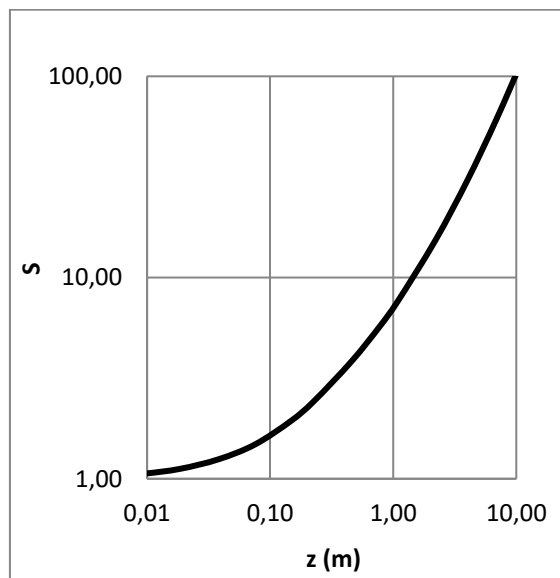
■ Γωνία $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.



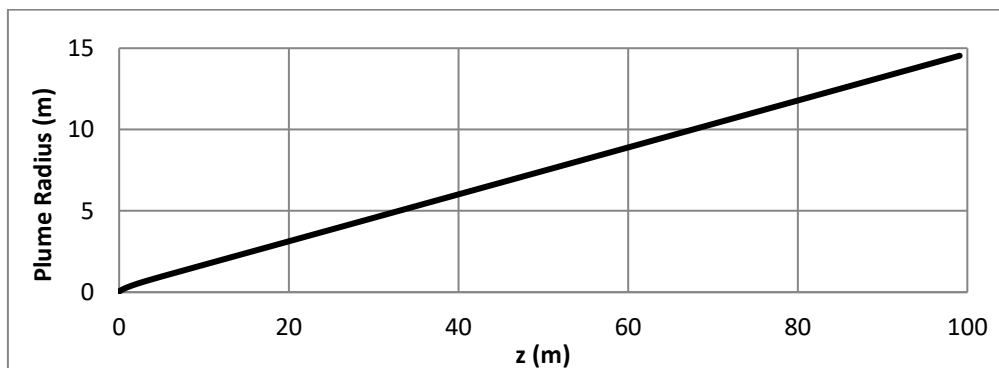
Διάγραμμα Α. 17 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 18 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

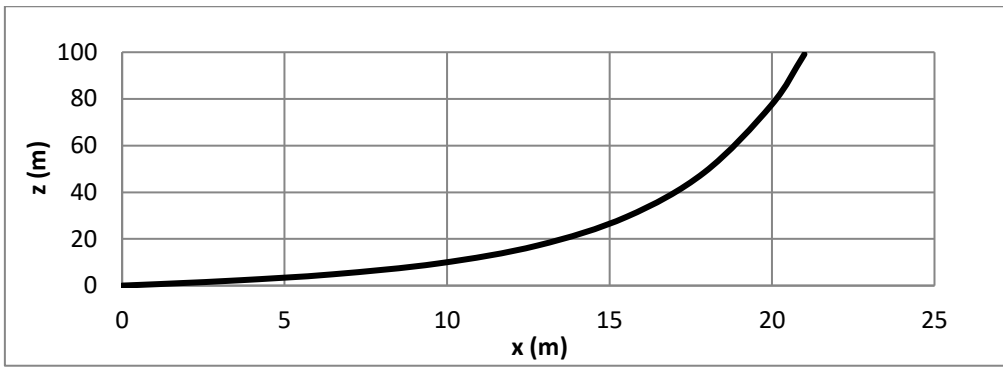


Διάγραμμα Α. 19 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

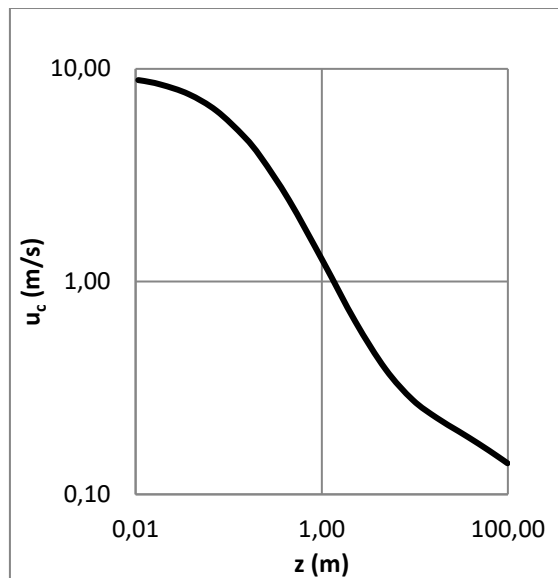


Διάγραμμα Α. 20 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

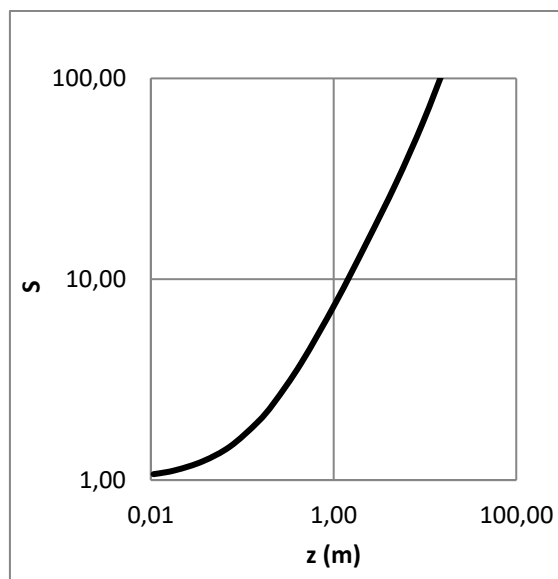
■ Γωνία $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



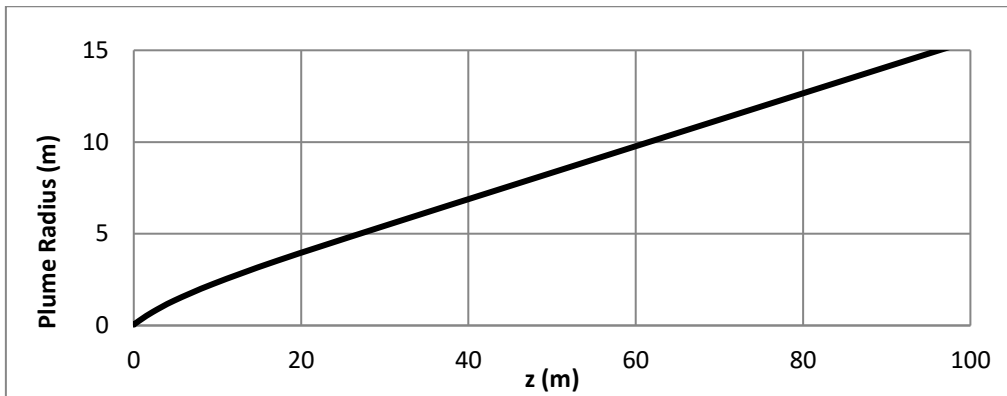
Διάγραμμα Α. 21 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 22 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



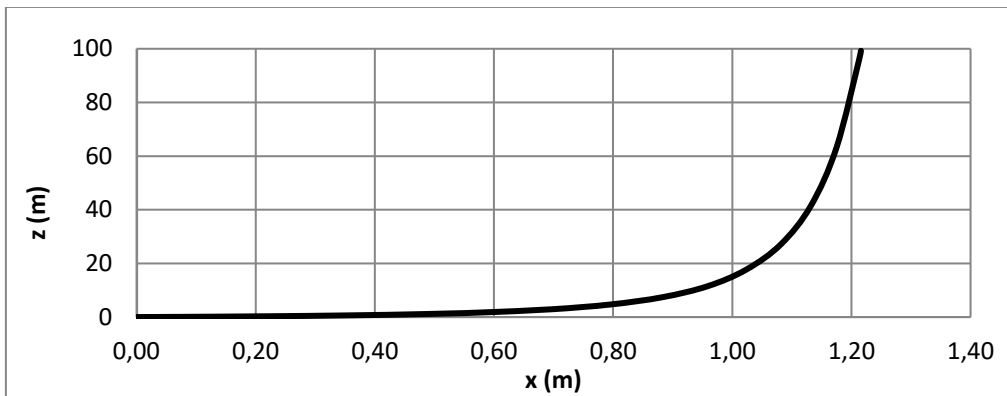
Διάγραμμα Α. 23 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



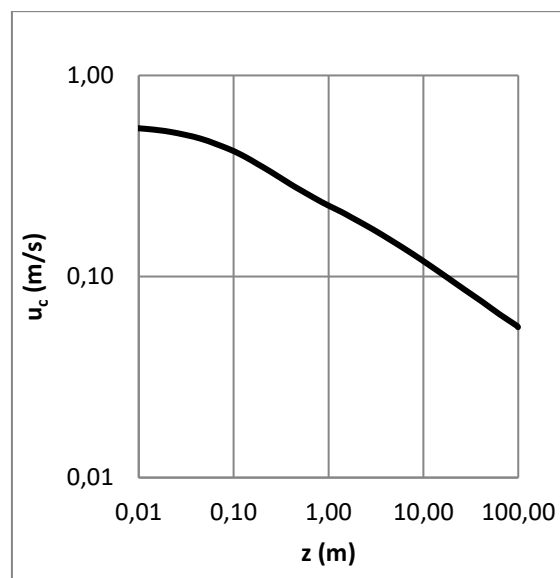
Διάγραμμα Α. 24 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.

Διαγράμματα για γωνία 45°

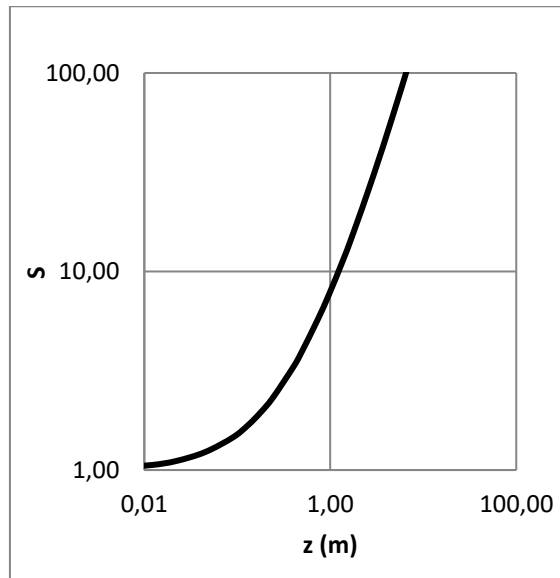
■ Γωνία $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.



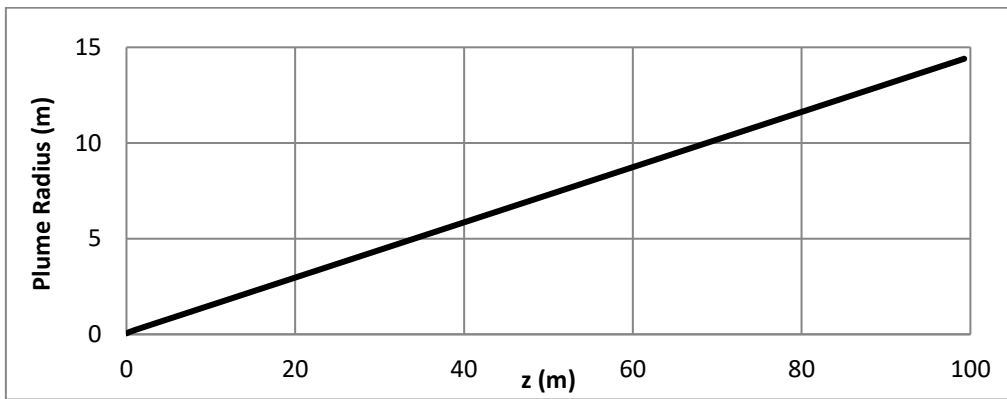
Διάγραμμα Α. 25 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 26 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

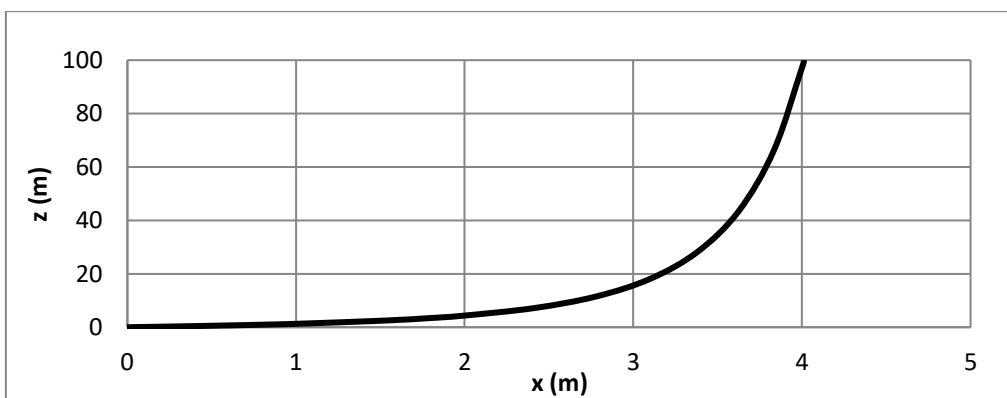


Διάγραμμα A. 27 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

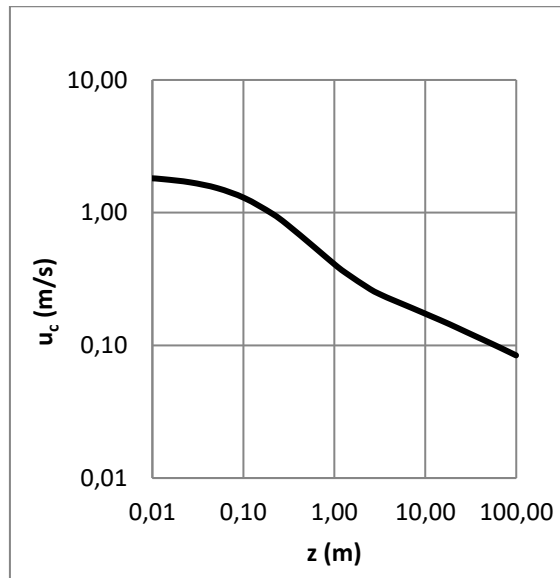


Διάγραμμα A. 28 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

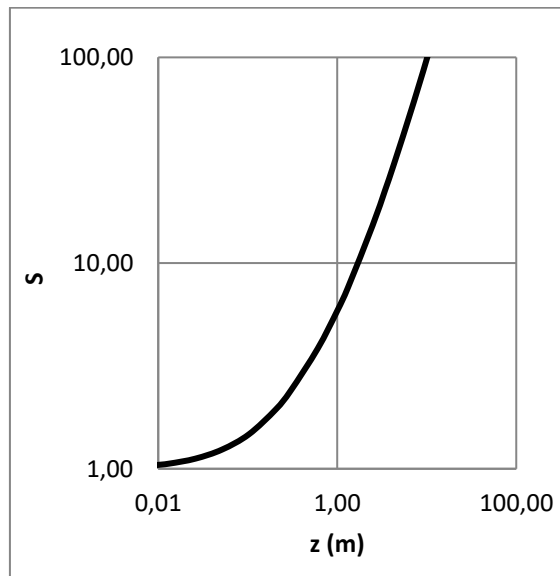
■ Γωνία $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.



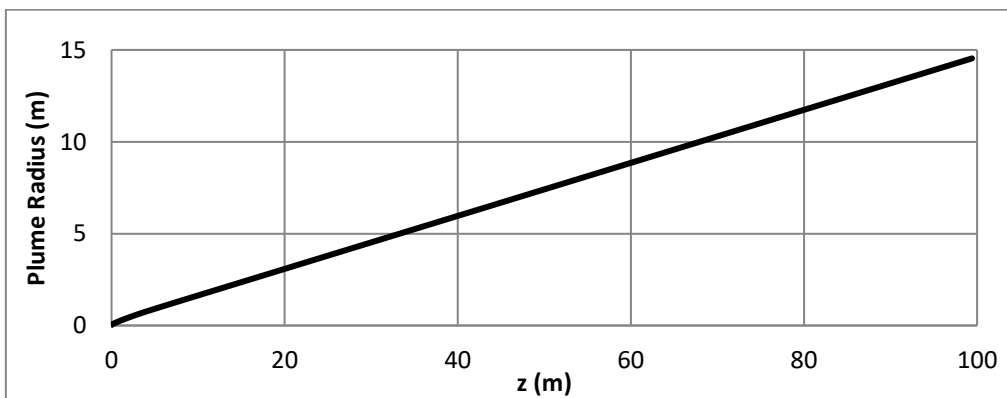
Διάγραμμα A. 29 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 30 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

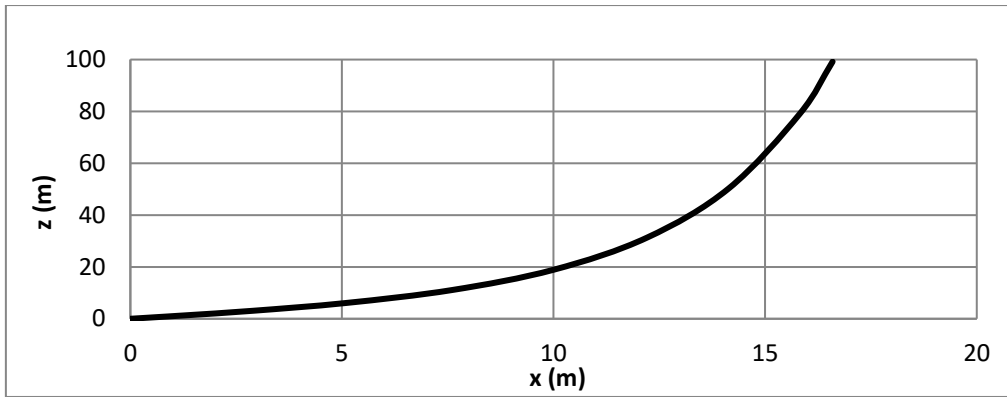


Διάγραμμα Α. 31 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

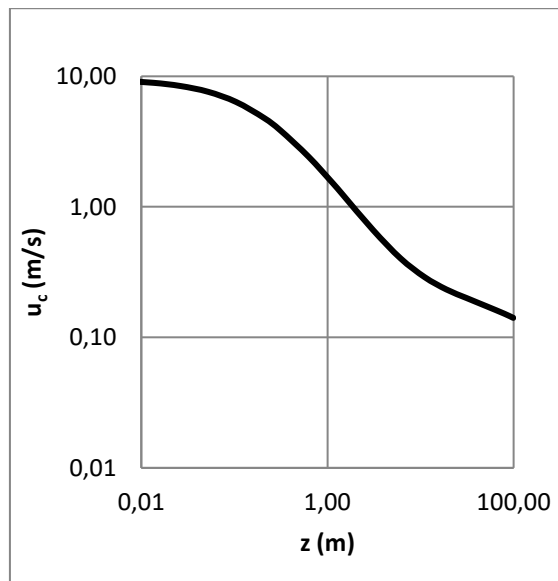


Διάγραμμα Α. 32 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

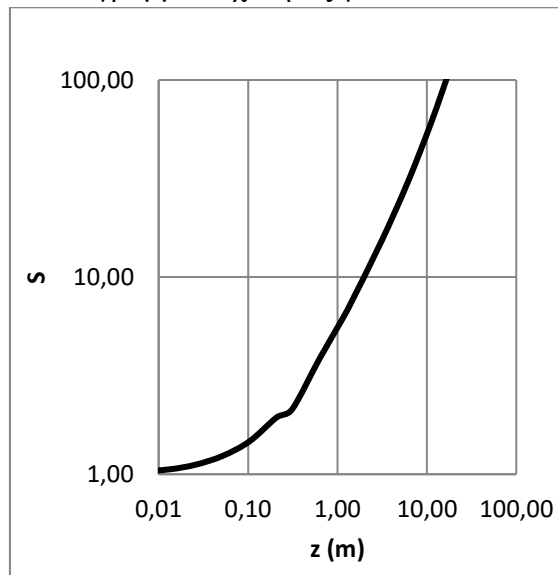
■ Γωνία $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



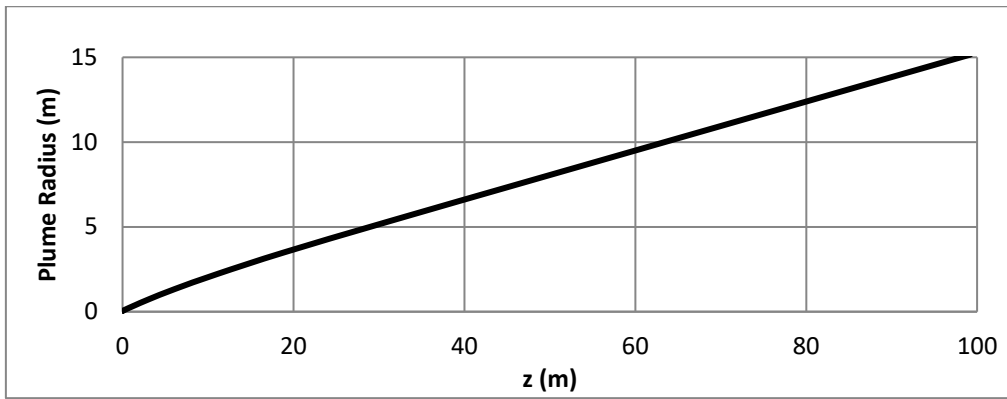
Διάγραμμα Α. 33 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 34 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



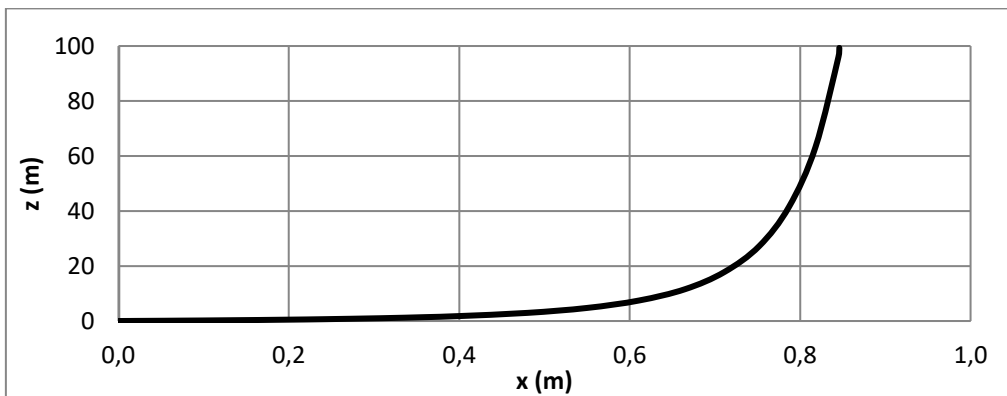
Διάγραμμα Α. 35 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



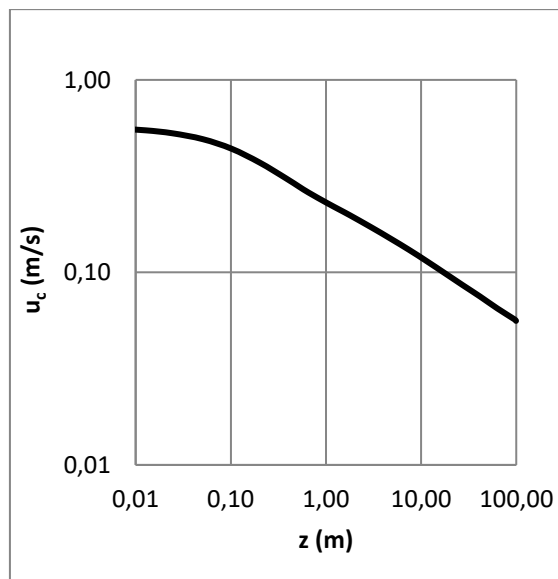
Διάγραμμα Α. 36 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.

Διαγράμματα για γωνία 60°

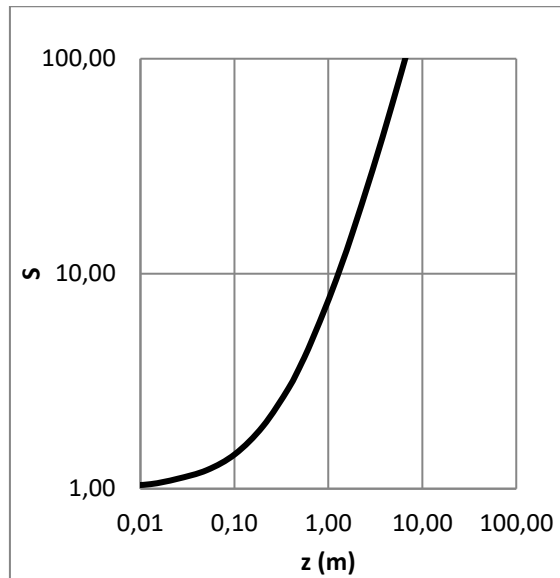
■ Γωνία $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.



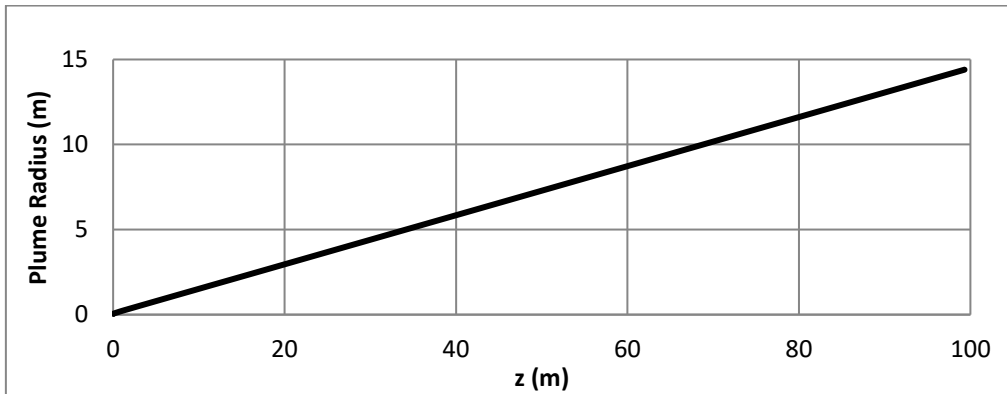
Διάγραμμα Α. 37 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 38 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

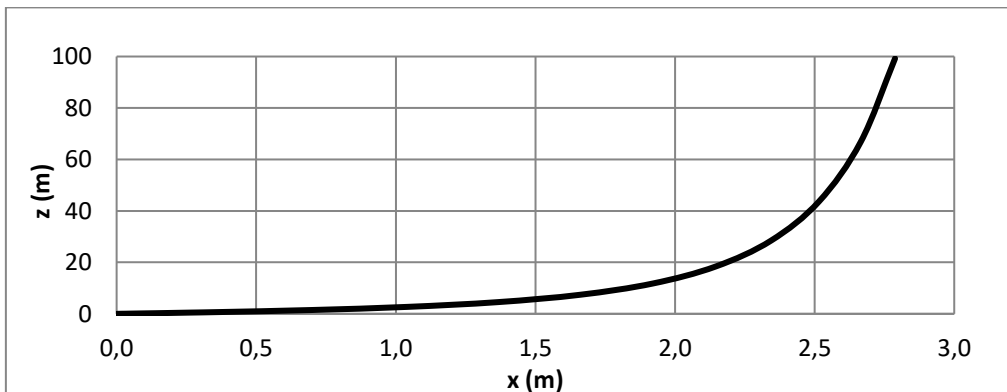


Διάγραμμα Α. 39 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

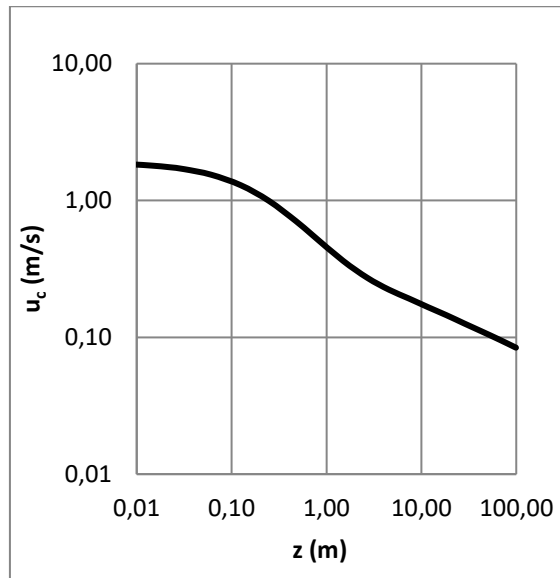


Διάγραμμα Α. 40 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

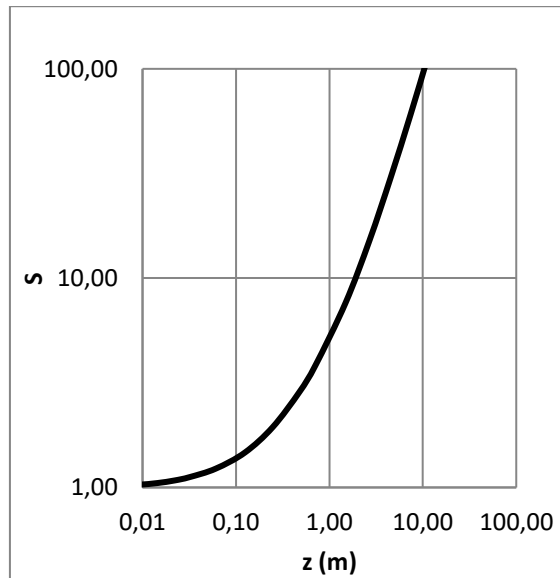
■ Γωνία $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.



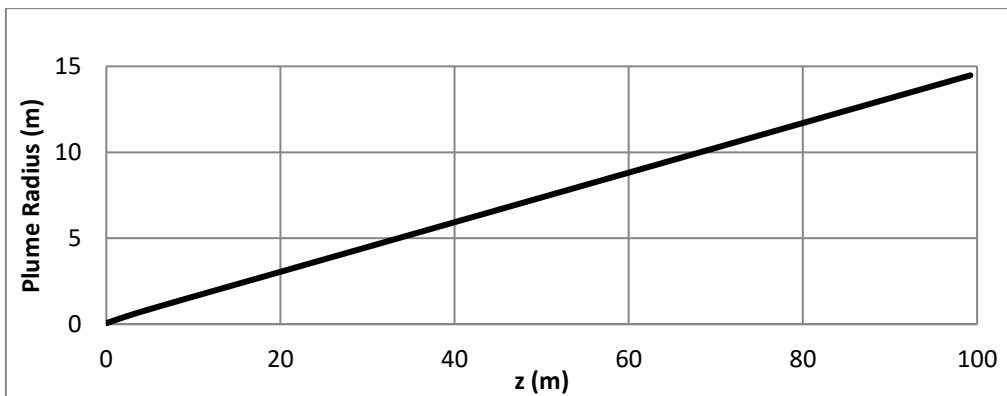
Διάγραμμα Α. 41 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 42 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_o=60^\circ$, $F_o=10$ και $U_a=0$ m/s.

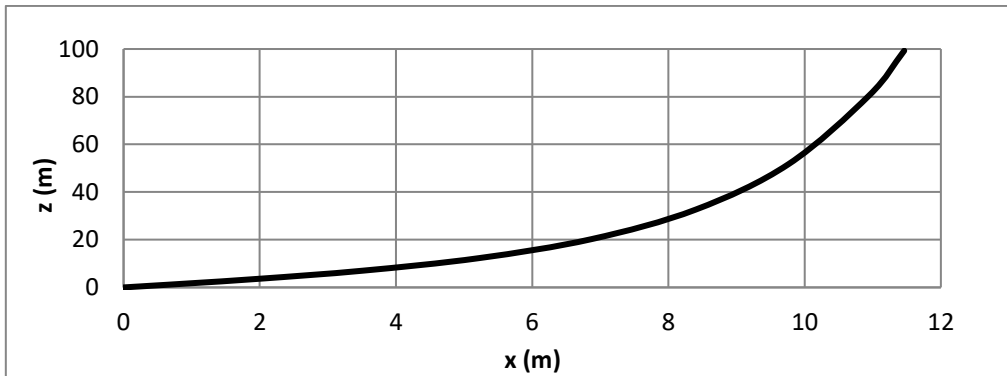


Διάγραμμα Α. 43 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_o=60^\circ$, $F_o=10$ και $U_a=0$ m/s.

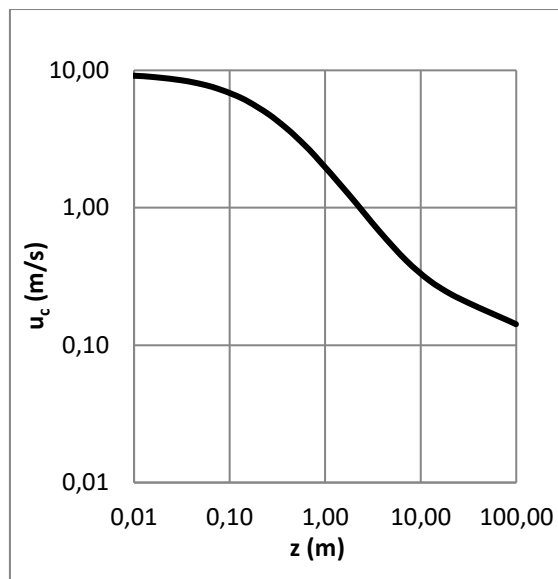


Διάγραμμα Α. 44 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_o=60^\circ$, $F_o=10$ και $U_a=0$ m/s.

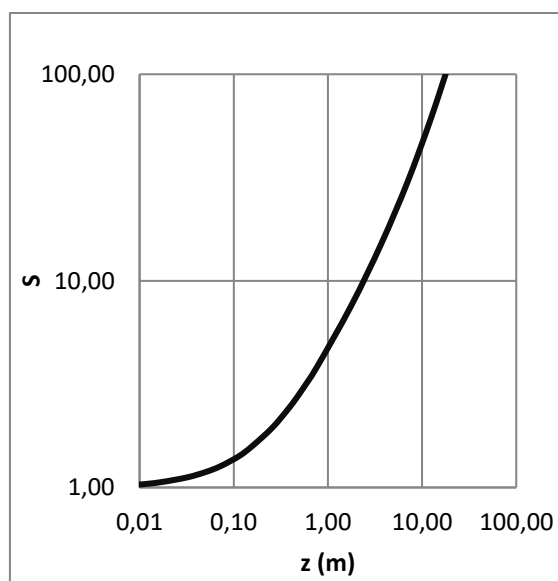
■ Γωνία $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



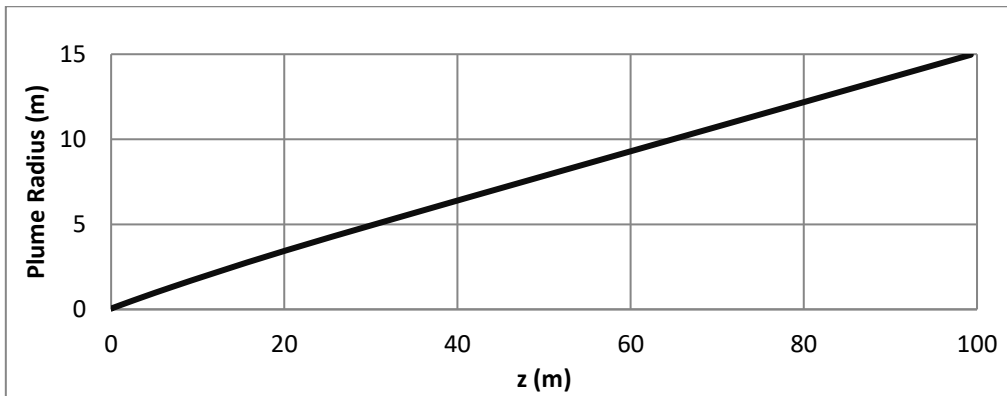
Διάγραμμα Α. 45 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 46 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



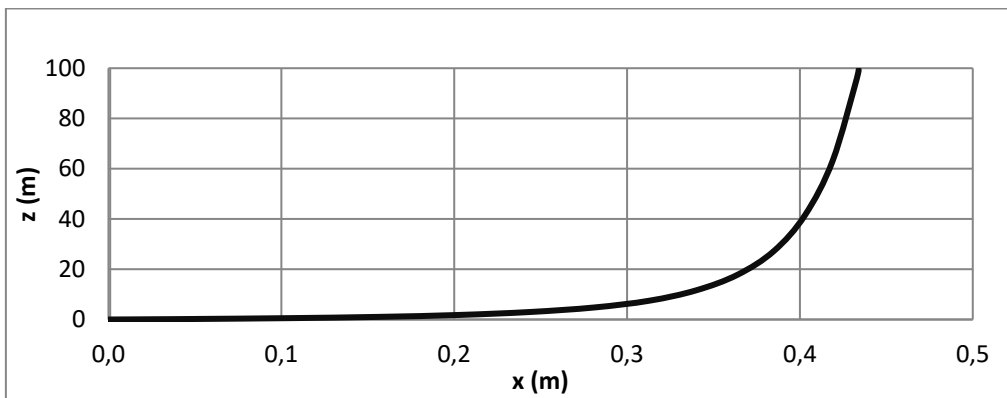
Διάγραμμα Α. 47 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



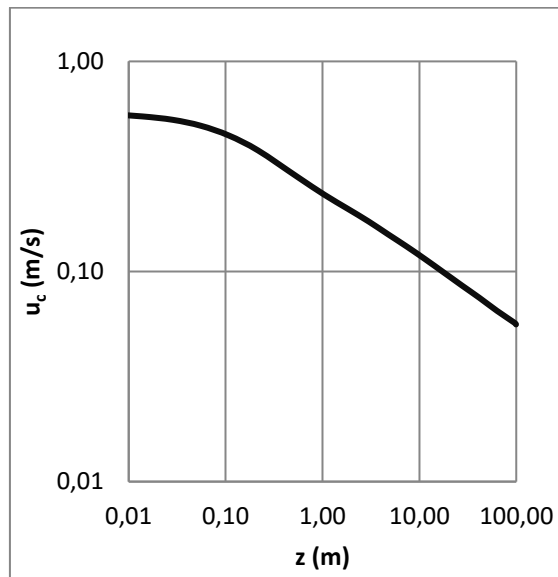
Διάγραμμα Α. 48 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.

Διαγράμματα για γωνία 75°

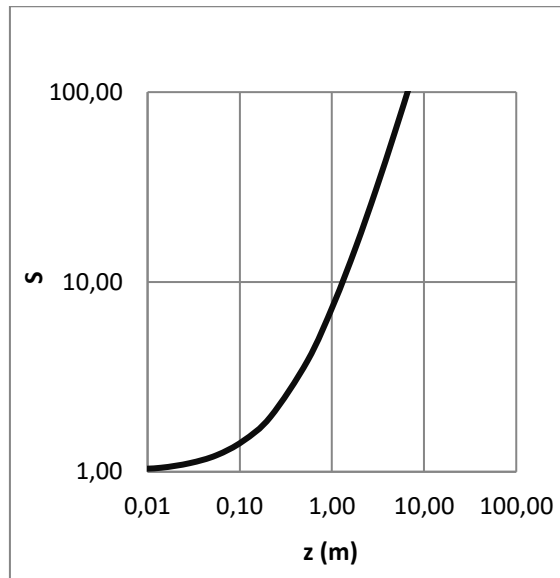
■ Γωνία $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.



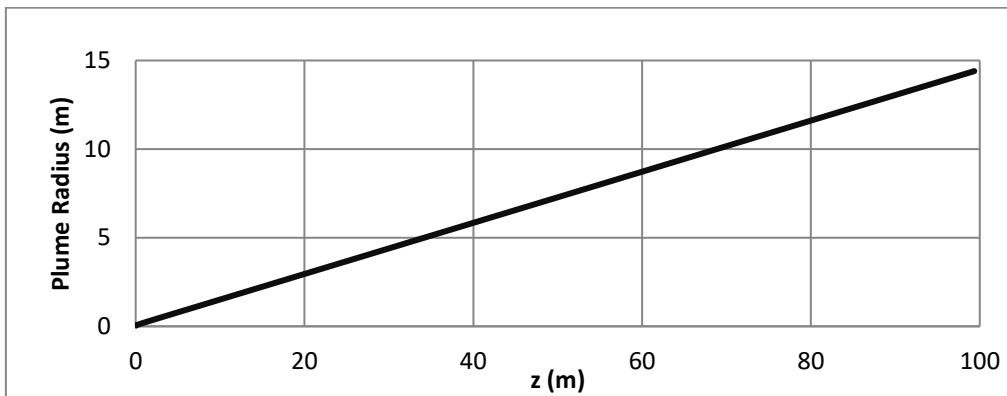
Διάγραμμα Α. 49 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 50 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

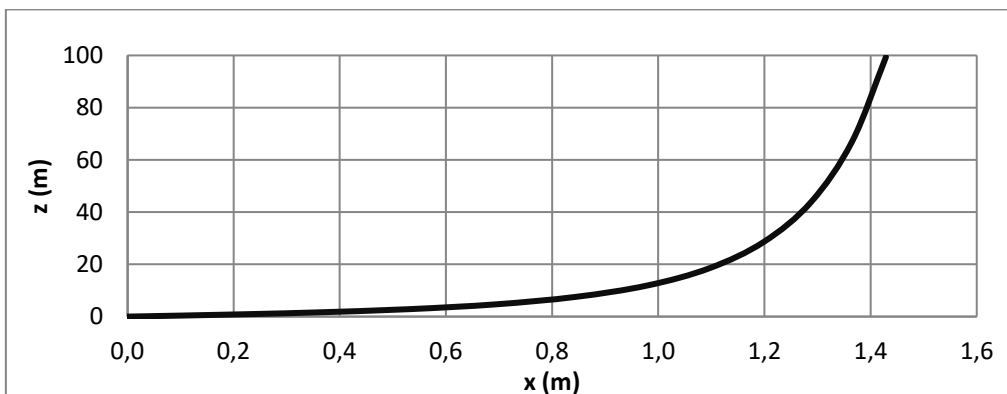


Διάγραμμα Α. 51 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

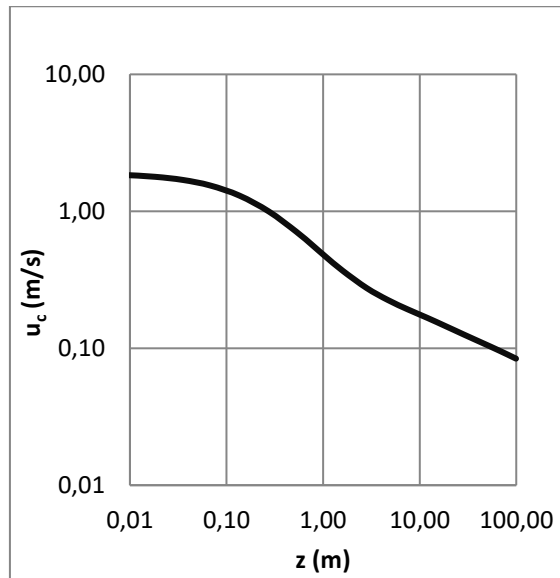


Διάγραμμα Α. 52 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

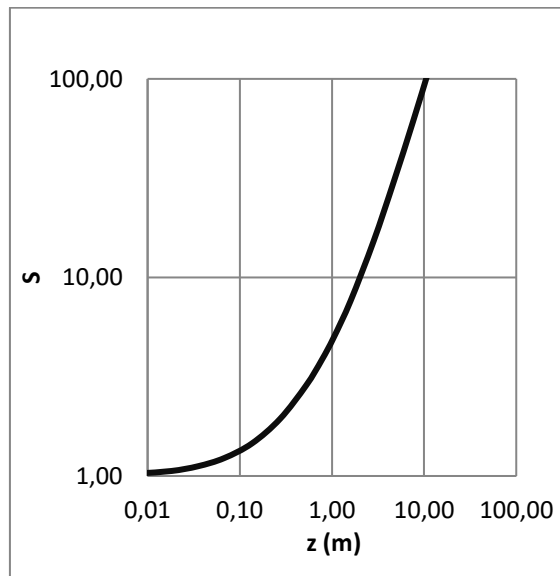
■ Γωνία $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.



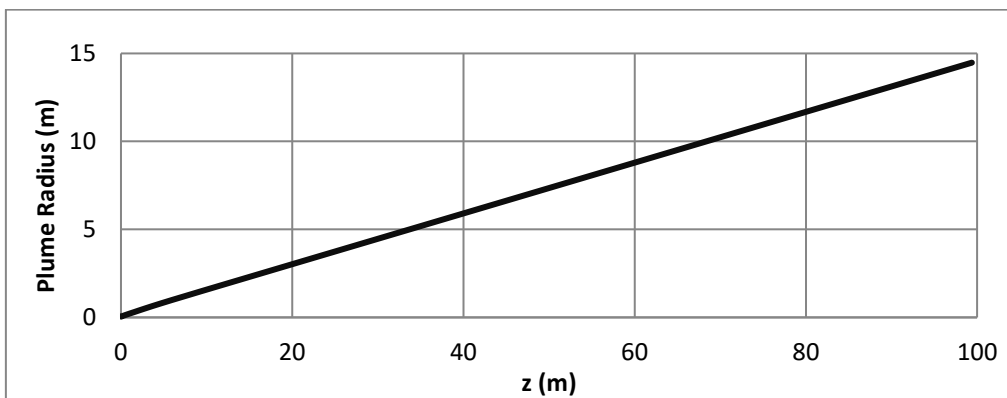
Διάγραμμα Α. 53 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 54 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

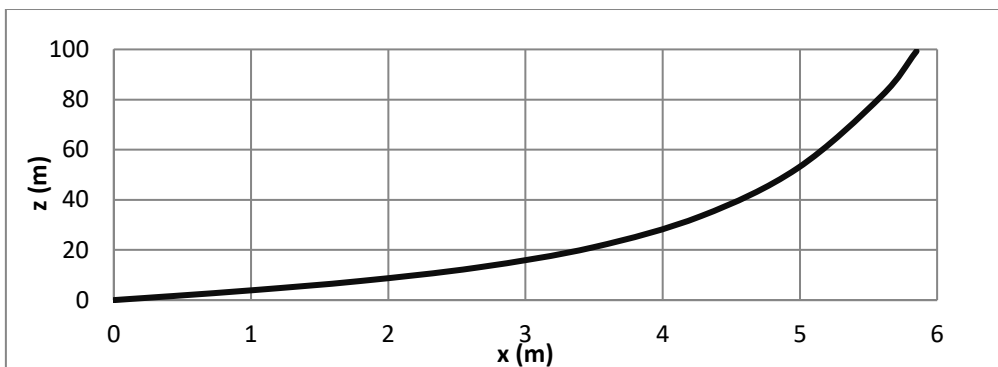


Διάγραμμα Α. 55 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

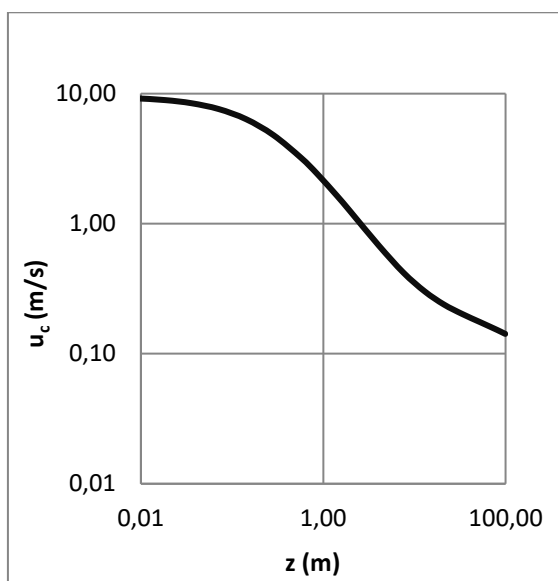


Διάγραμμα Α. 56 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

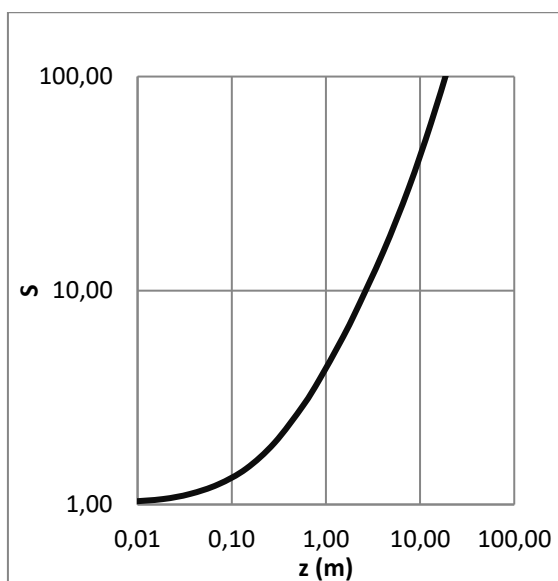
■ Γωνία $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



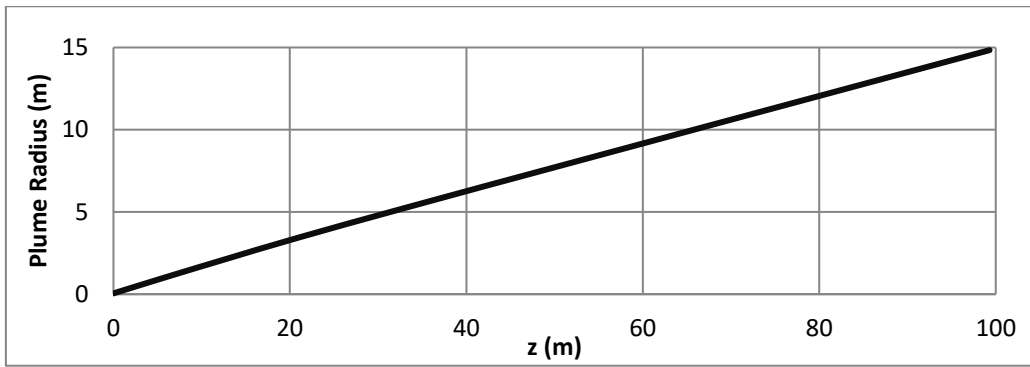
Διάγραμμα Α. 57 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 58 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



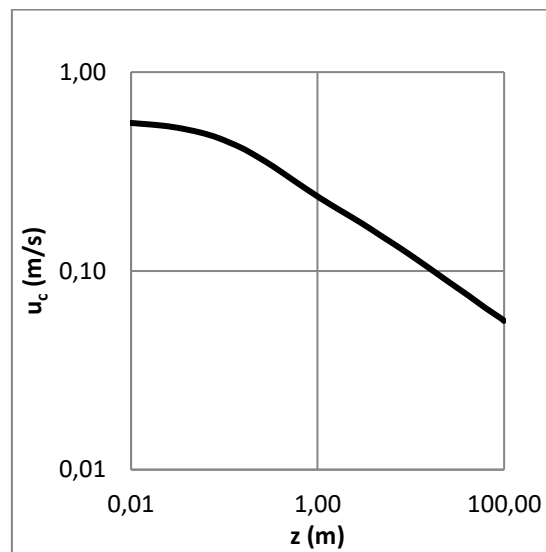
Διάγραμμα Α. 59 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



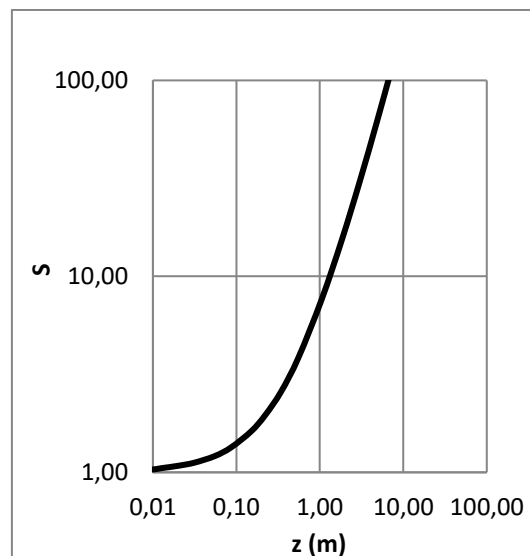
Διάγραμμα Α. 60 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.

Διαγράμματα για γωνία 90°

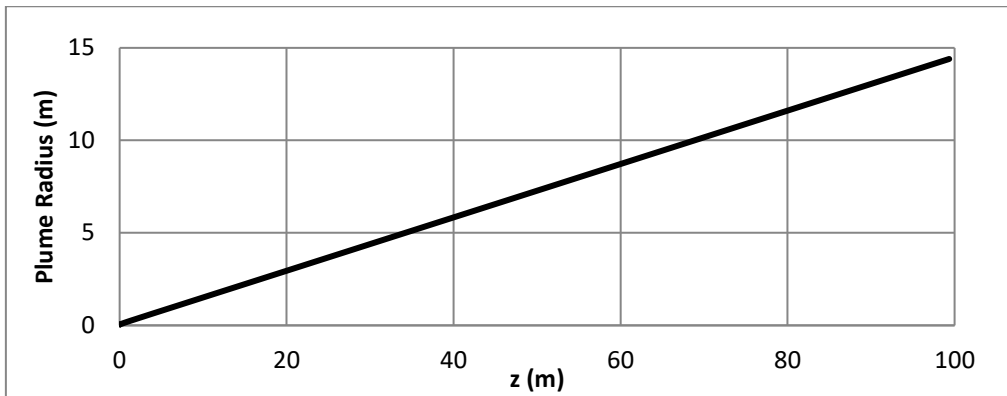
- Γωνία $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 61 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

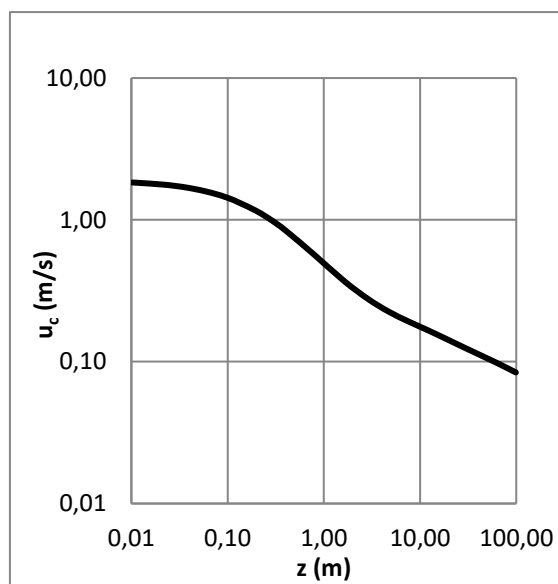


Διάγραμμα Α. 62 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

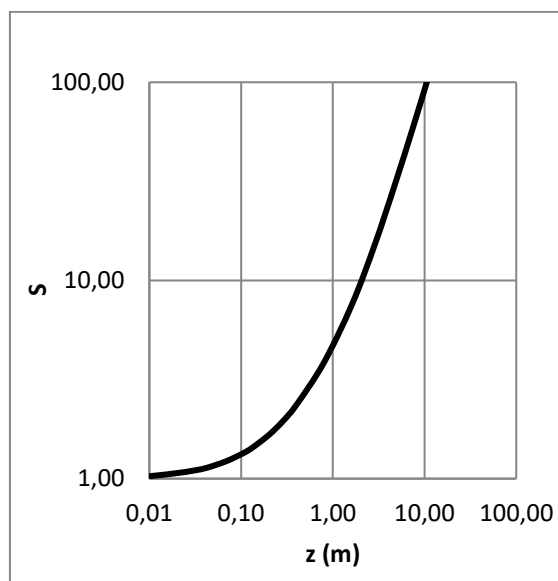


Διάγραμμα Α. 63 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0$ m/s.

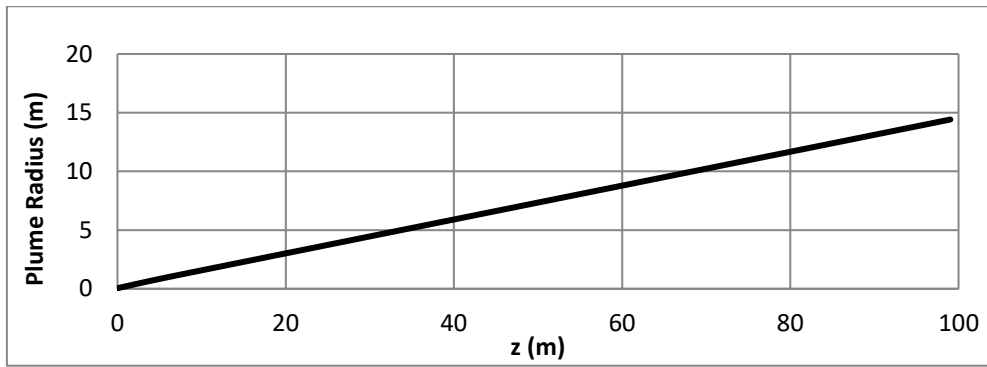
■ Γωνία $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 64 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

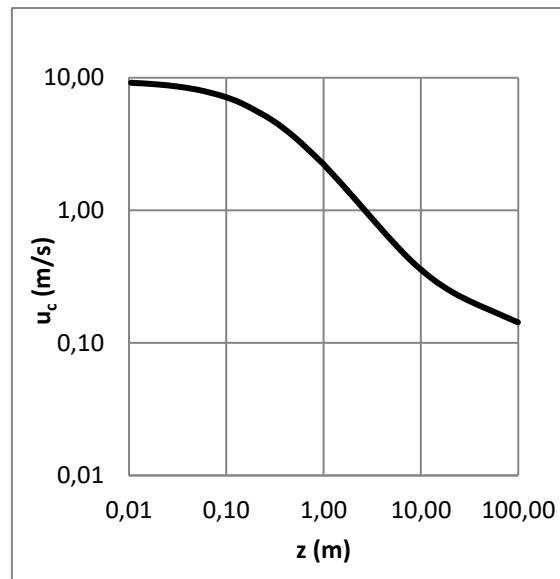


Διάγραμμα Α. 65 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

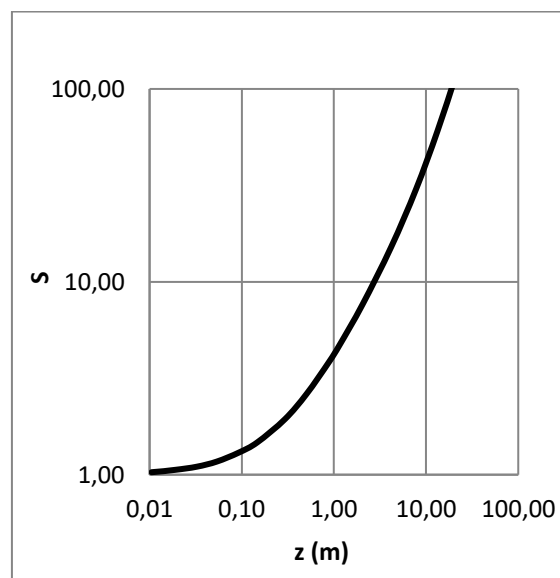


Διάγραμμα Α. 66 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0$ m/s.

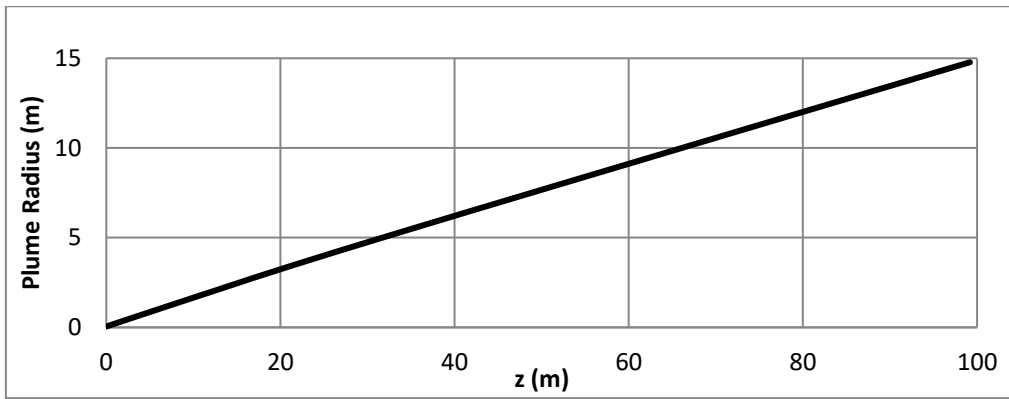
■ Γωνία $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 67 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



Διάγραμμα Α. 68 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.



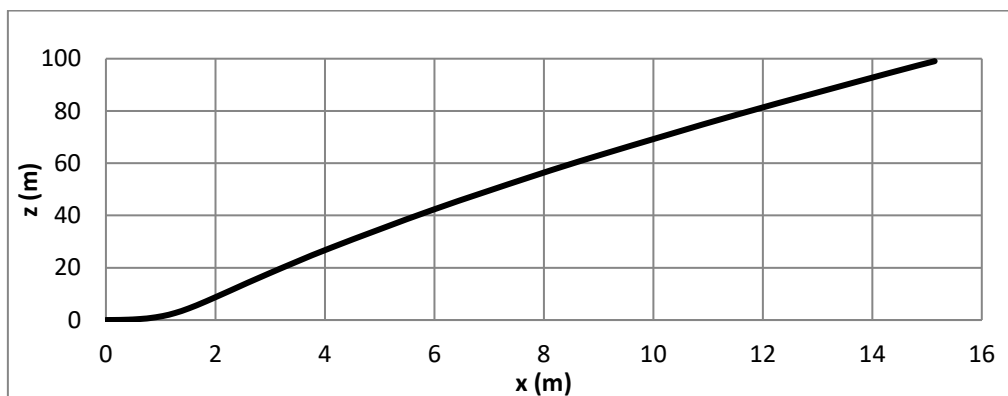
Διάγραμμα Α. 69 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0$ m/s.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

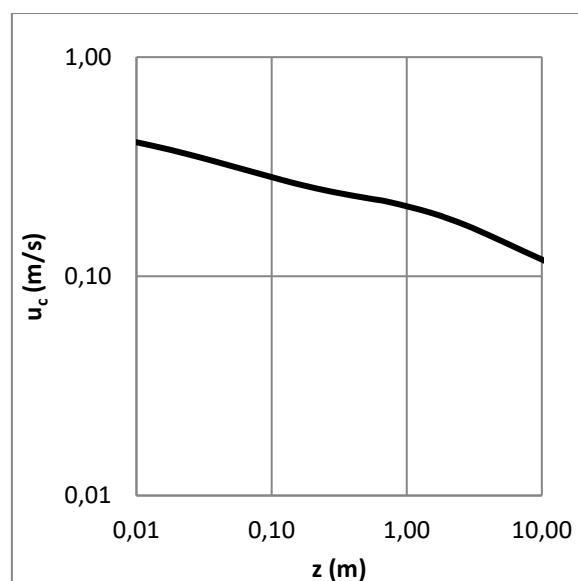
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΑΣΤΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΤΡΟΧΙΩΝ, ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ, ΜΕΣΗΣ ΑΡΑΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΤΗΣ ΦΛΕΒΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΥΨΟΥΣ ΓΙΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ 0,01 m/s, 0,10 m/s ΚΑΙ 0,25 m/s ($U_a=0,01$ m/s, $U_a=0,10$ m/s, $U_a=0,25$ m/s)

Διαγράμματα για γωνία 0°

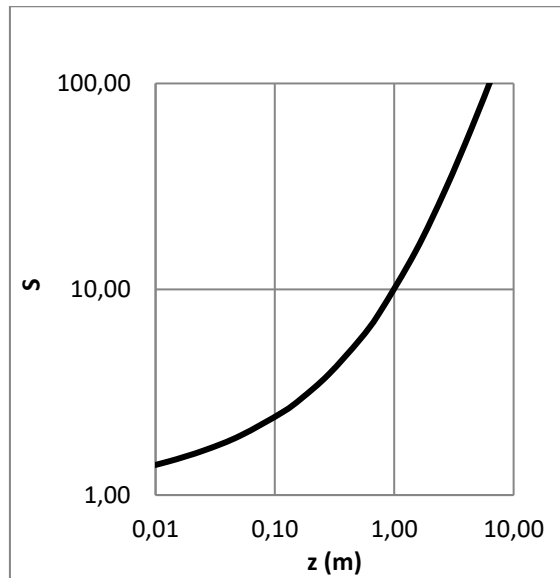
■ Γωνία $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.



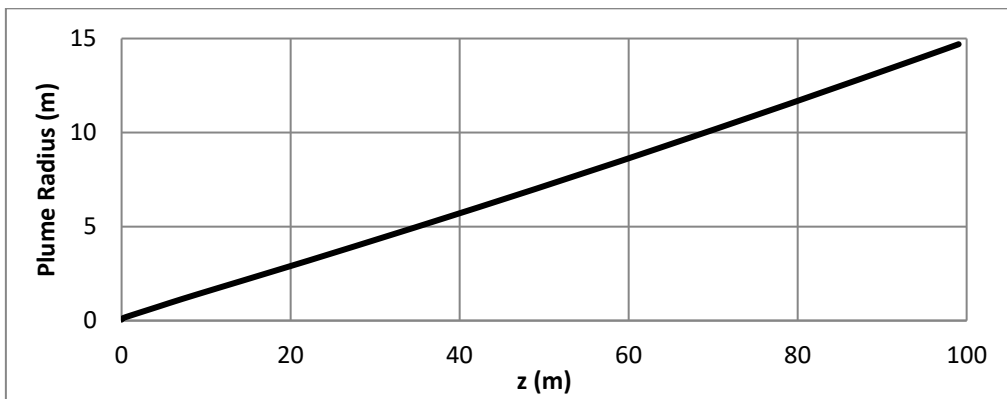
Διάγραμμα Β. 1 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 2 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

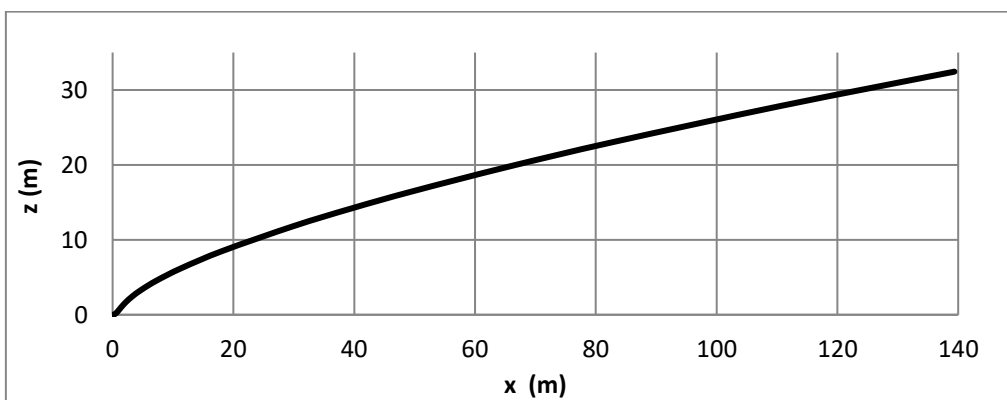


Διάγραμμα Β. 3 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

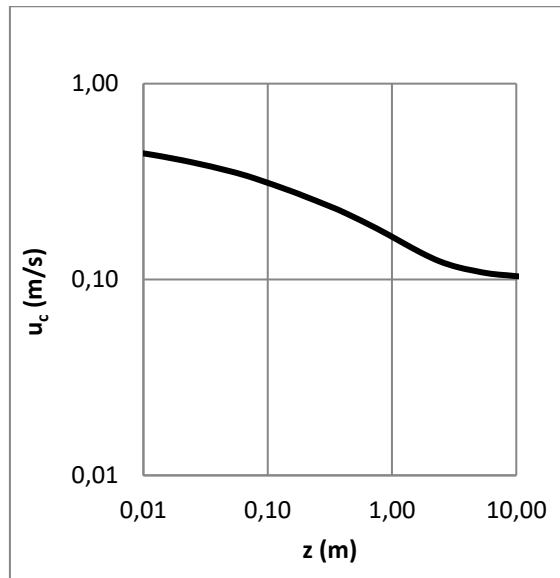


Διάγραμμα Β. 4 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

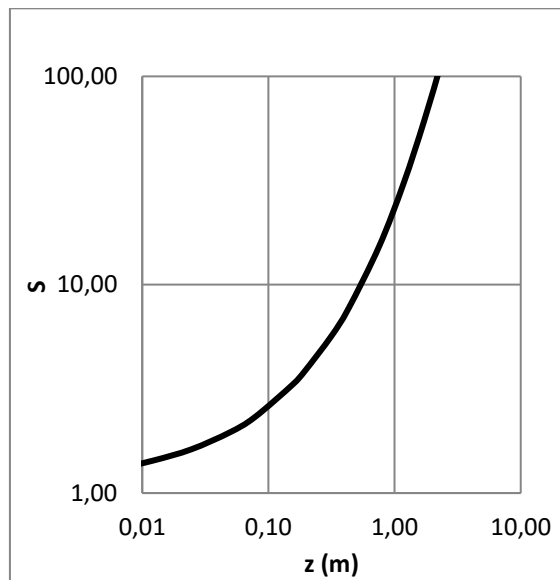
■ Γωνία $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.



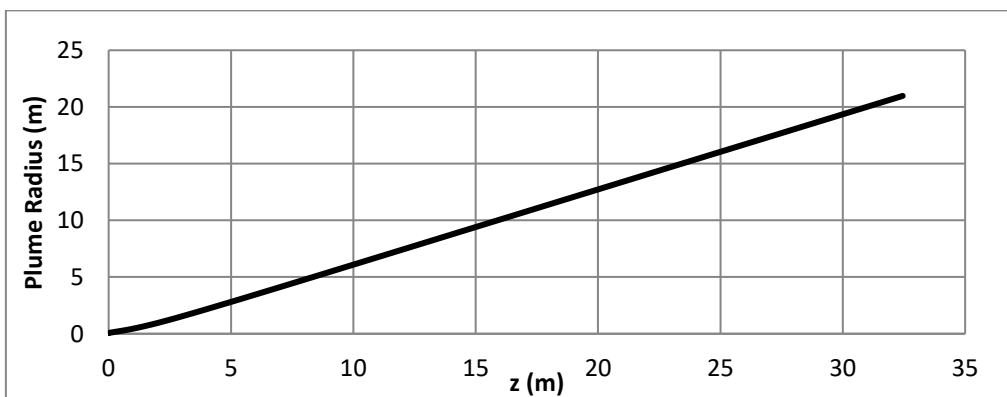
Διάγραμμα Β. 5 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 6 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

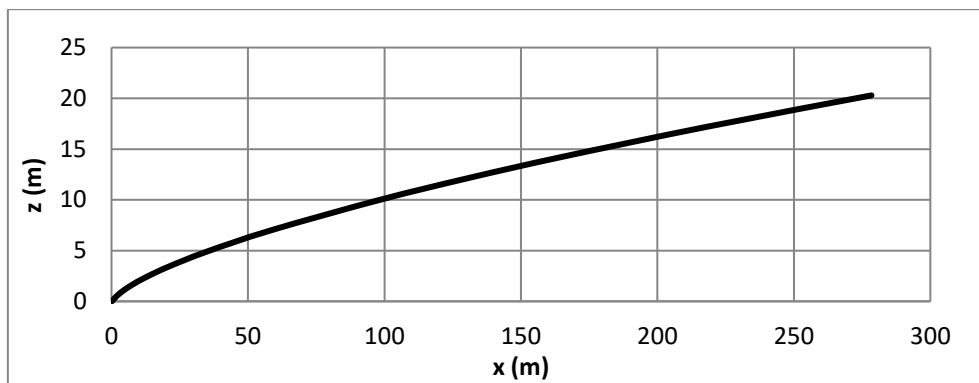


Διάγραμμα Β. 7 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

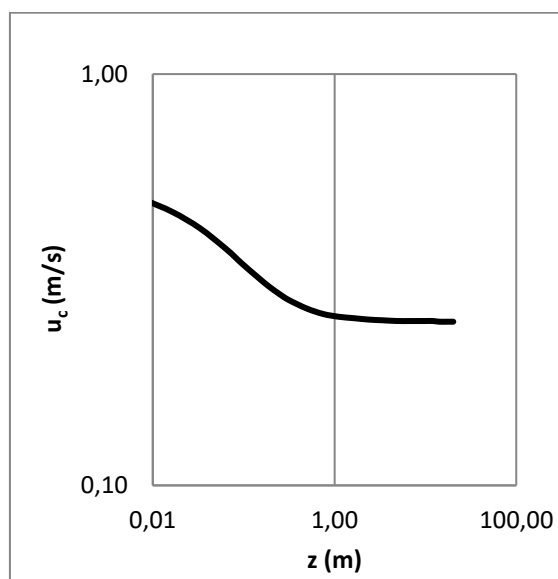


Διάγραμμα Β. 8 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

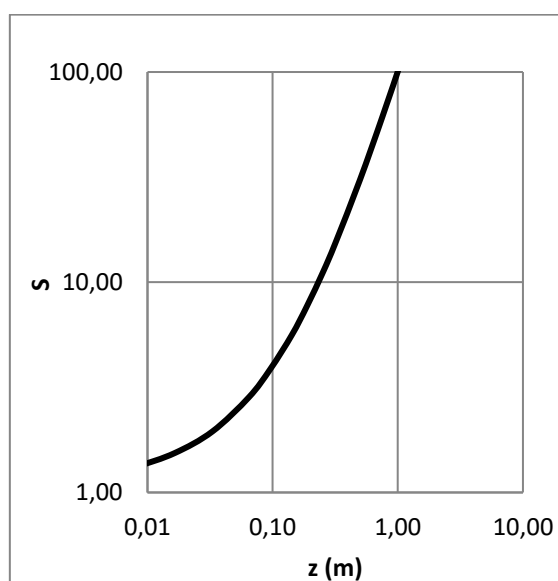
■ Γωνία $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.



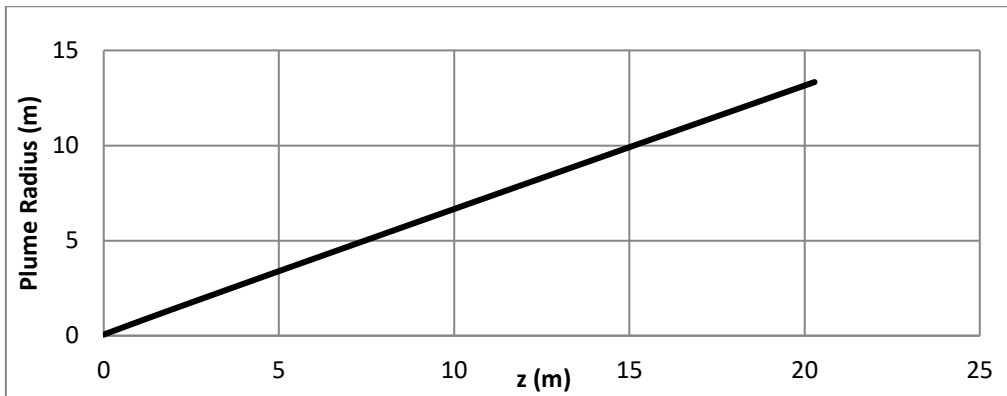
Διάγραμμα Β. 9 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 10 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

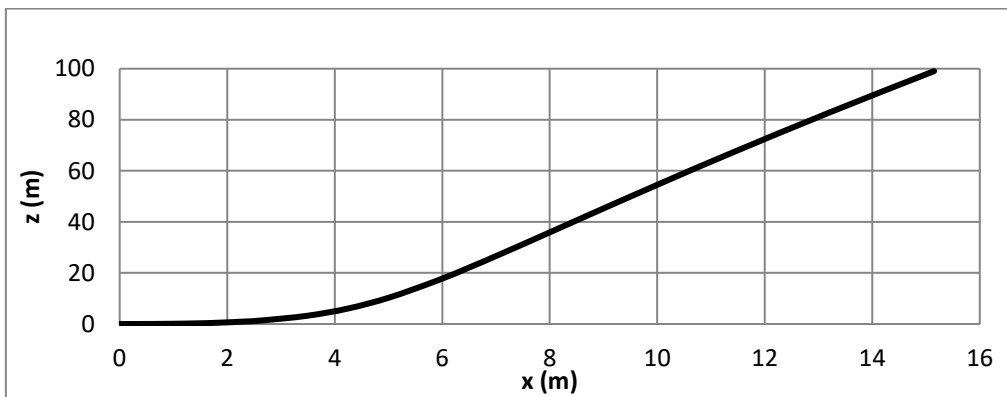


Διάγραμμα Β. 11 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

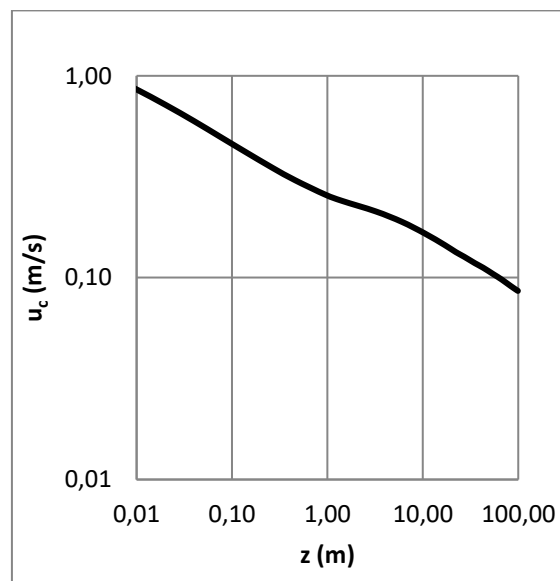


Διάγραμμα Β. 12 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

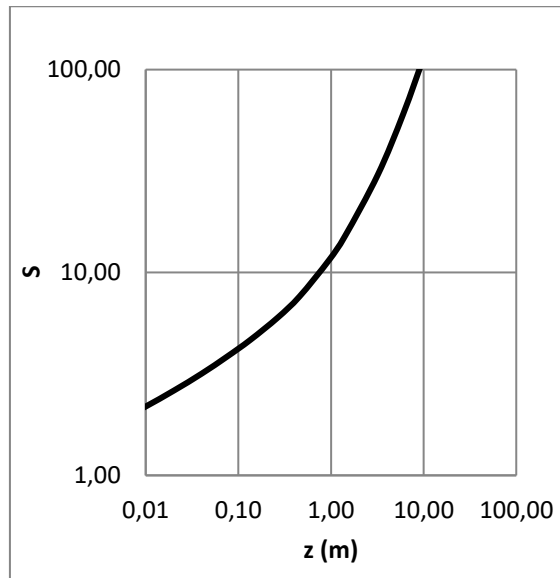
■ Γωνία $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.



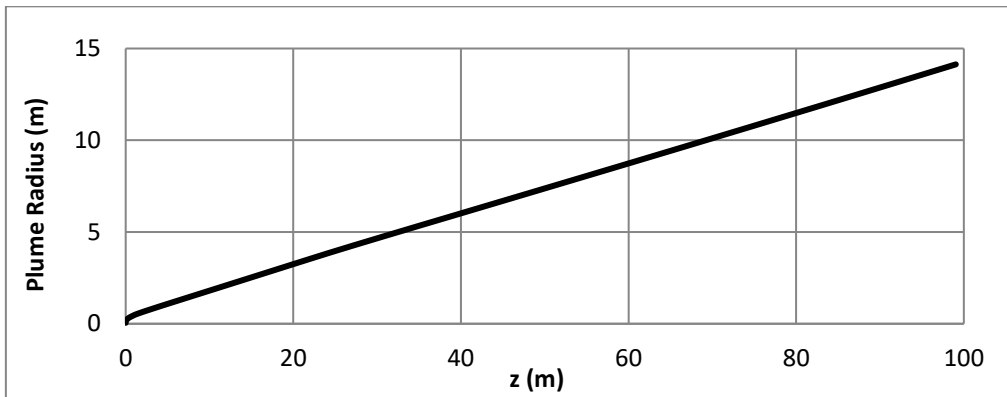
Διάγραμμα Β. 13 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 14 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

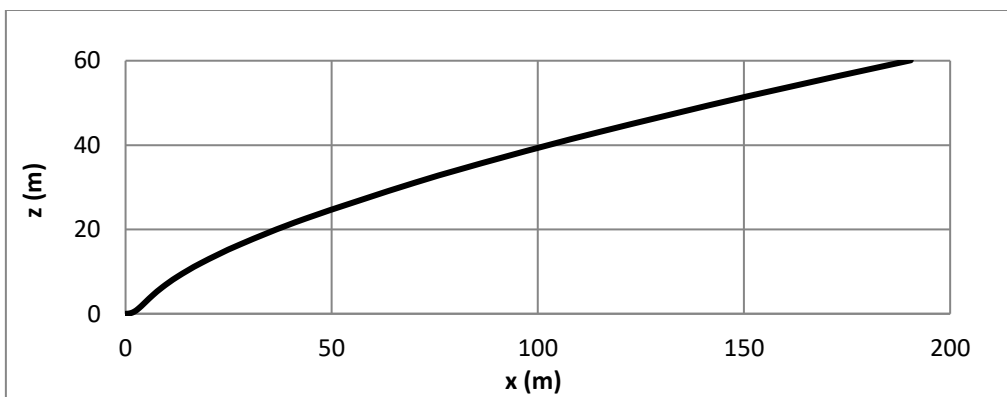


Διάγραμμα Β. 15 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

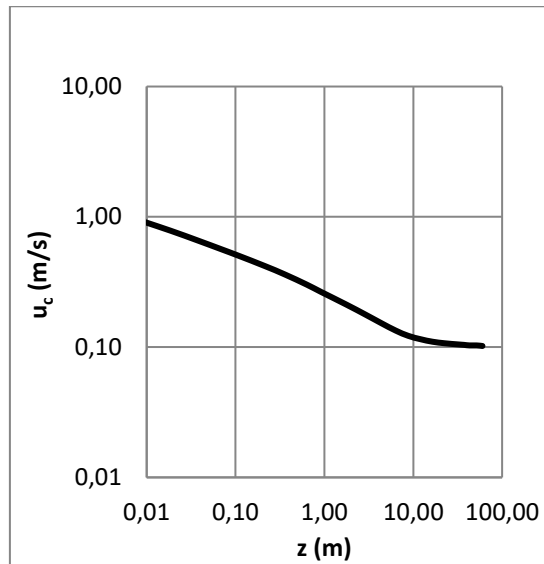


Διάγραμμα Β. 16 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

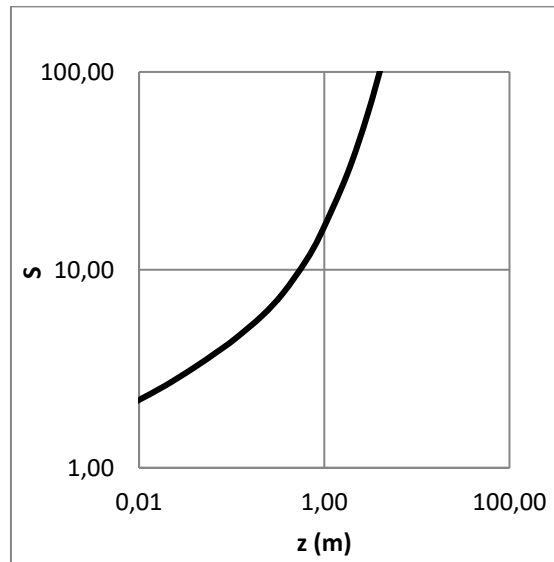
■ Γωνία $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.



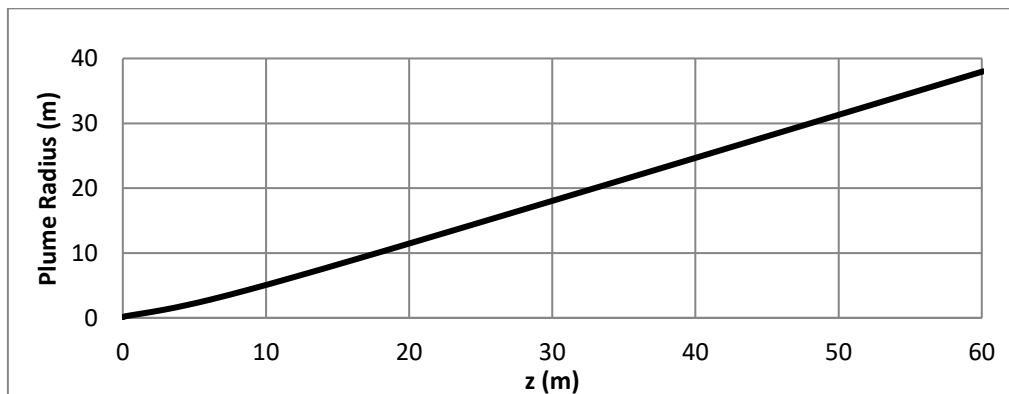
Διάγραμμα Β. 17 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 18 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

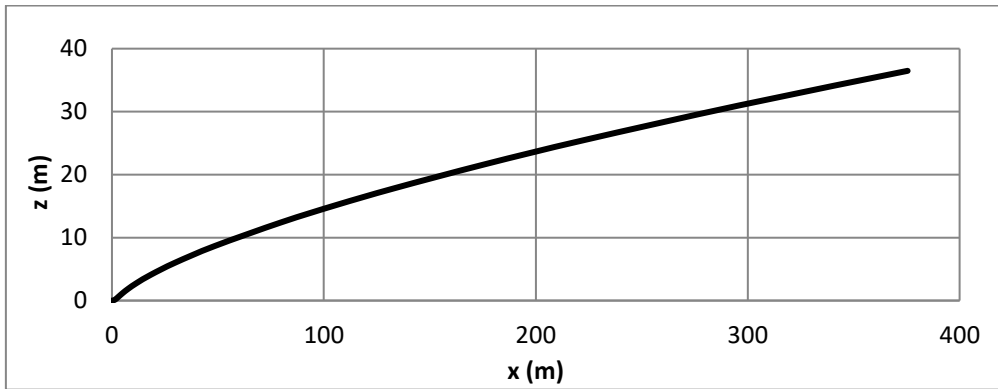


Διάγραμμα Β. 19 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

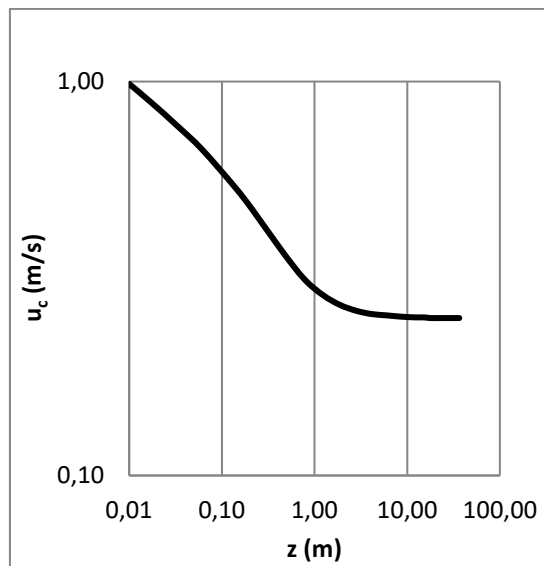


Διάγραμμα Β. 20 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

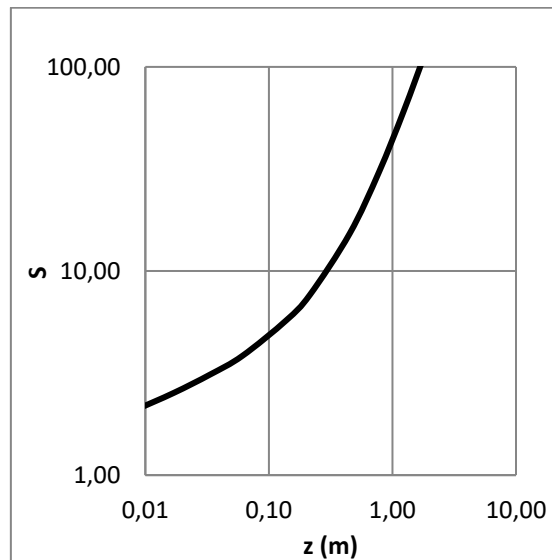
■ Γωνία $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.



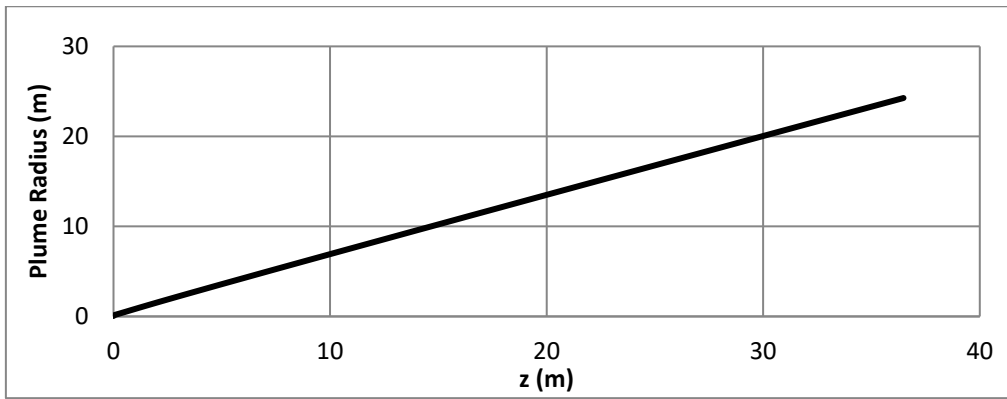
Διάγραμμα Β. 21 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 22 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

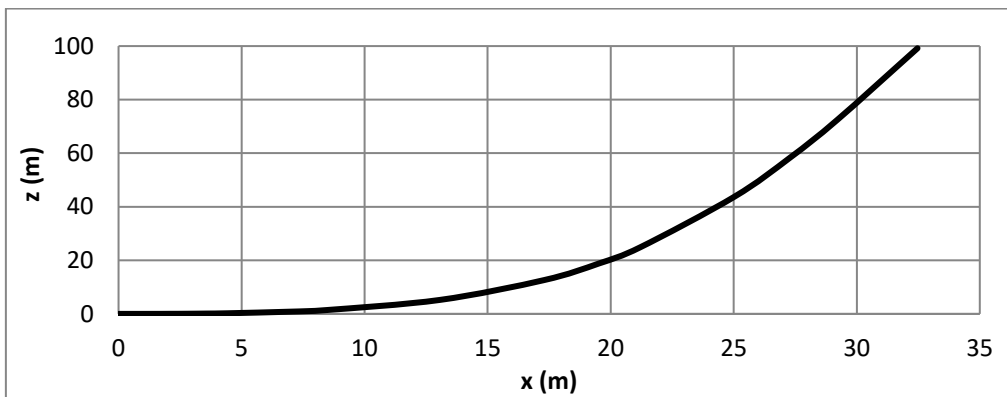


Διάγραμμα Β. 23 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

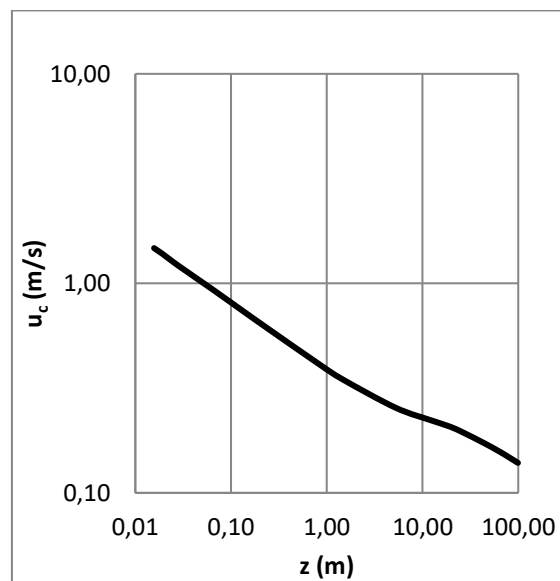


Διάγραμμα Β. 24 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

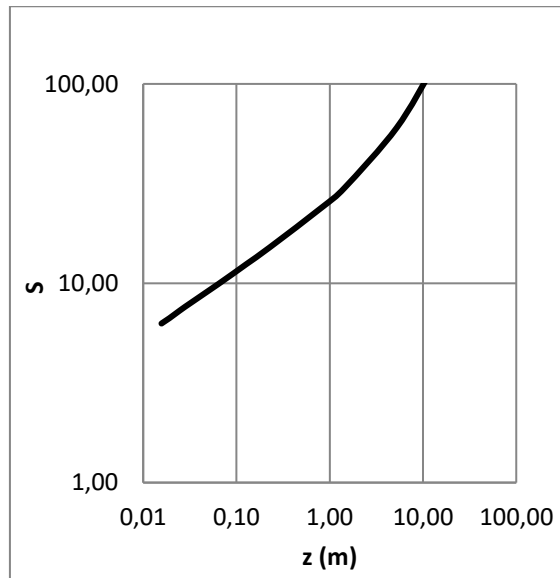
■ Γωνία $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.



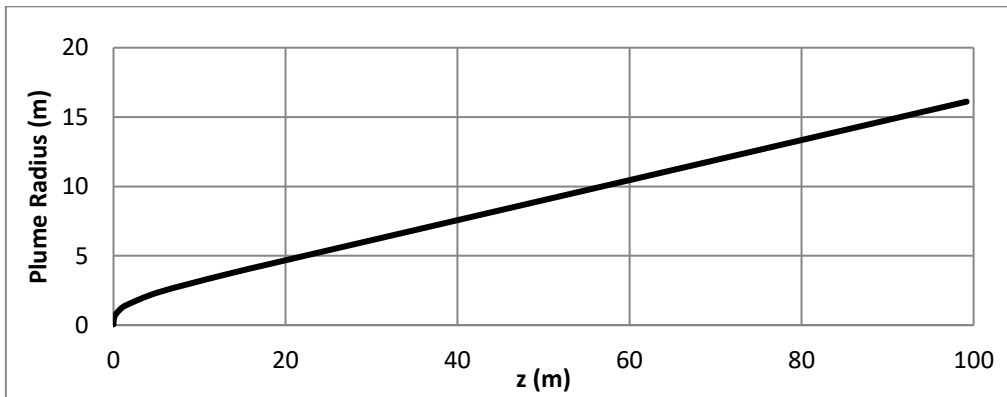
Διάγραμμα Β. 25 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 26 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

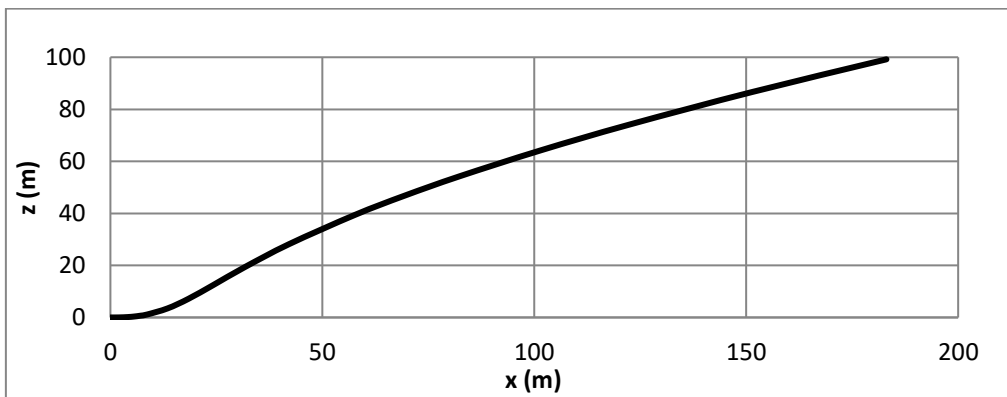


Διάγραμμα Β. 27 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

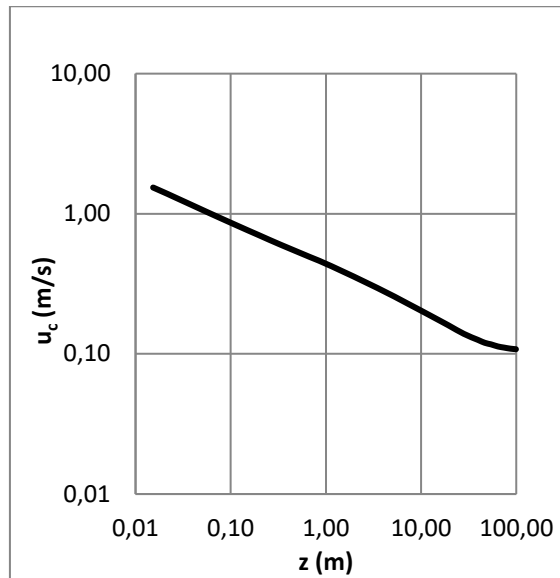


Διάγραμμα Β. 28 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

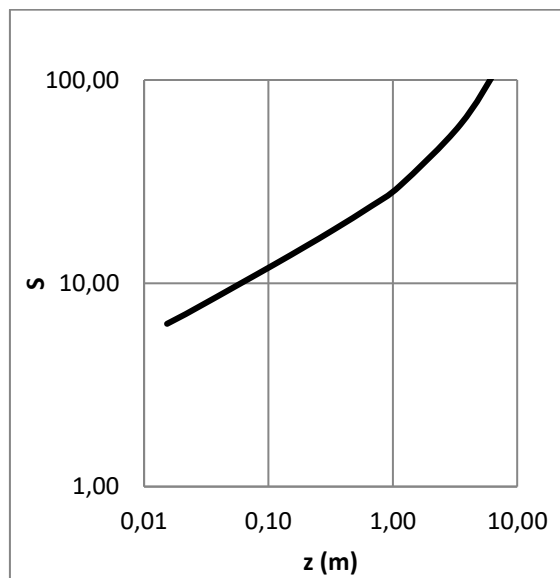
■ Γωνία $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.



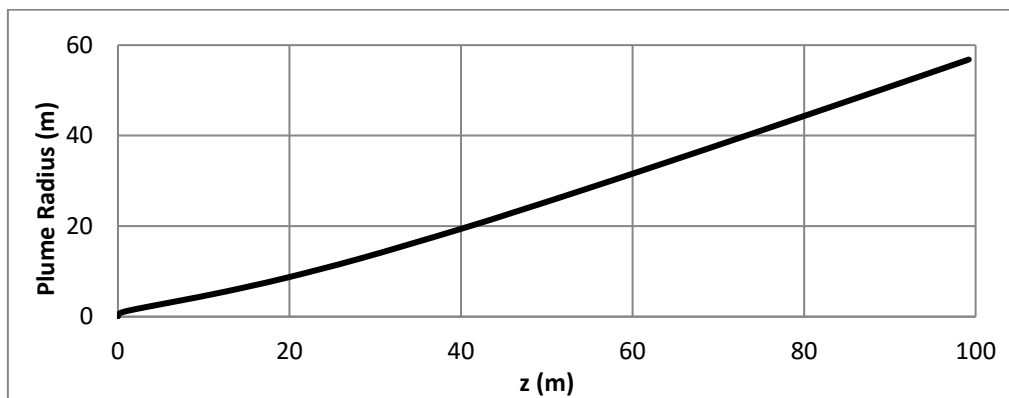
Διάγραμμα Β. 29 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 30 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

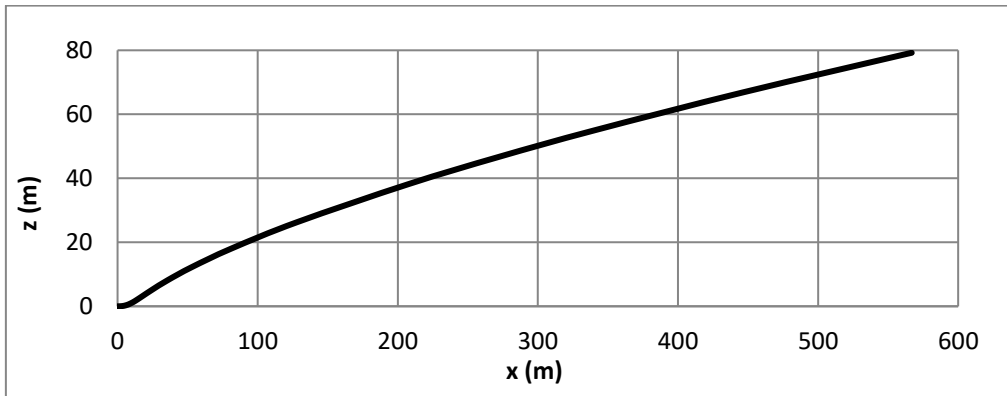


Διάγραμμα Β. 31 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

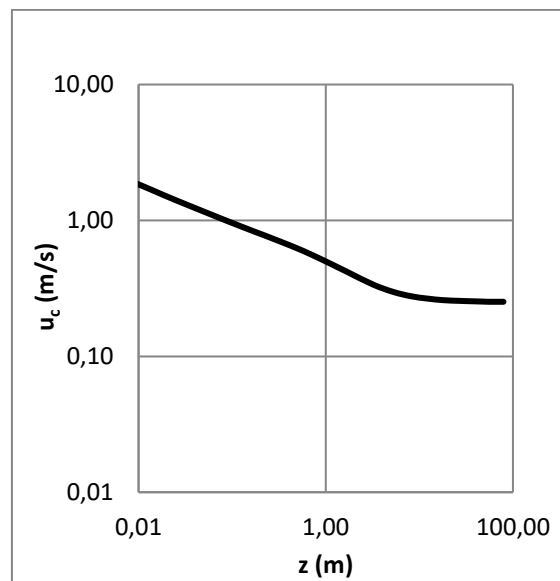


Διάγραμμα Β. 32 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

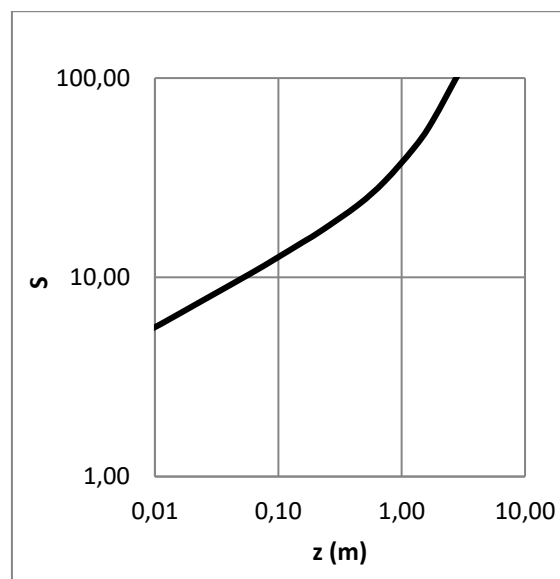
■ Γωνία $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



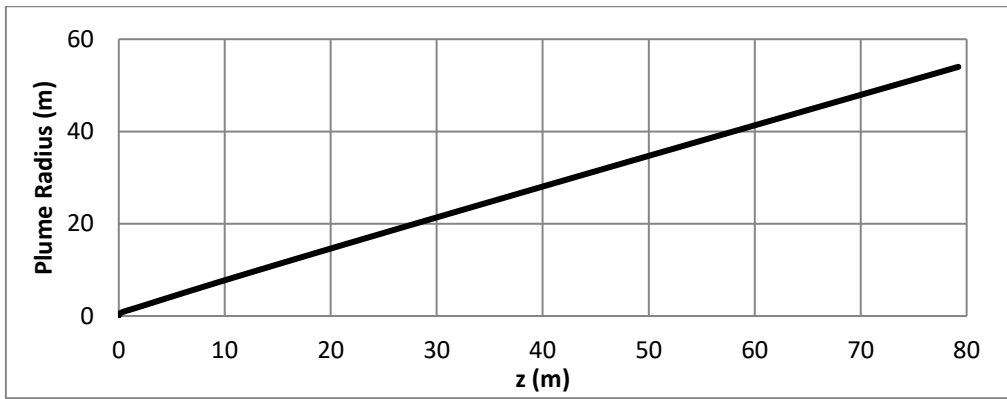
Διάγραμμα Β. 33 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 34 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



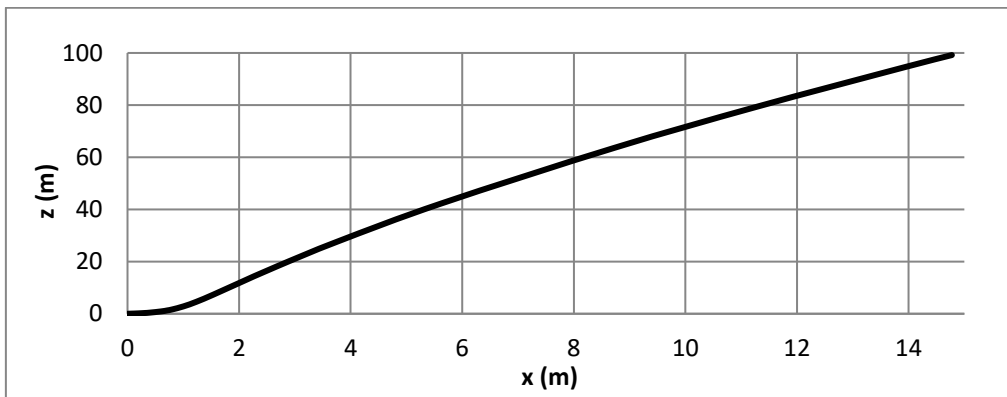
Διάγραμμα Β. 35 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



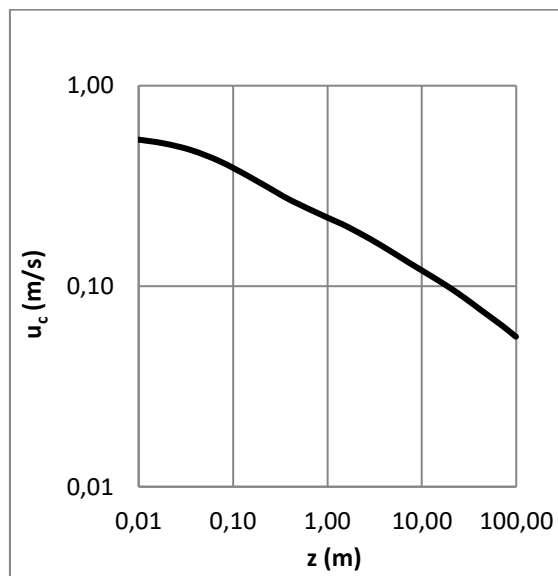
Διάγραμμα Β. 36 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=0^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.

Διαγράμματα για γωνία 30°

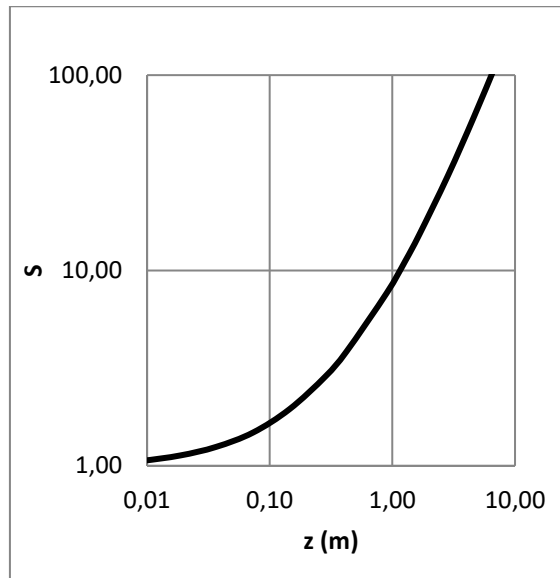
■ Γωνία $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.



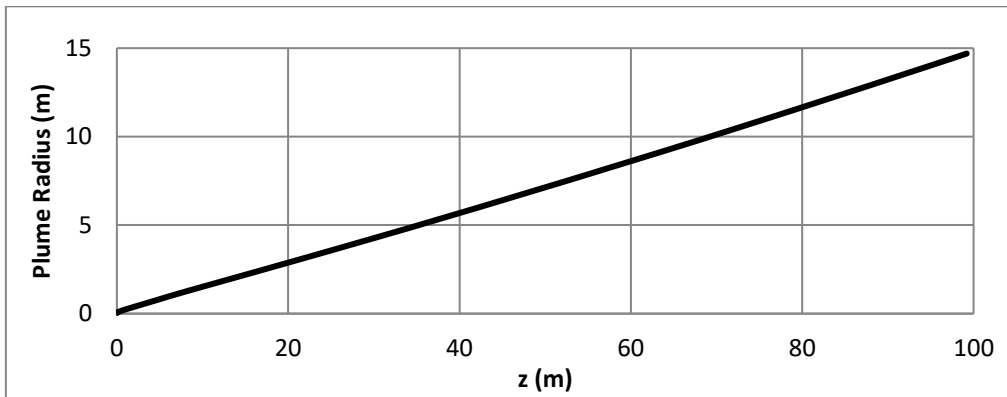
Διάγραμμα Β. 37 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 38 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

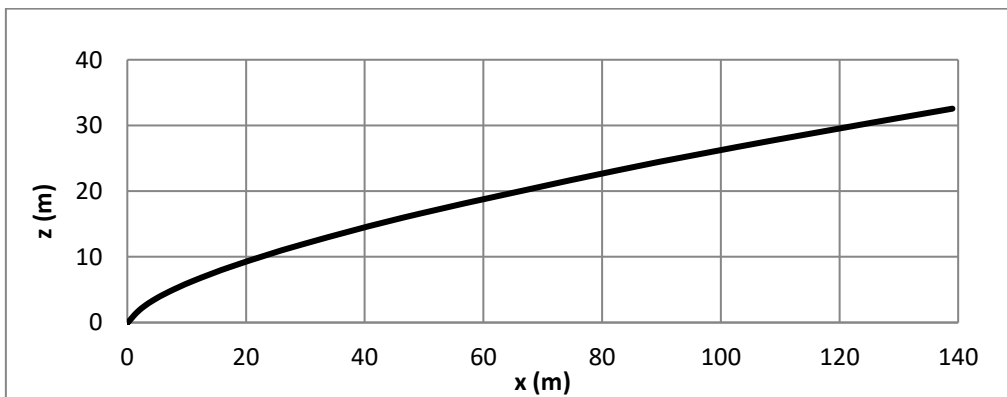


Διάγραμμα Β. 39 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

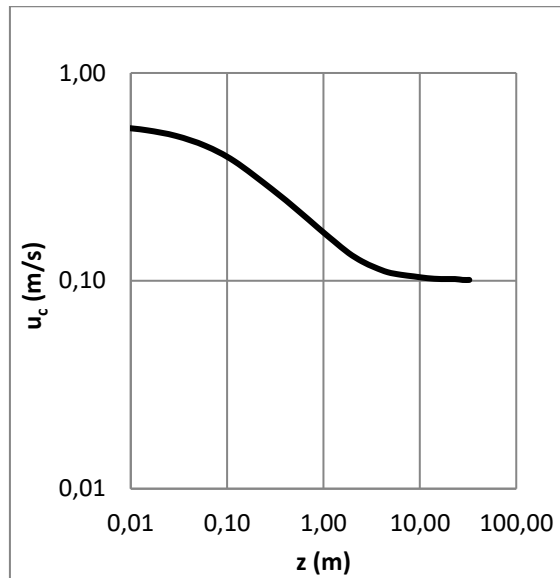


Διάγραμμα Β. 40 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

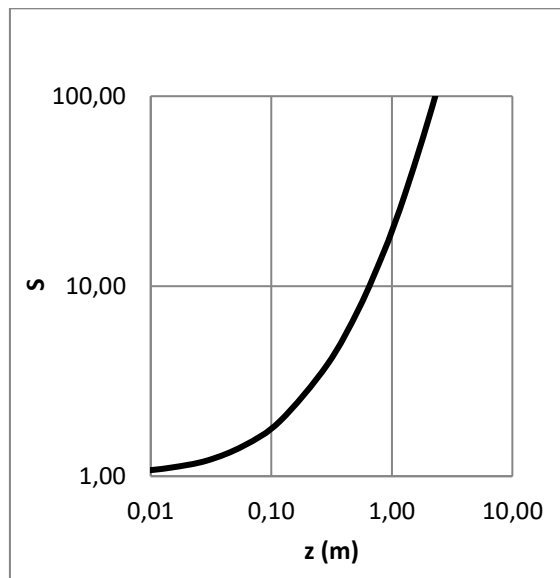
■ Γωνία $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.



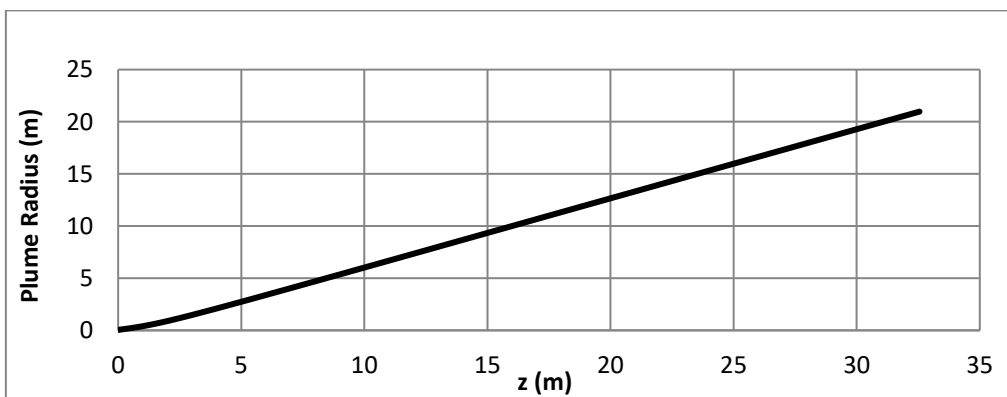
Διάγραμμα Β. 41 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 42 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

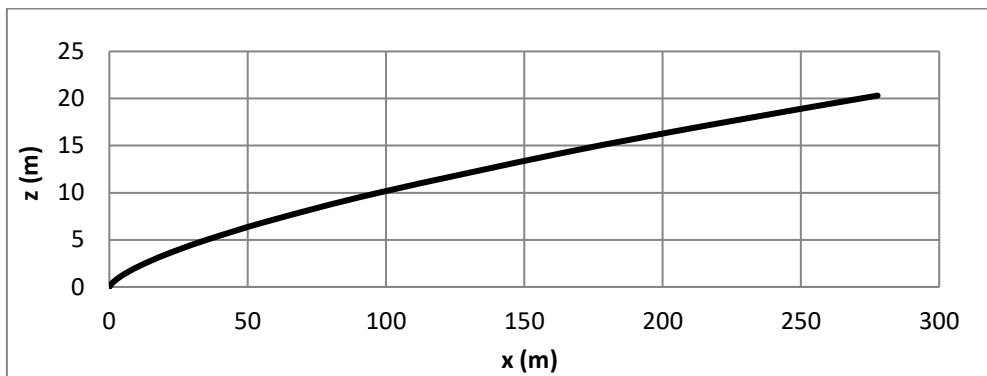


Διάγραμμα Β. 43 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

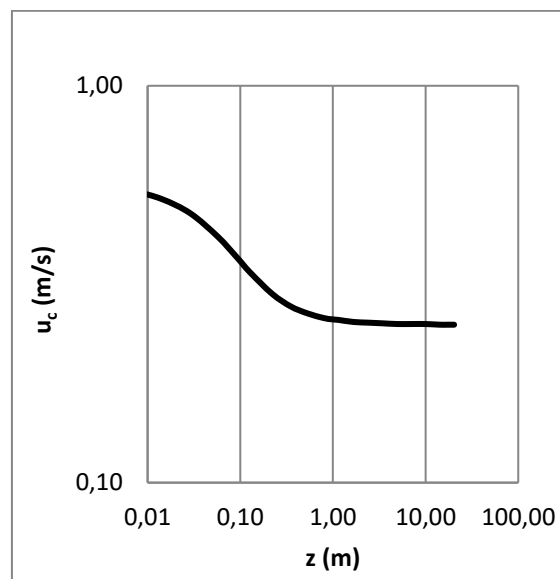


Διάγραμμα Β. 44 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

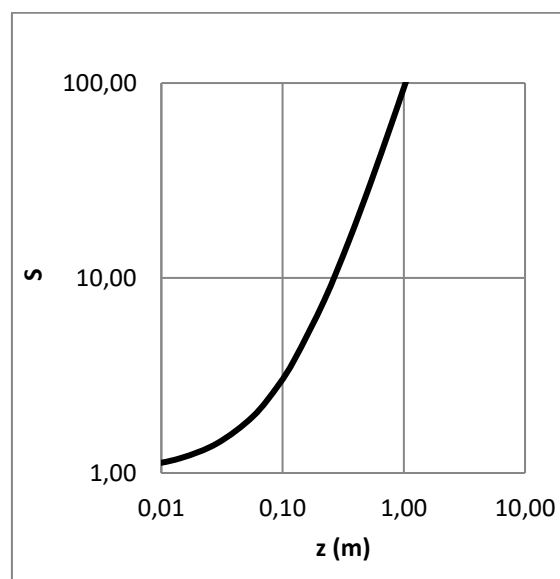
■ Γωνία $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.



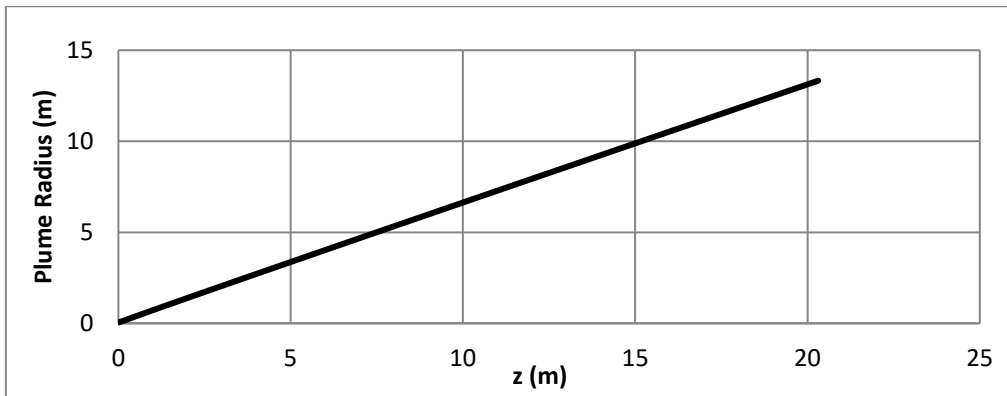
Διάγραμμα Β. 45 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 46 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

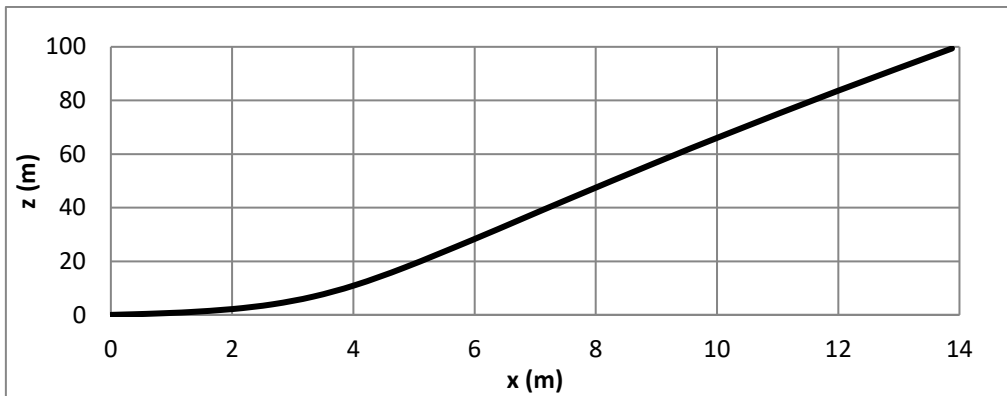


Διάγραμμα Β. 47 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

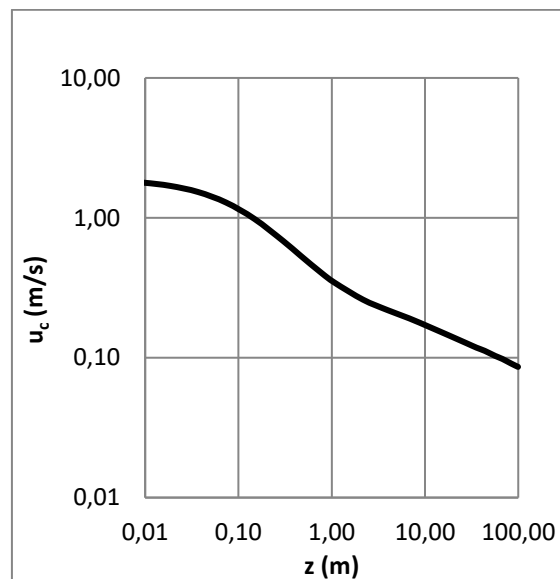


Διάγραμμα Β. 48 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

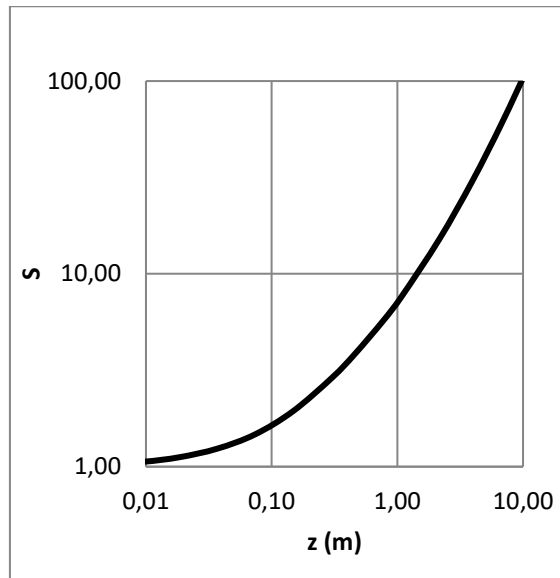
■ Γωνία $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.



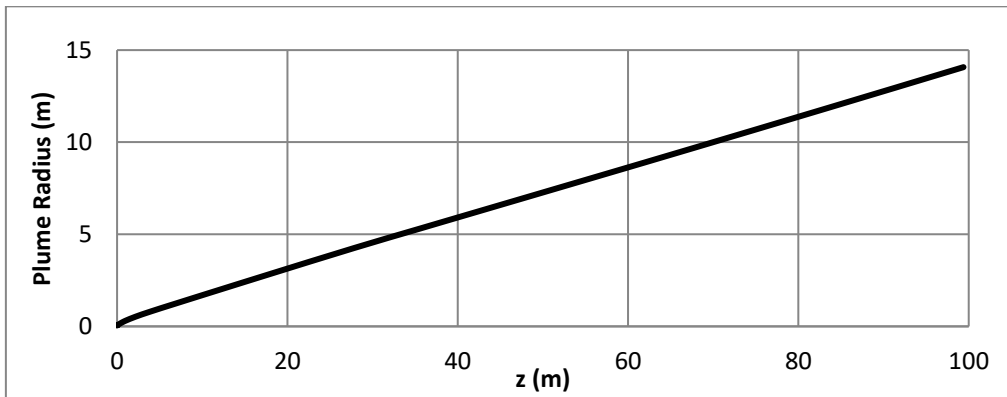
Διάγραμμα Β. 49 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 50 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

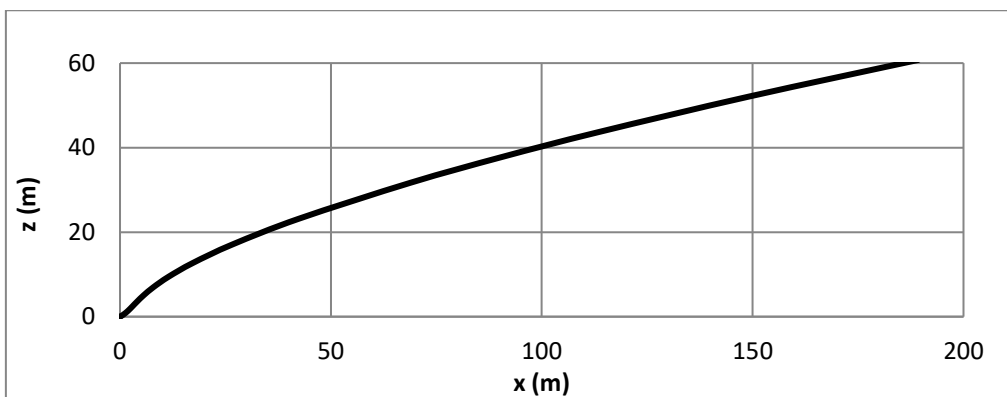


Διάγραμμα Β. 51 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

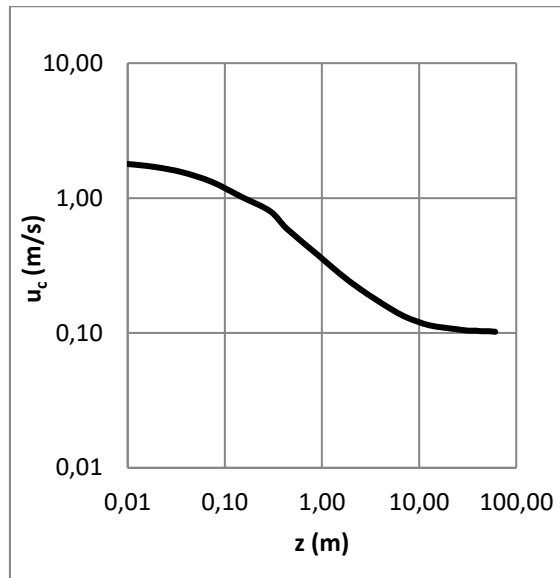


Διάγραμμα Β. 52 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

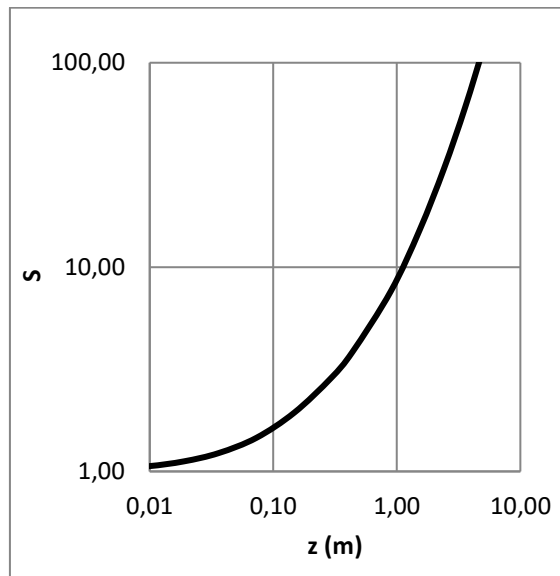
■ Γωνία $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.



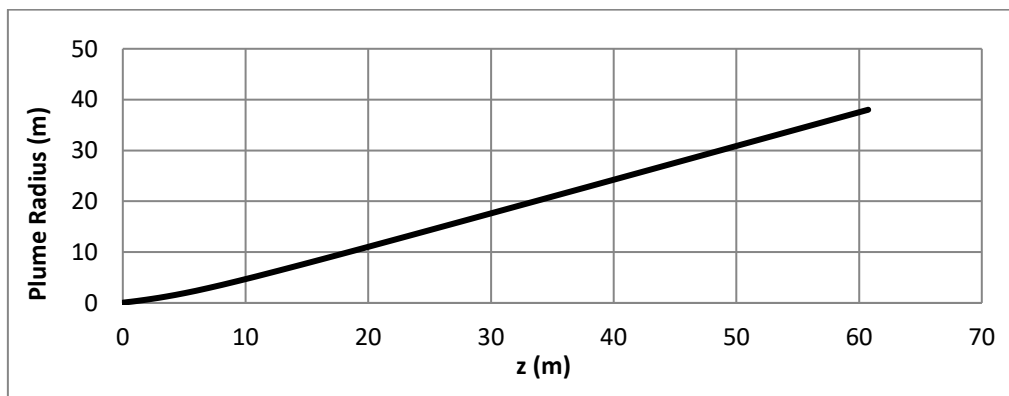
Διάγραμμα Β. 53 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 54 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

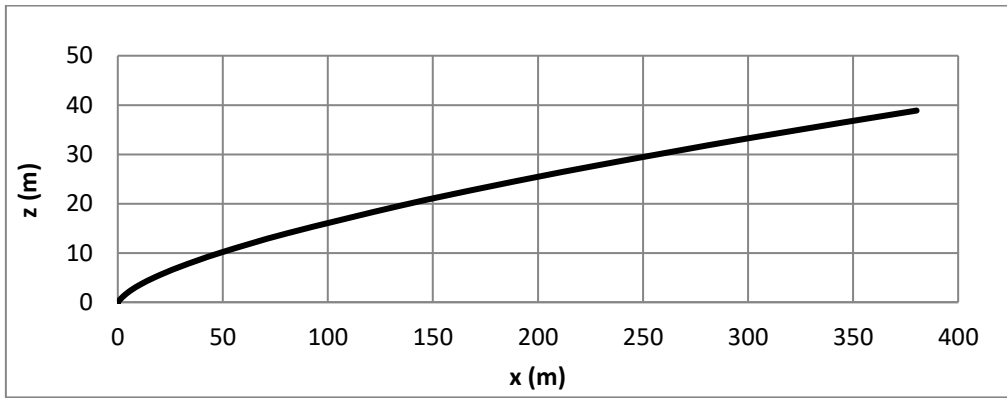


Διάγραμμα Β. 55 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

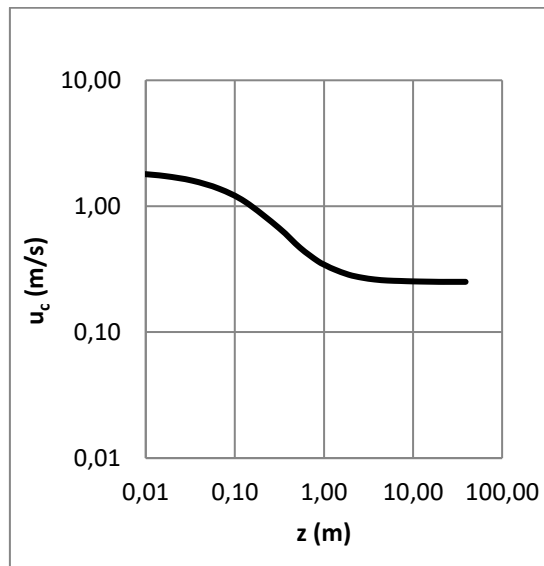


Διάγραμμα Β. 56 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

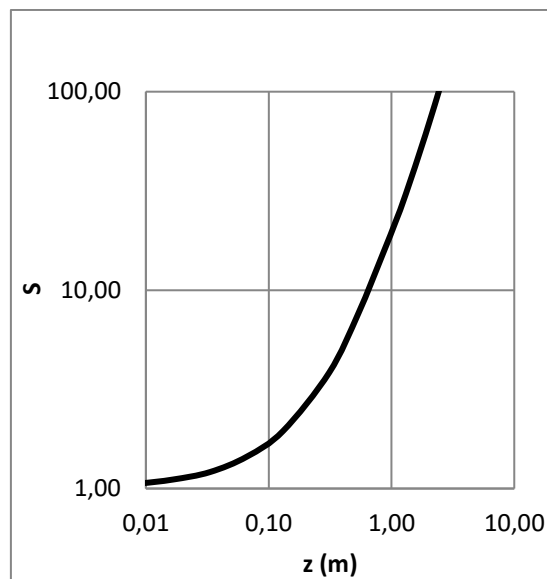
■ Γωνία $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.



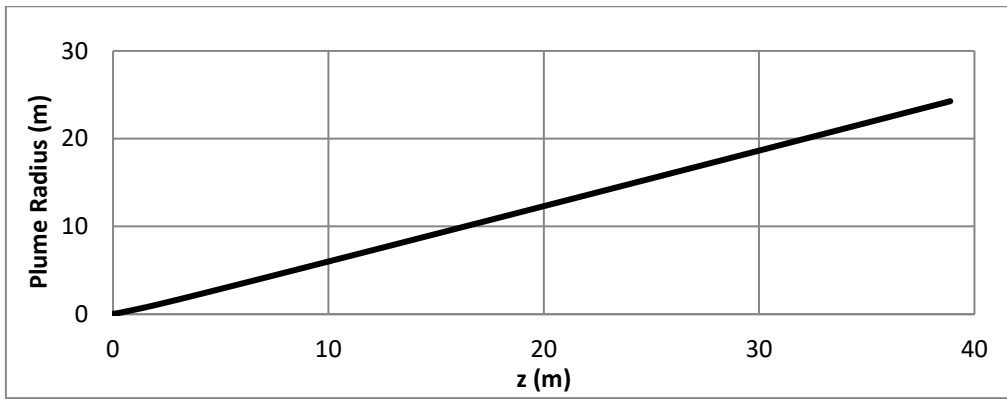
Διάγραμμα Β. 57 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 58 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

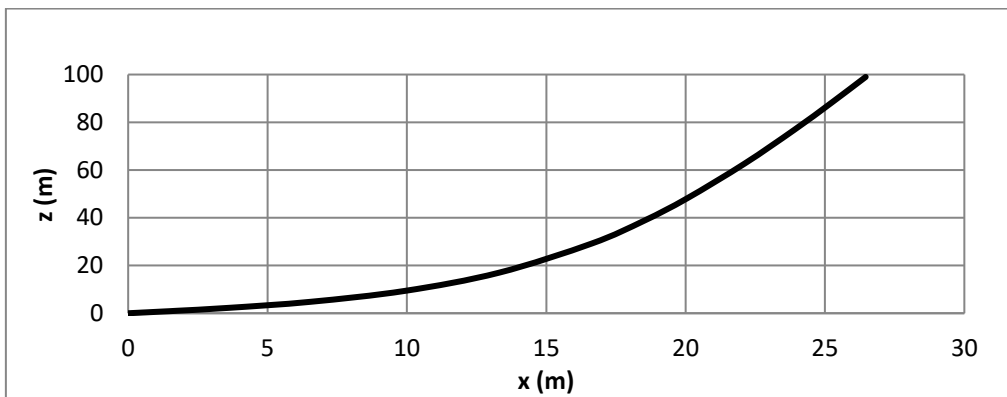


Διάγραμμα Β. 59 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

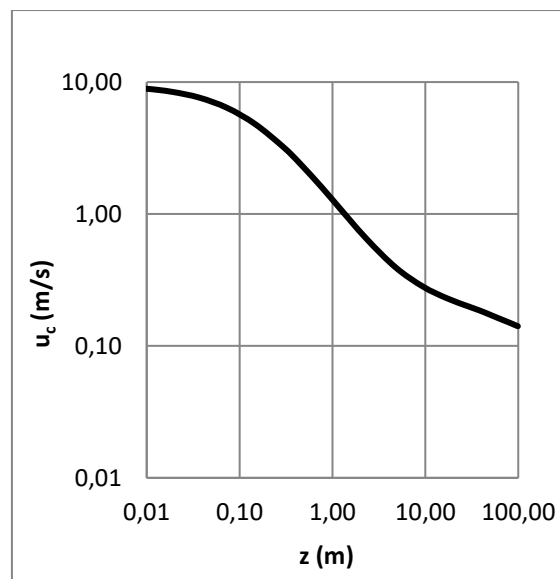


Διάγραμμα Β. 60 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

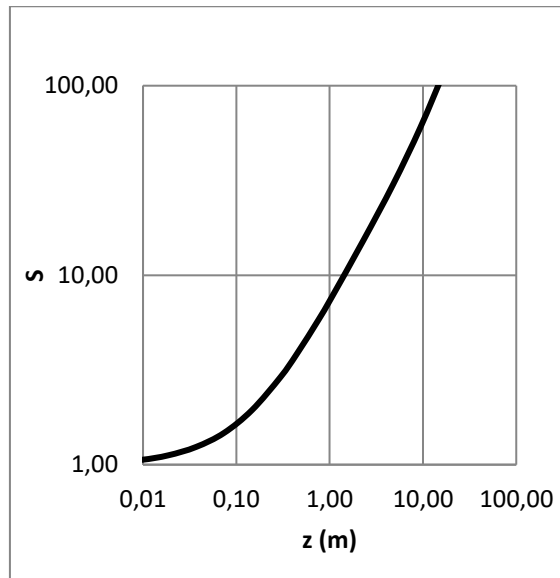
■ Γωνία $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.



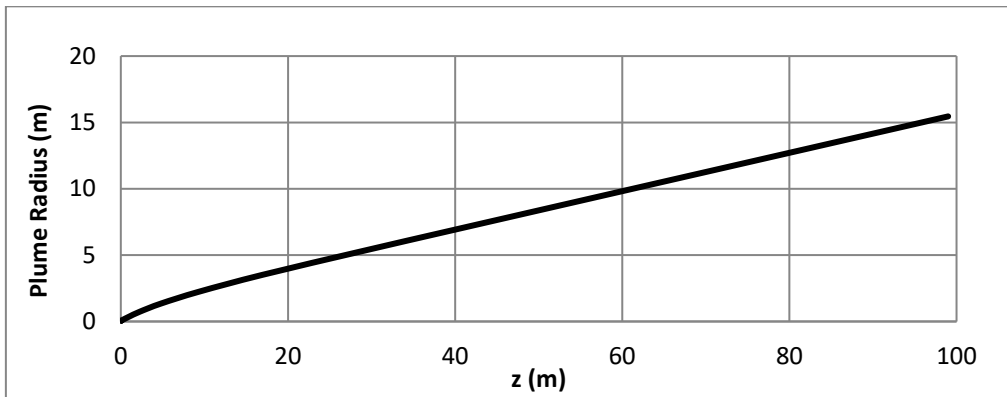
Διάγραμμα Β. 61 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 62 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

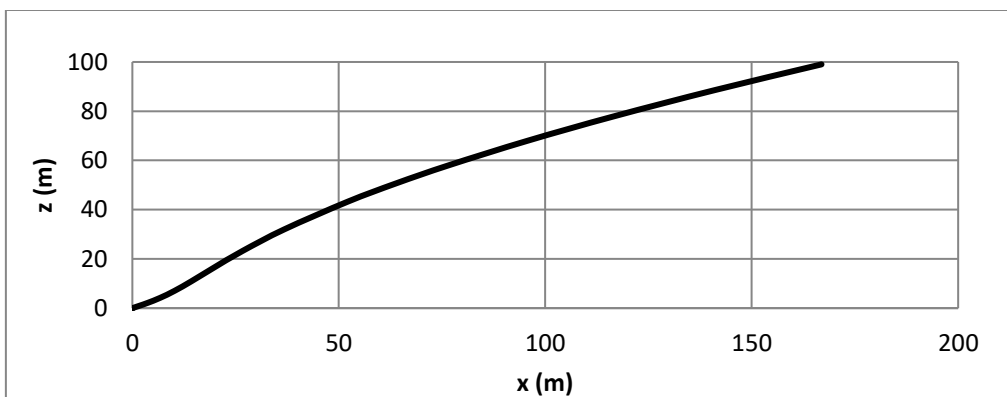


Διάγραμμα Β. 63 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

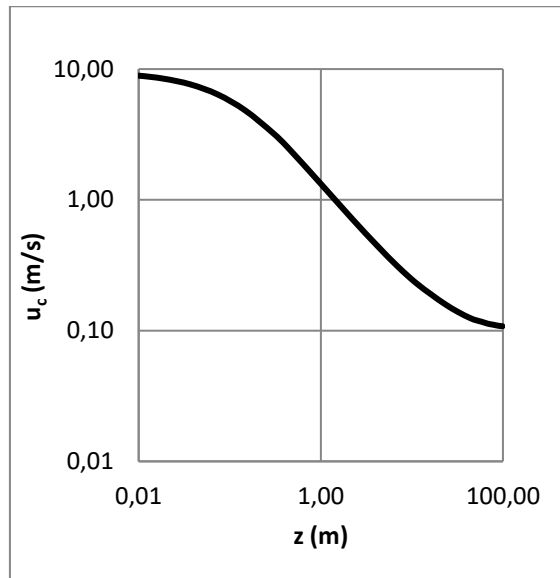


Διάγραμμα Β. 64 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

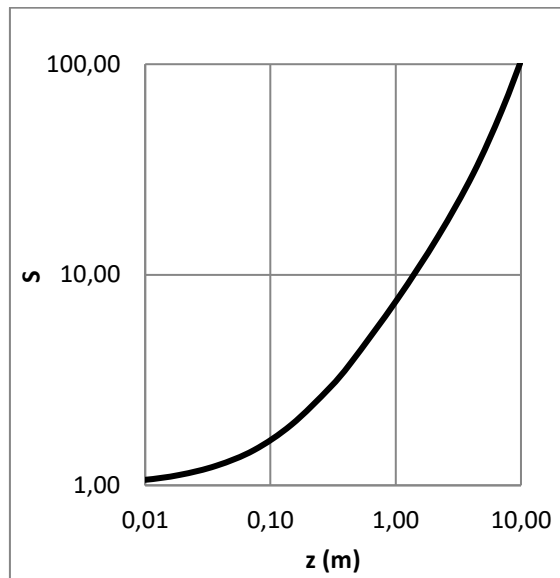
■ Γωνία $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.



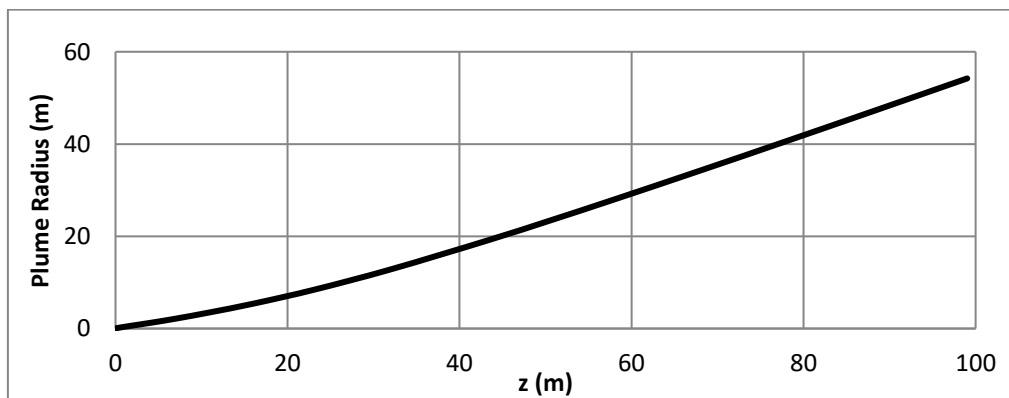
Διάγραμμα Β. 65 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 66 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

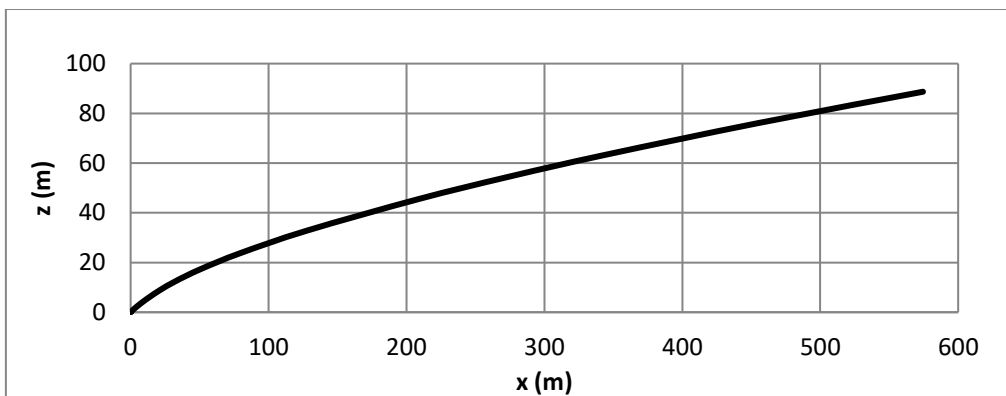


Διάγραμμα Β. 67 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

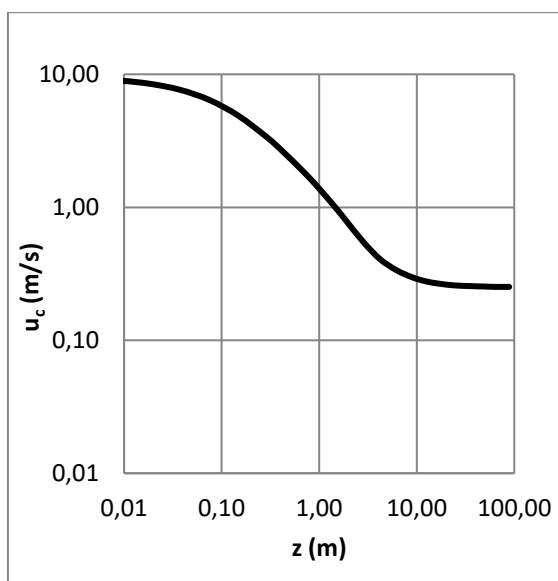


Διάγραμμα Β. 68 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

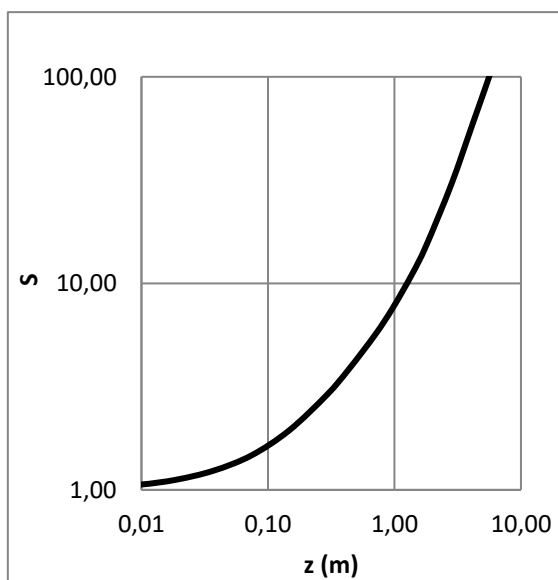
■ Γωνία $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



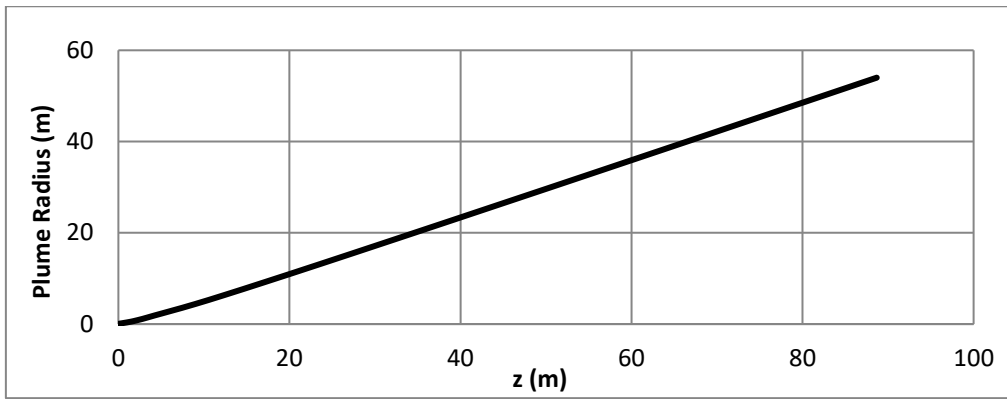
Διάγραμμα Β. 69 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 70 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



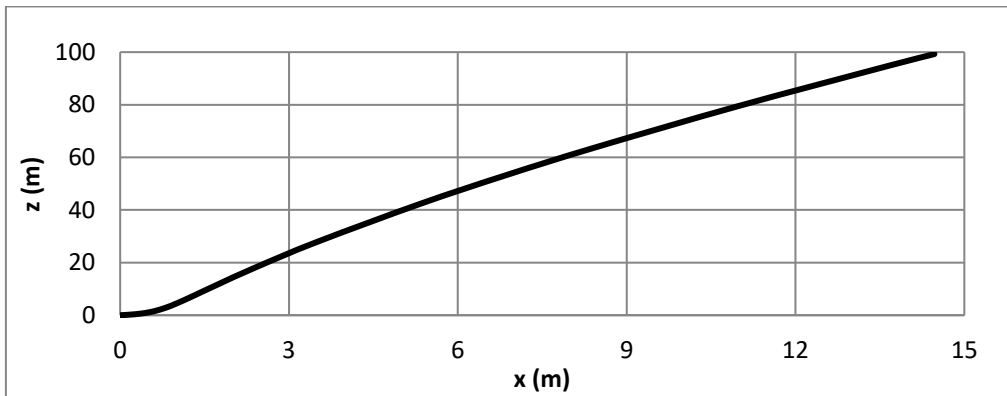
Διάγραμμα Β. 71 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



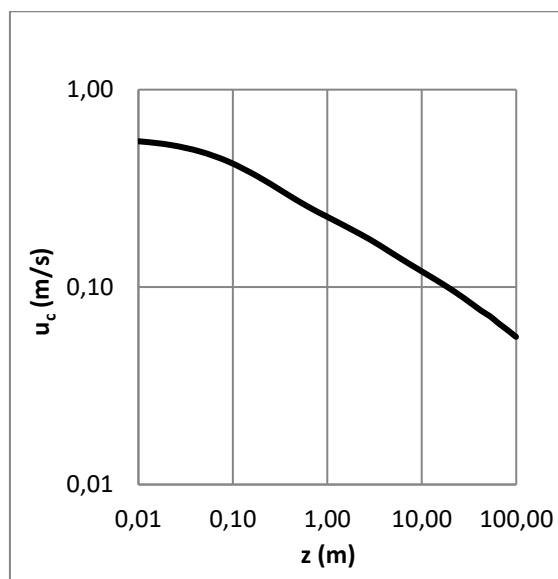
Διάγραμμα Β. 72 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=30^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.

Διαγράμματα για γωνία 45°

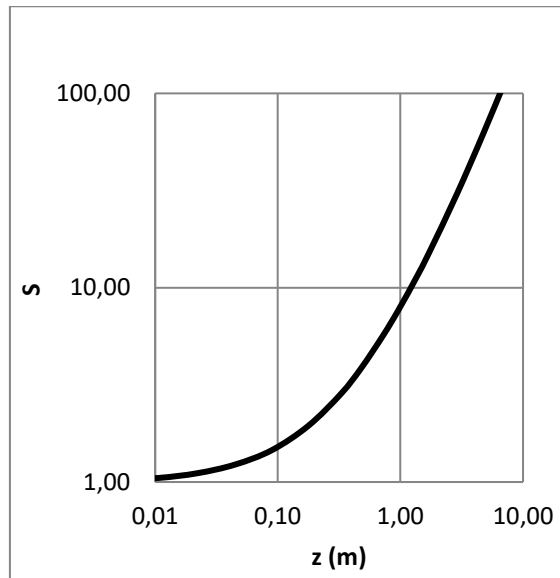
- Γωνία $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.



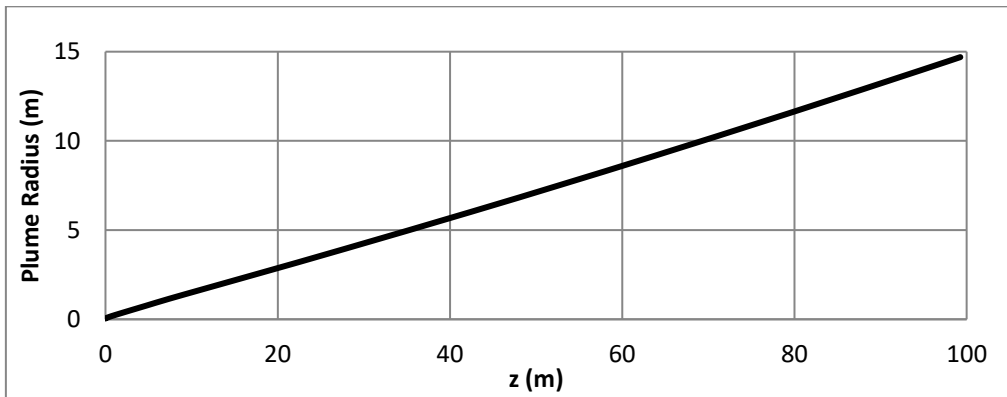
Διάγραμμα Β. 73 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 74 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

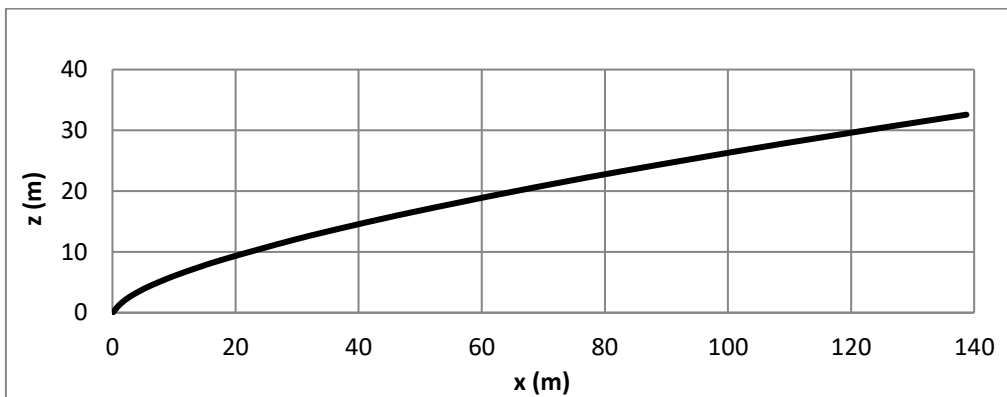


Διάγραμμα Β. 75 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

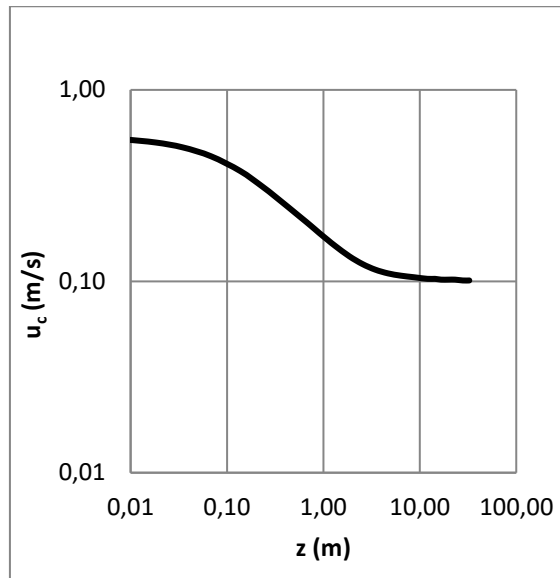


Διάγραμμα Β. 76 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

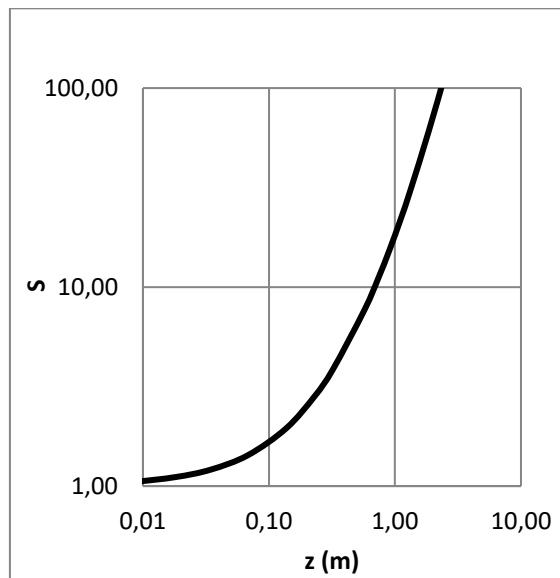
■ Γωνία $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.



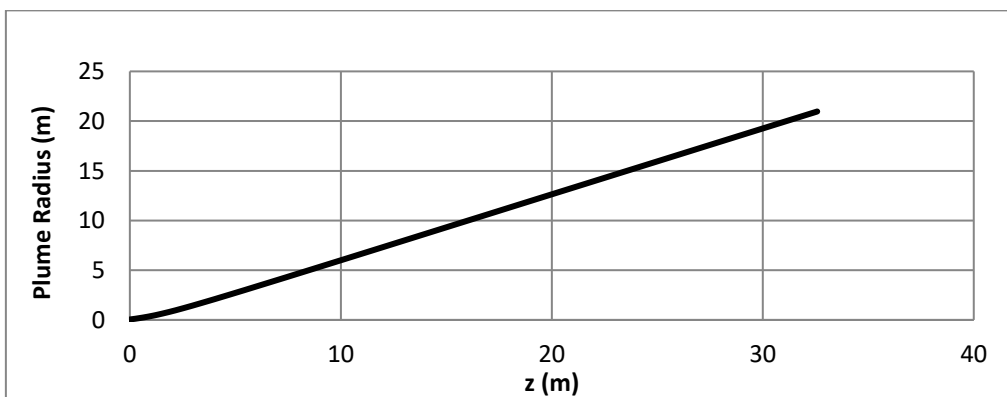
Διάγραμμα Β. 77 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 78 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

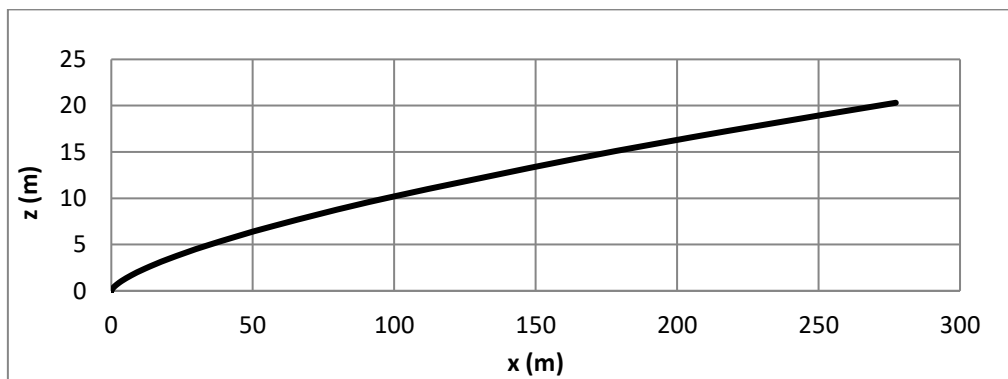


Διάγραμμα Β. 79 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

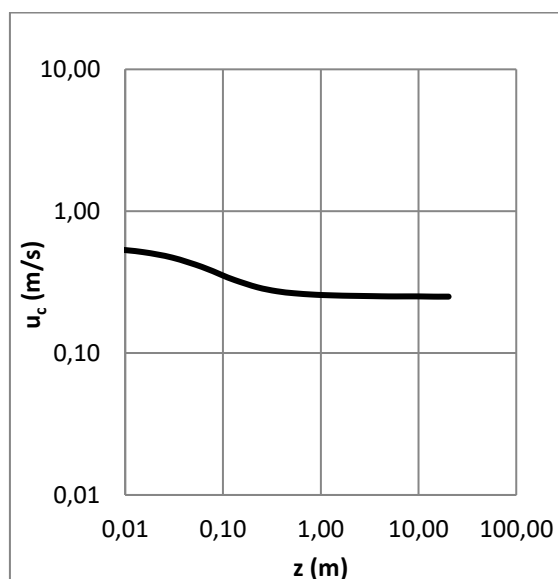


Διάγραμμα Β. 80 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

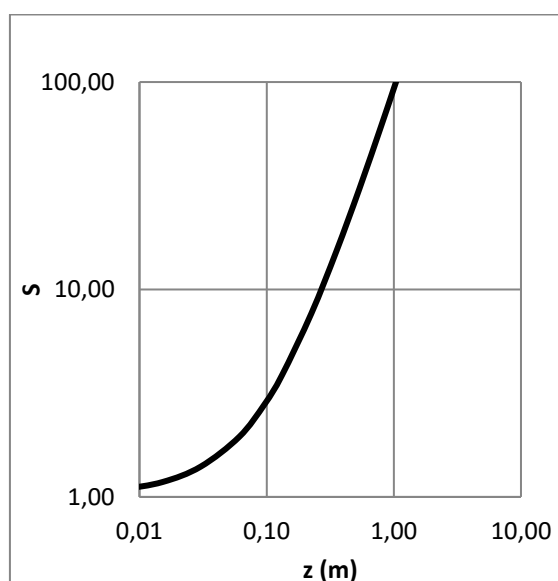
■ Γωνία $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.



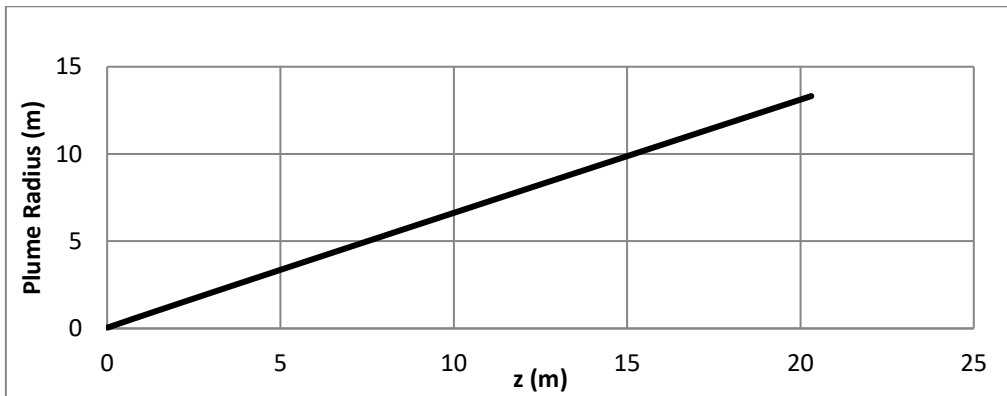
Διάγραμμα Β. 81 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 82 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

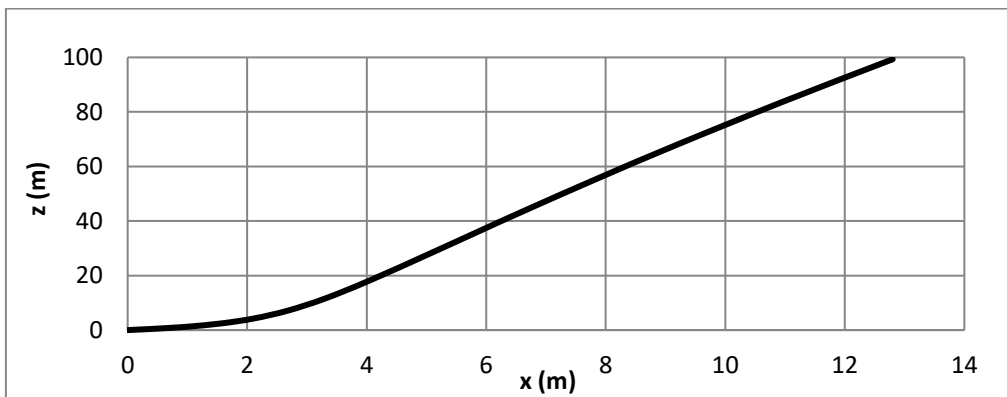


Διάγραμμα Β. 83 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

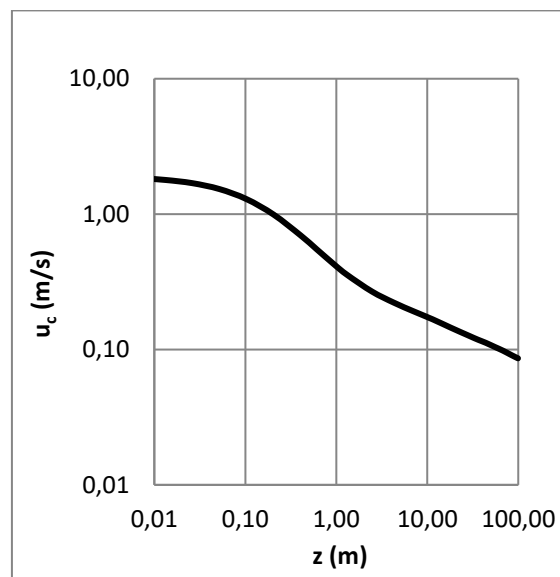


Διάγραμμα Β. 84 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

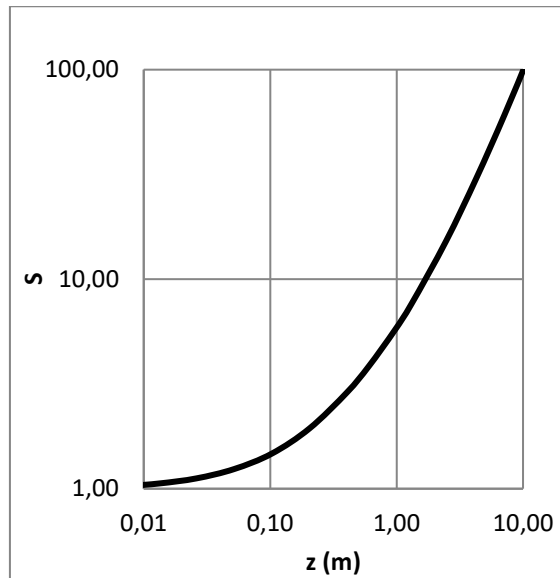
■ Γωνία $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.



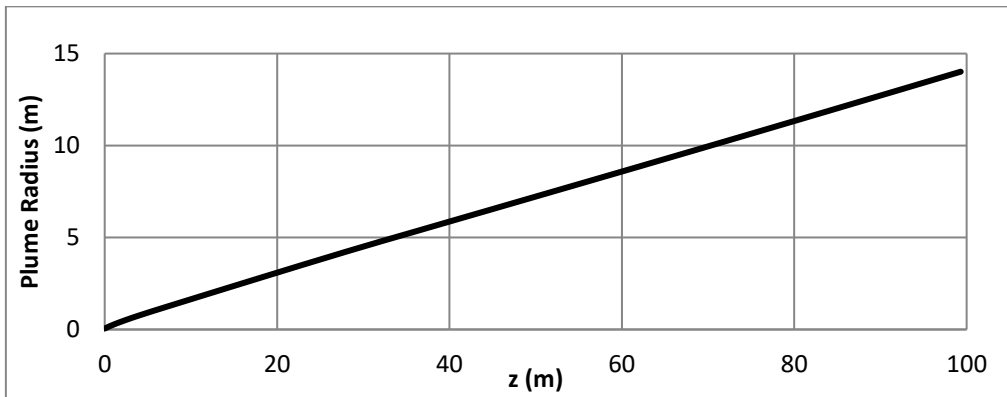
Διάγραμμα Β. 85 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 86 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

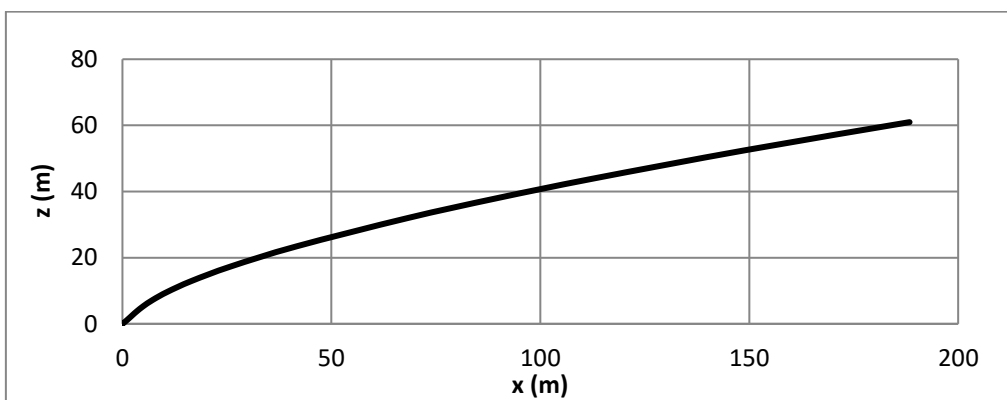


Διάγραμμα Β. 87 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

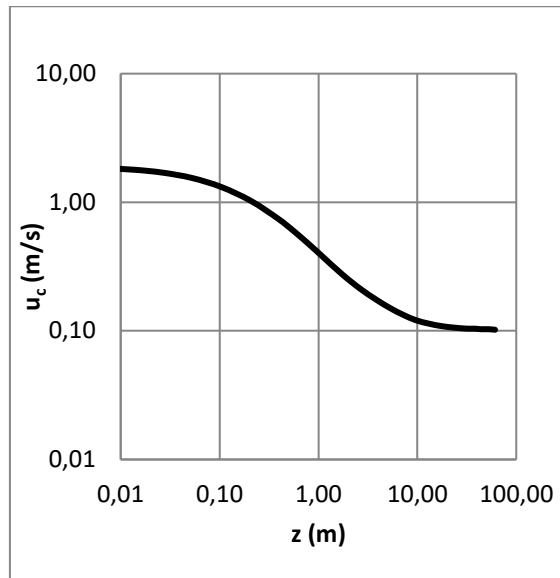


Διάγραμμα Β. 88 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

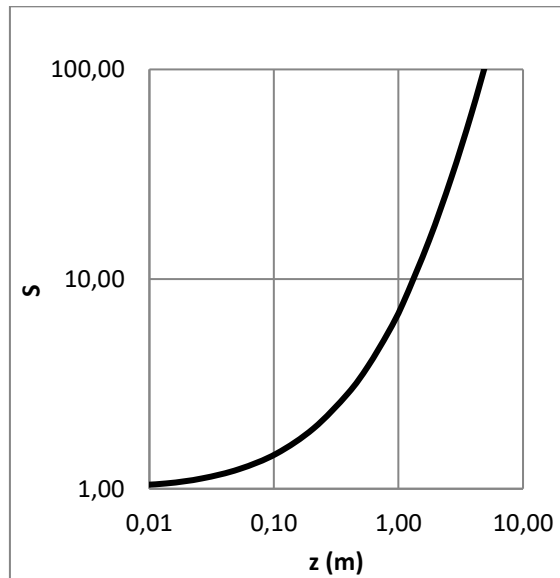
■ Γωνία $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.



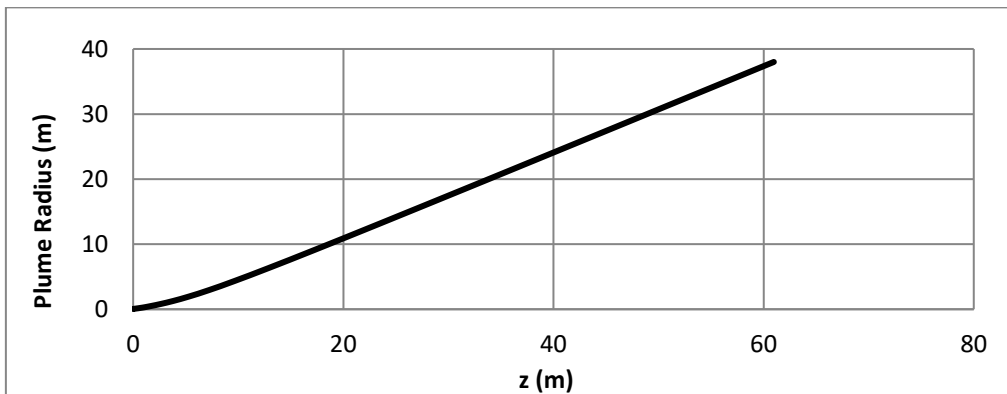
Διάγραμμα Β. 89 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 90 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

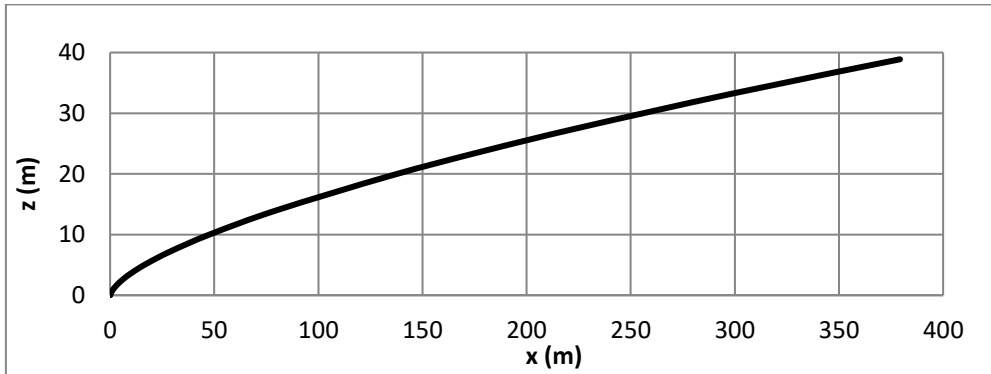


Διάγραμμα Β. 91 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

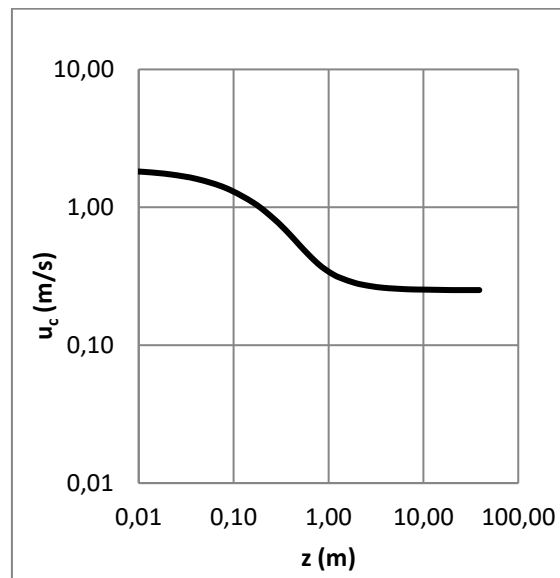


Διάγραμμα Β. 92 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

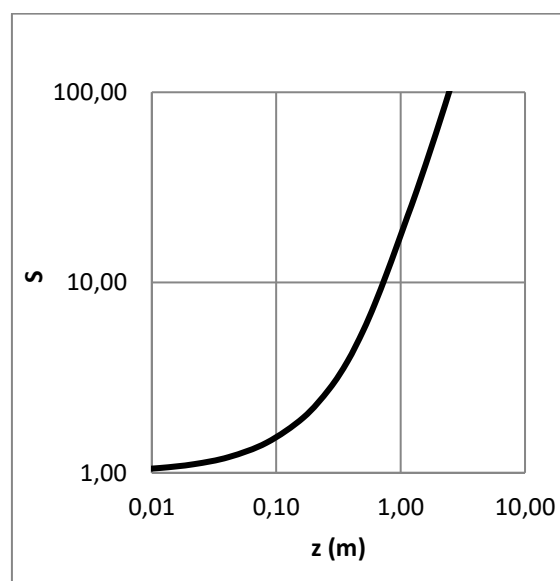
■ Γωνία $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.



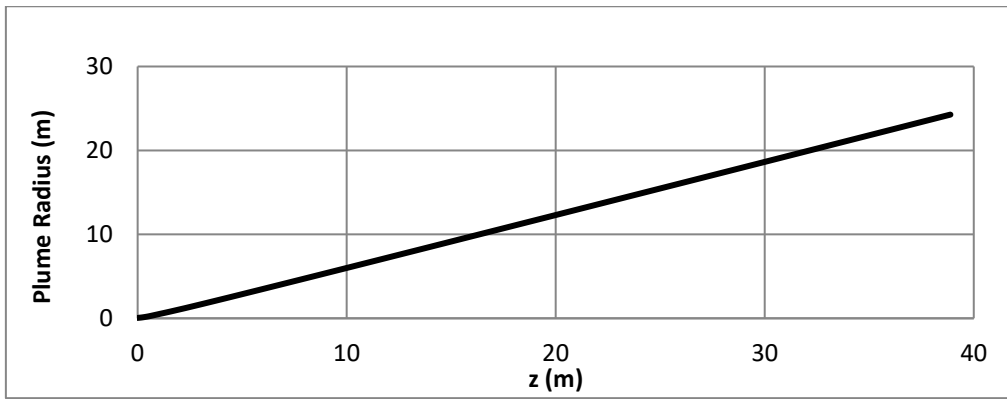
Διάγραμμα Β. 93 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 94 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

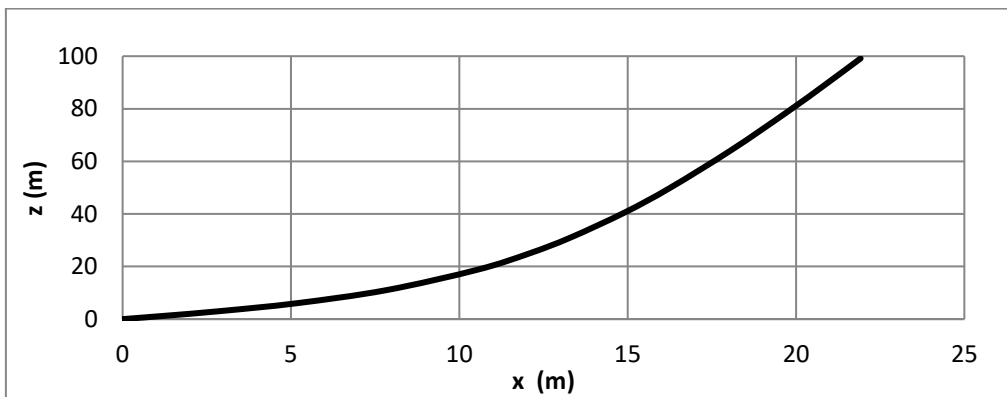


Διάγραμμα Β. 95 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

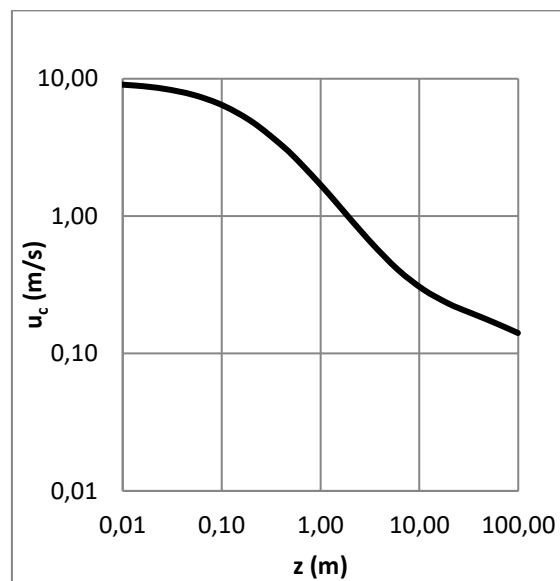


Διάγραμμα Β. 96 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

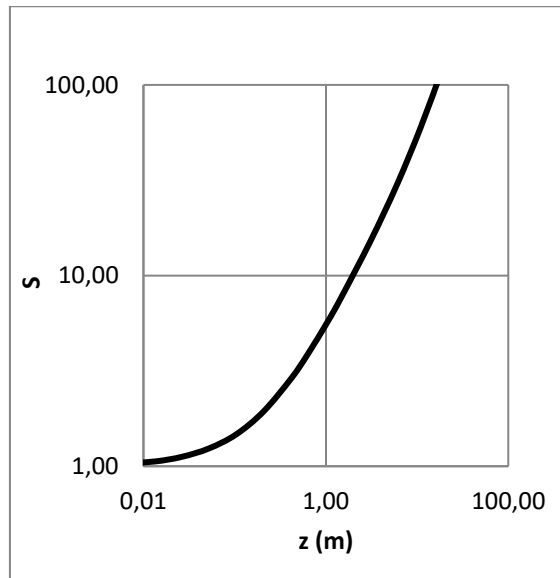
■ Γωνία $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.



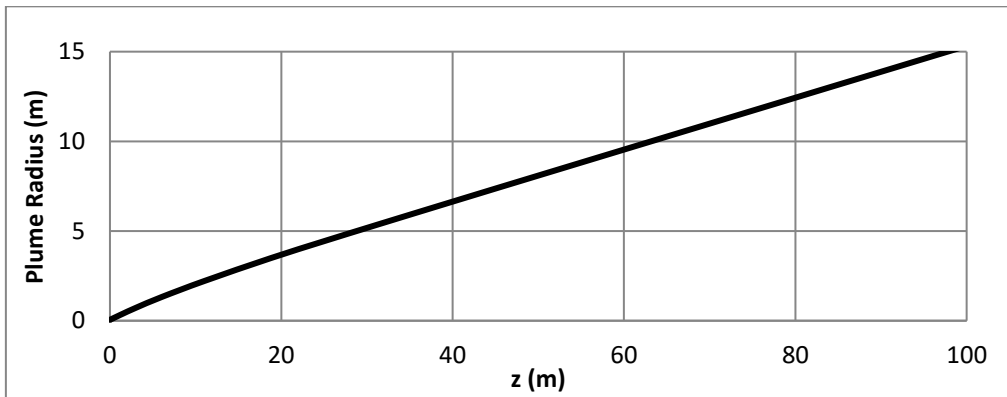
Διάγραμμα Β. 97 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 98 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

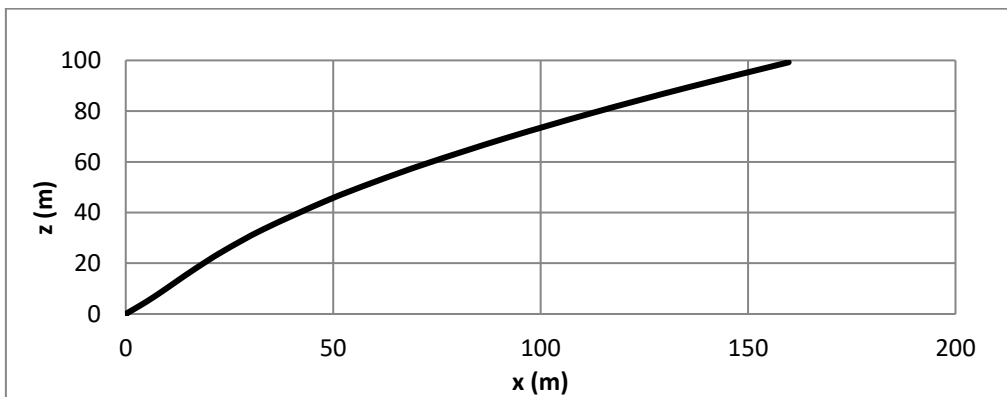


Διάγραμμα Β. 99 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

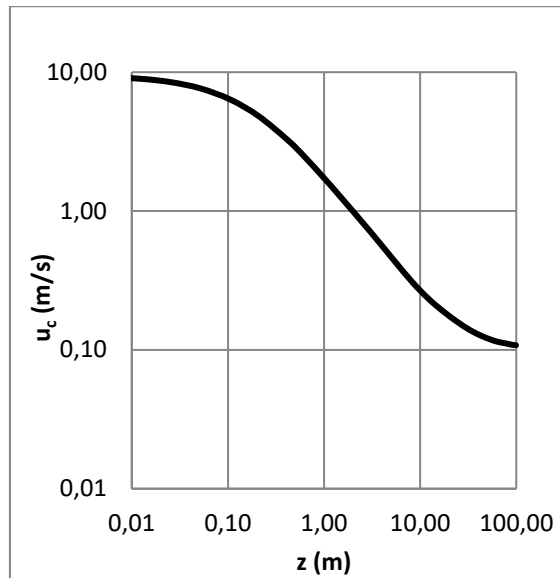


Διάγραμμα Β. 100 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

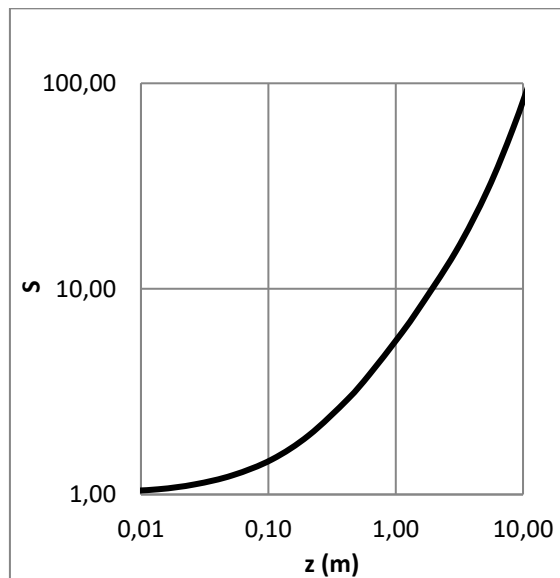
■ Γωνία $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.



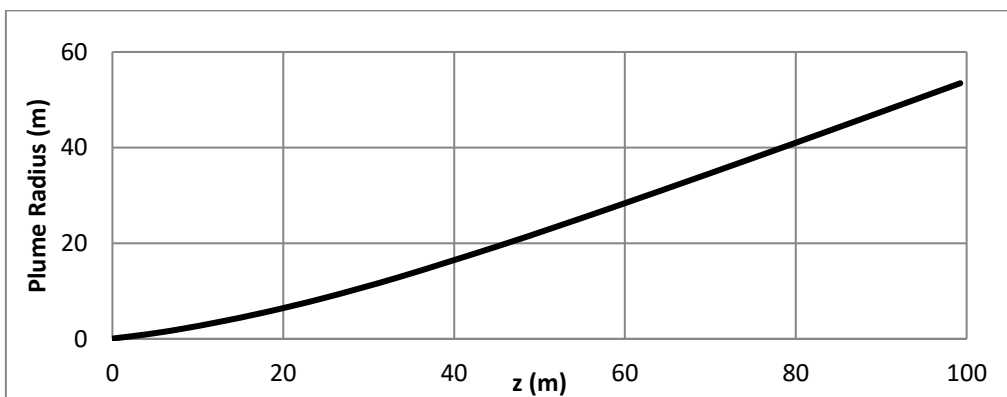
Διάγραμμα Β. 101 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 102 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

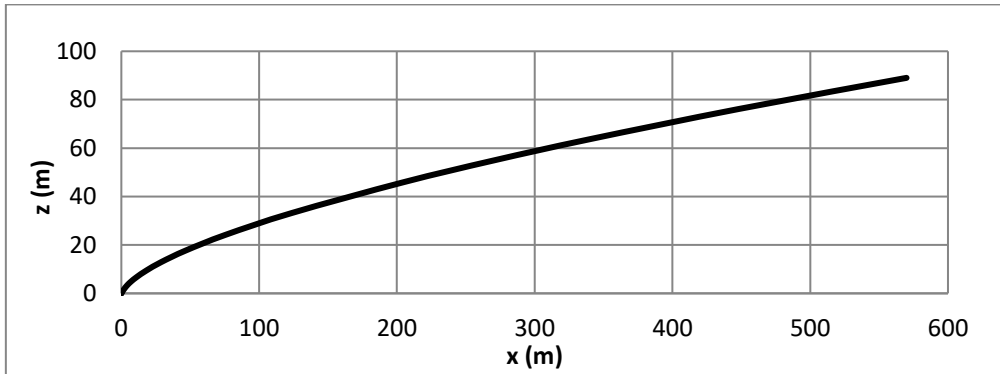


Διάγραμμα Β. 103 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

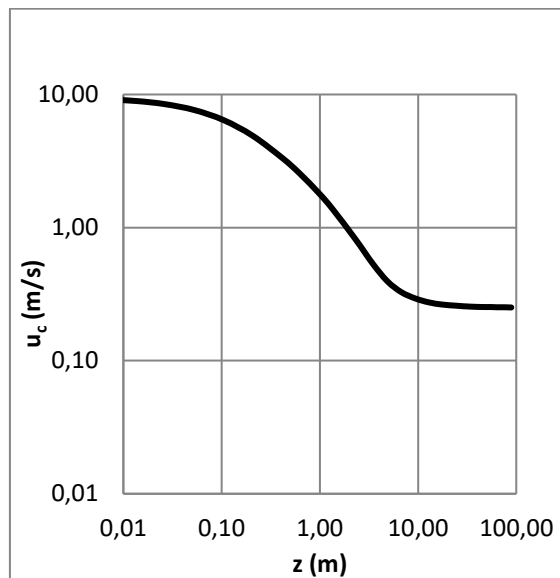


Διάγραμμα Β. 104 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

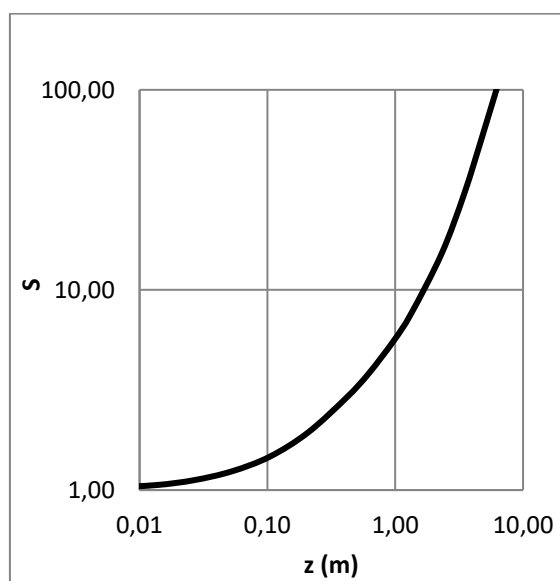
■ Γωνία $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



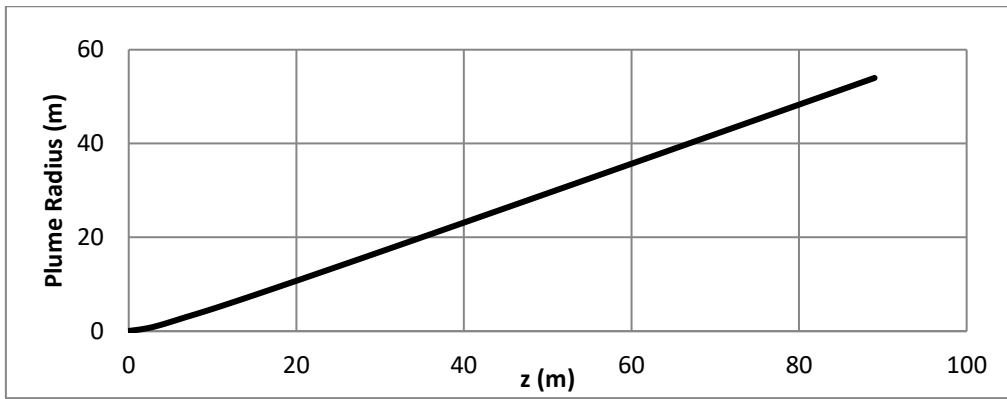
Διάγραμμα Β. 105 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 106 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



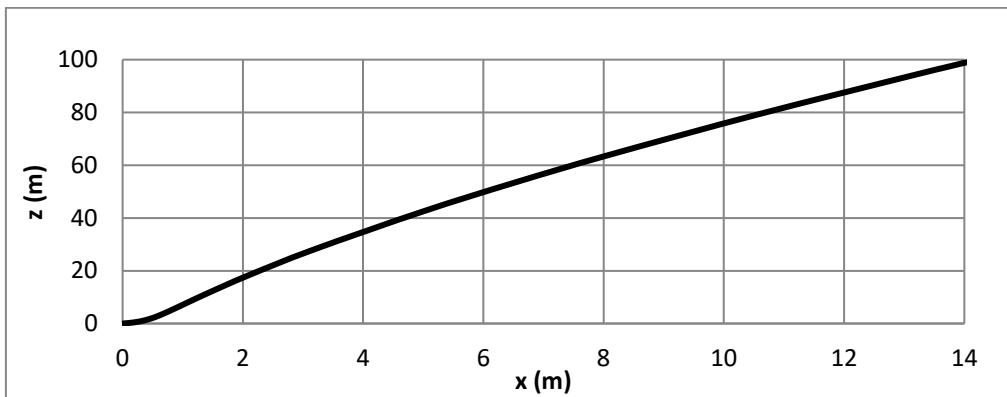
Διάγραμμα Β. 107 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



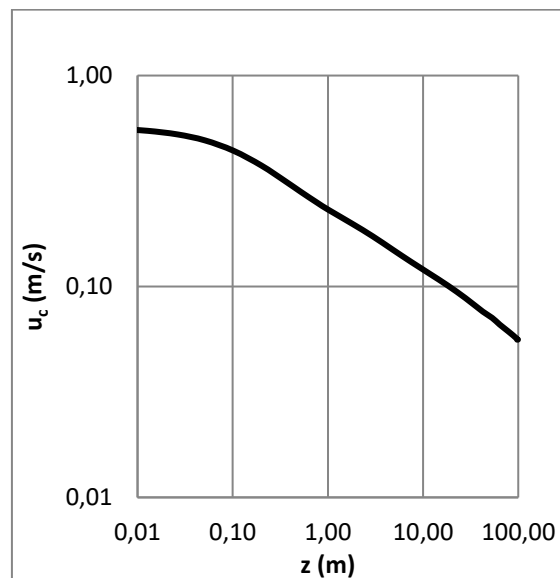
Διάγραμμα Β. 108 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=45^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.

Διαγράμματα για γωνία 60°

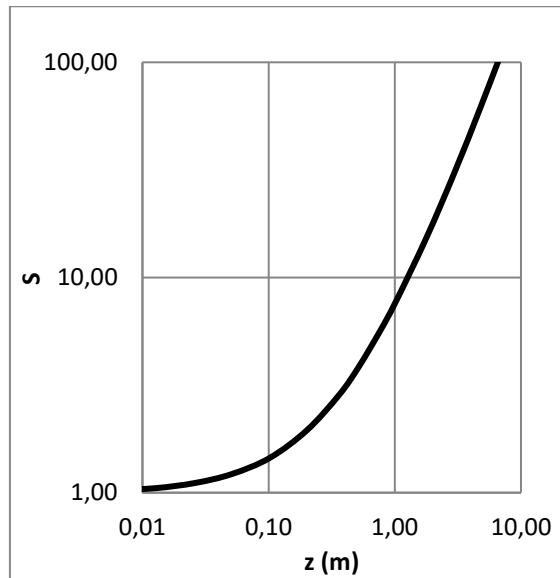
- Γωνία $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.



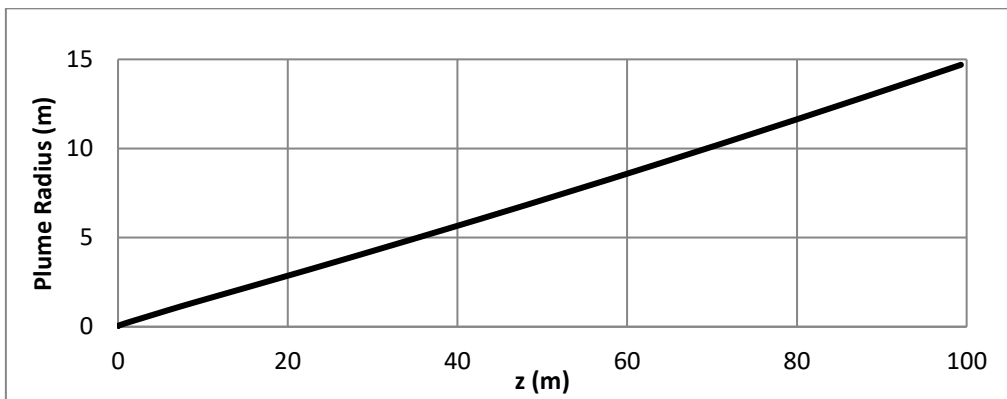
Διάγραμμα Β. 109 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 110 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

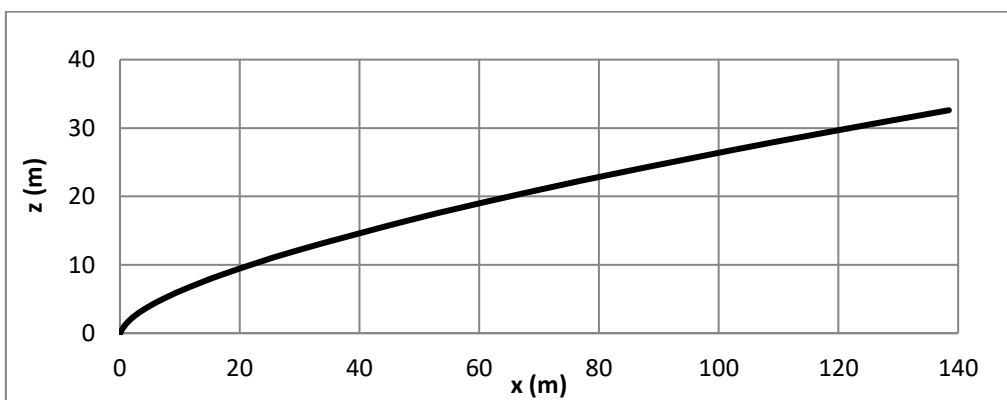


Διάγραμμα Β. 111 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

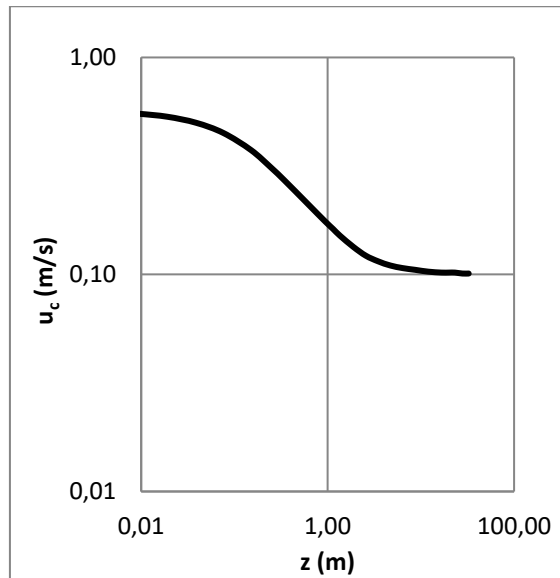


Διάγραμμα Β. 112 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

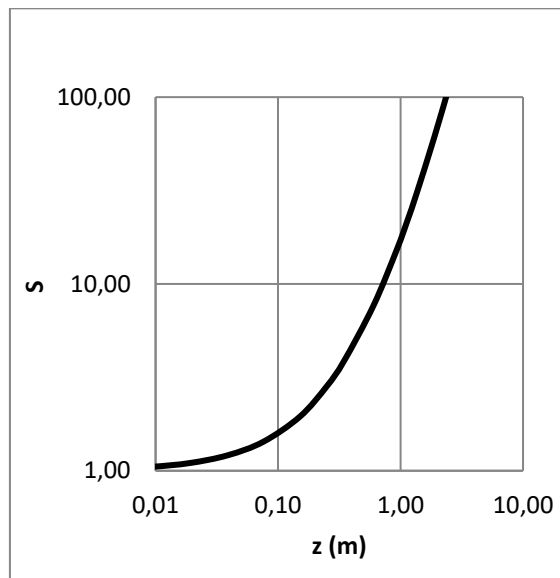
■ Γωνία $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.



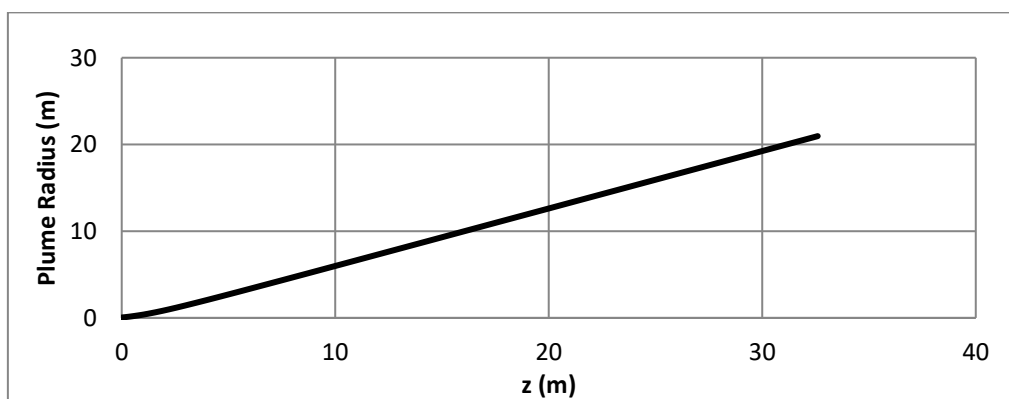
Διάγραμμα Β. 113 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 114 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_o=60^\circ$, $F_o=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

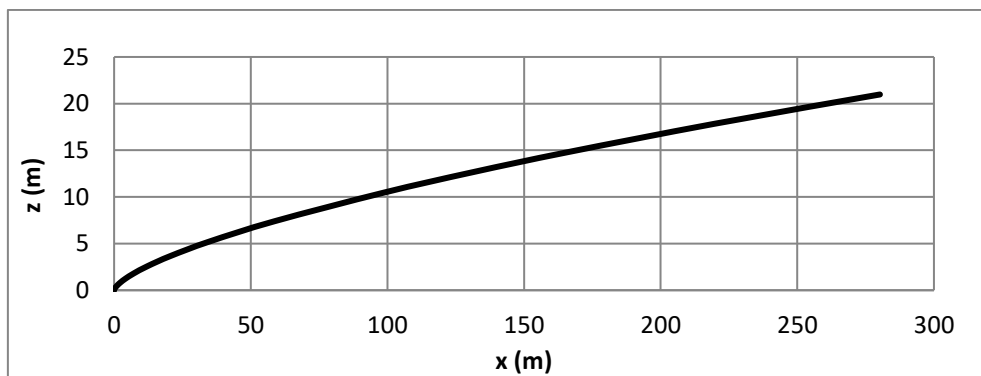


Διάγραμμα Β. 115 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_o=60^\circ$, $F_o=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

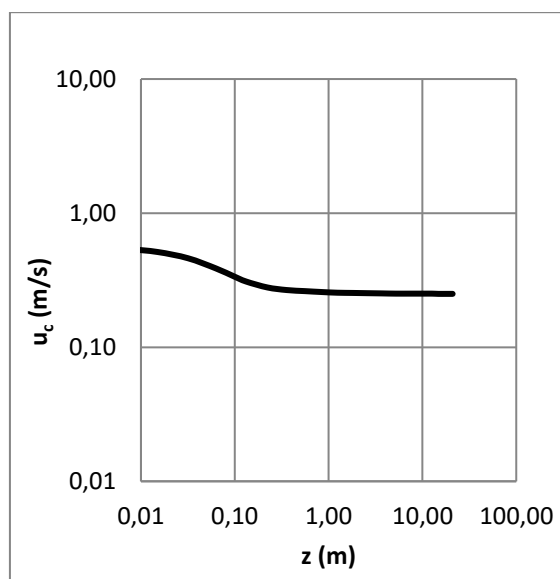


Διάγραμμα Β. 116 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_o=60^\circ$, $F_o=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

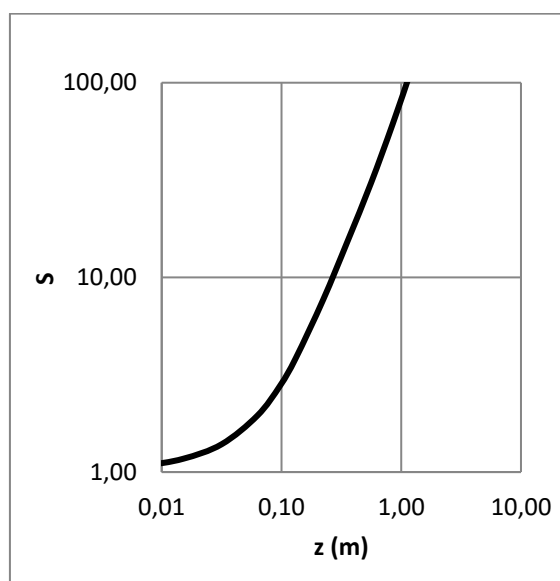
■ Γωνία $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.



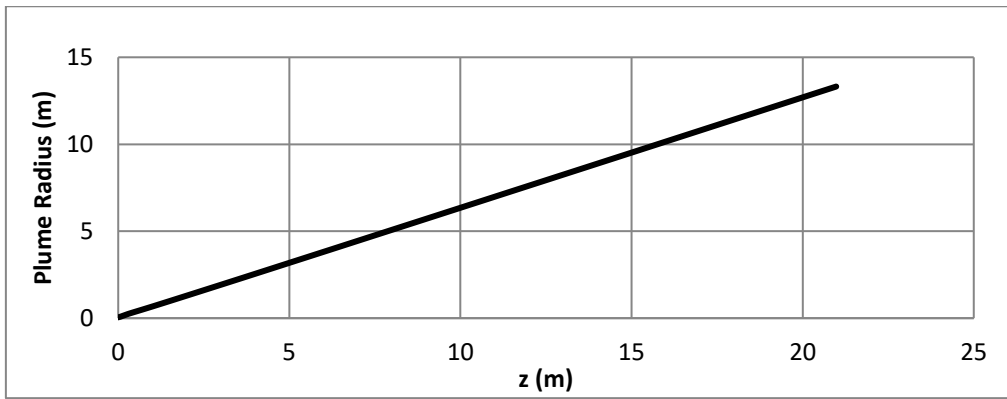
Διάγραμμα Β. 117 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 118 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

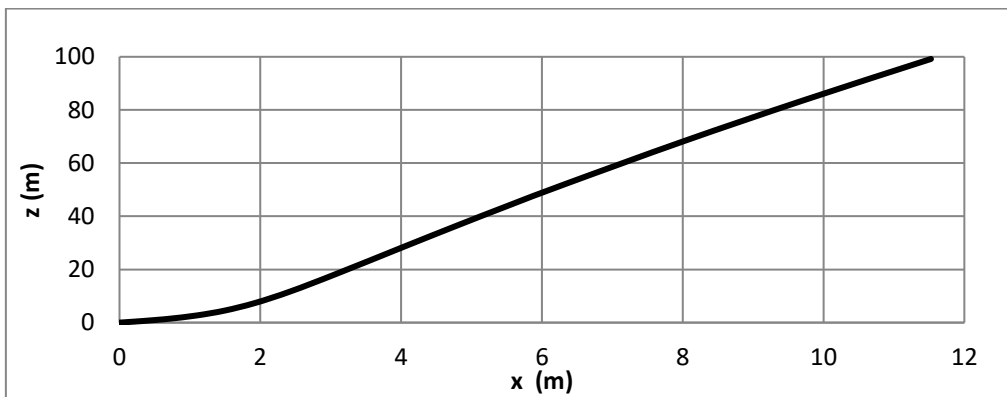


Διάγραμμα Β. 119 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

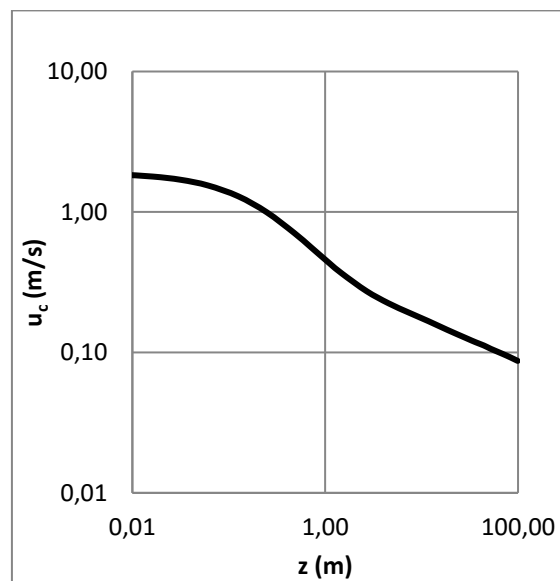


Διάγραμμα Β. 120 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

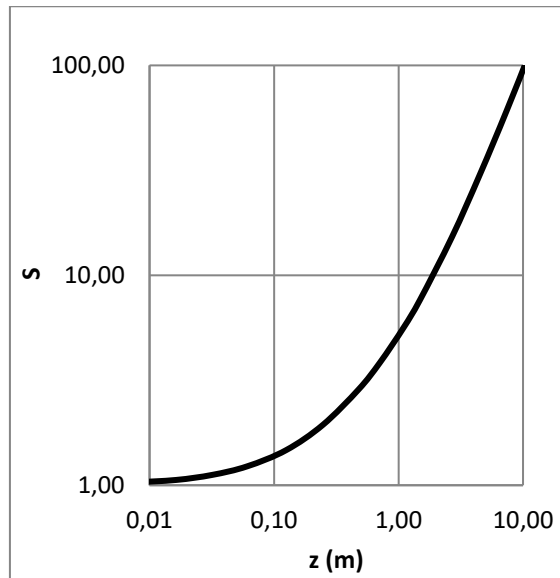
■ Γωνία $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.



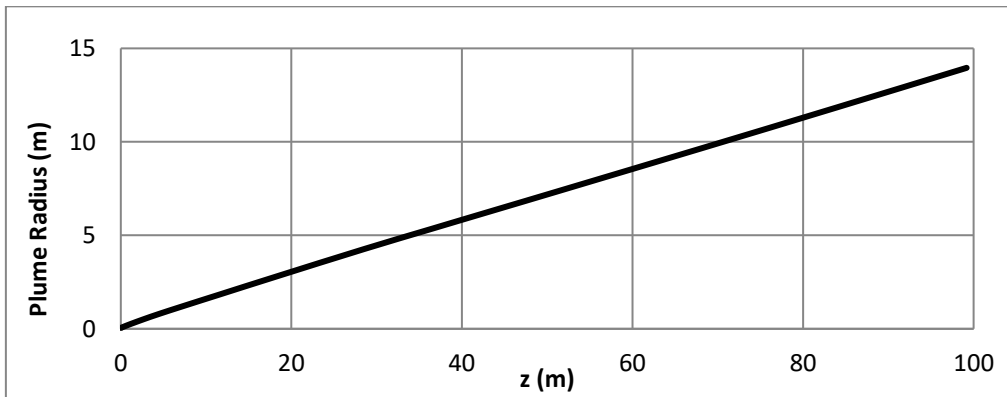
Διάγραμμα Β. 121 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 122 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

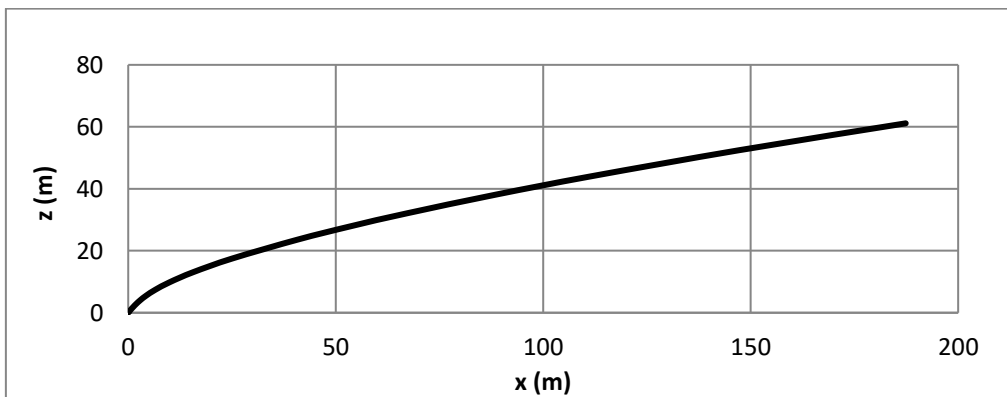


Διάγραμμα Β. 123 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

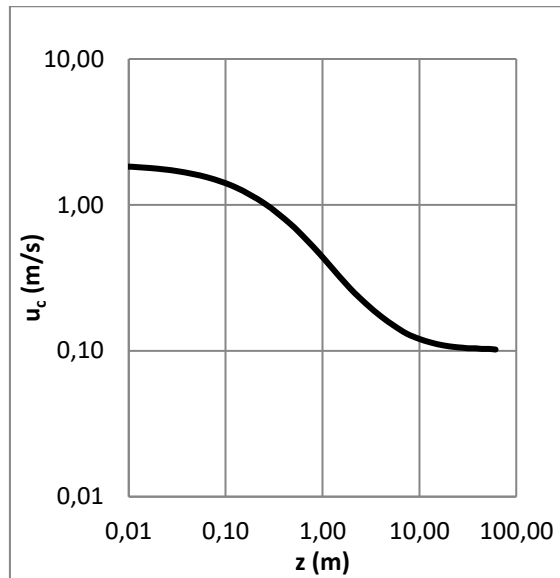


Διάγραμμα Β. 124 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

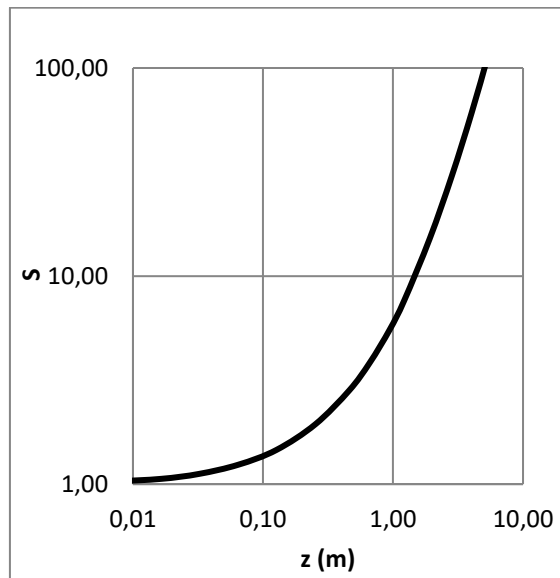
■ Γωνία $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.



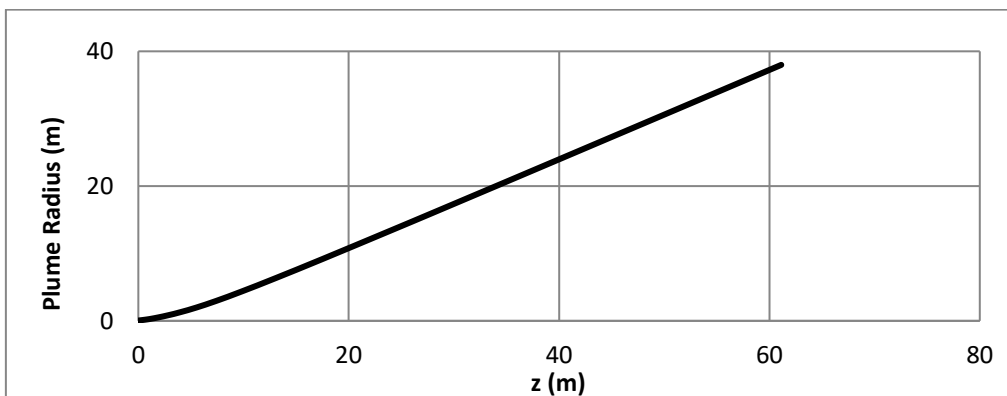
Διάγραμμα Β. 125 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 126 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

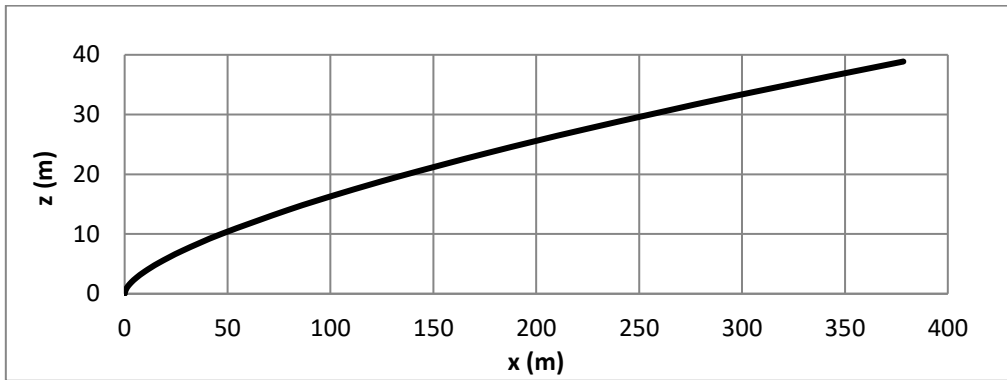


Διάγραμμα Β. 127 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

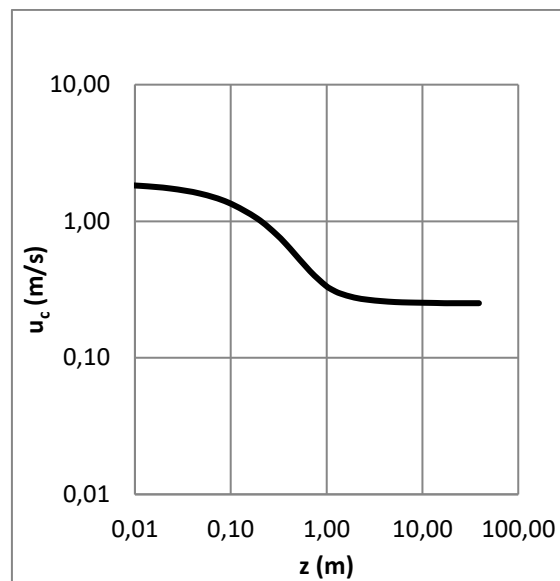


Διάγραμμα Β. 128 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

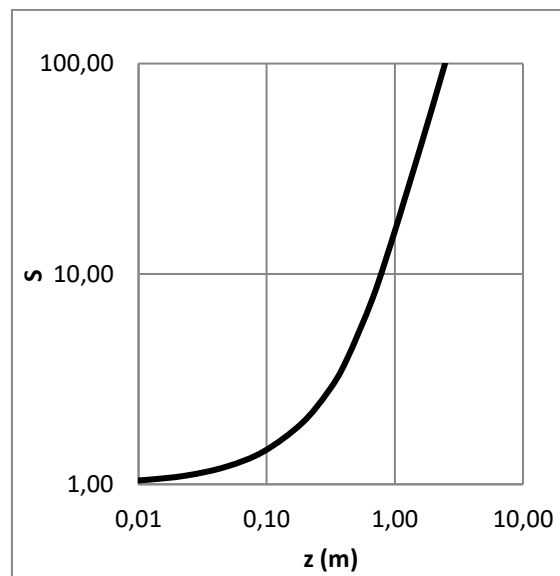
■ Γωνία $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.



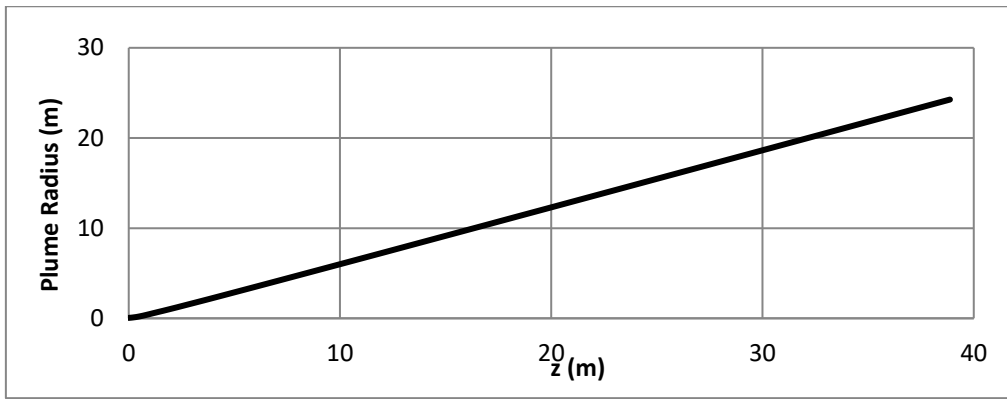
Διάγραμμα Β. 129 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 130 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

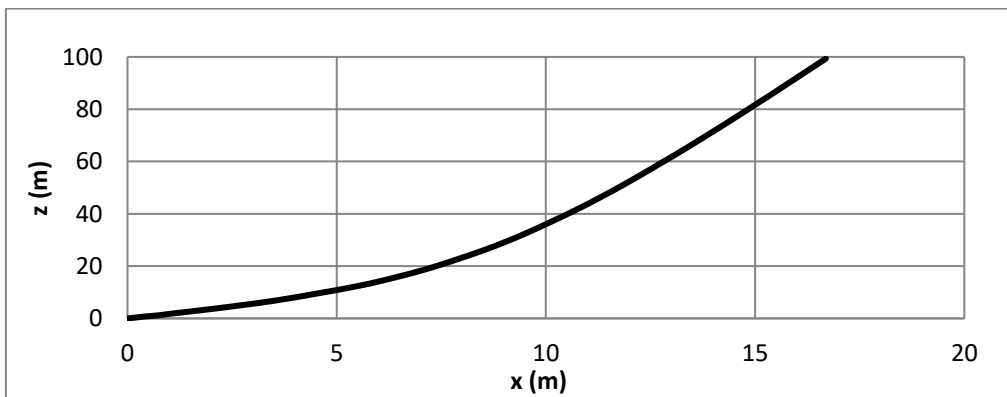


Διάγραμμα Β. 131 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

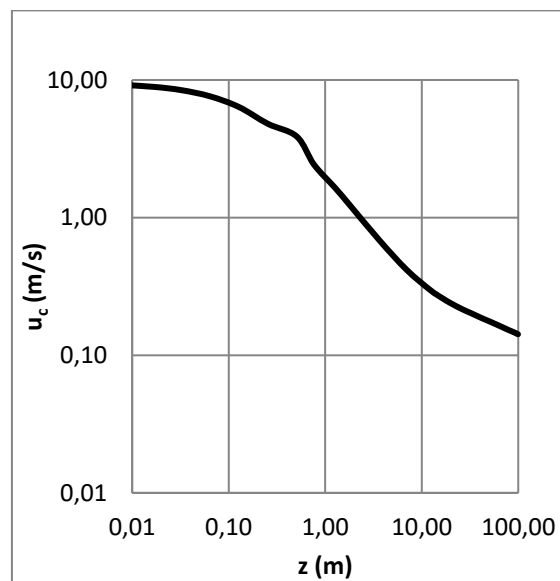


Διάγραμμα Β. 132 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

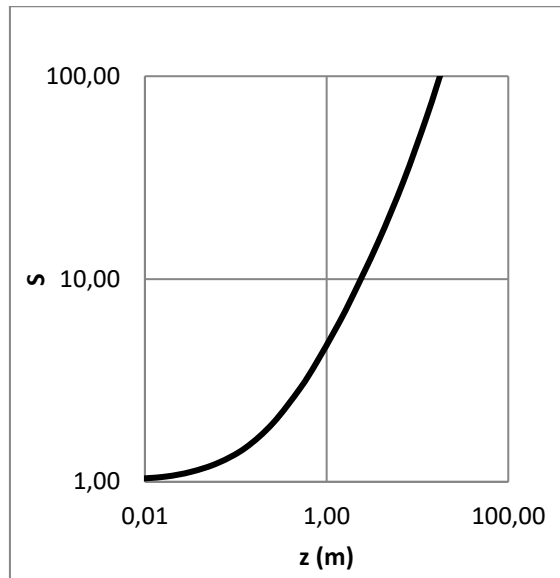
■ Γωνία $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.



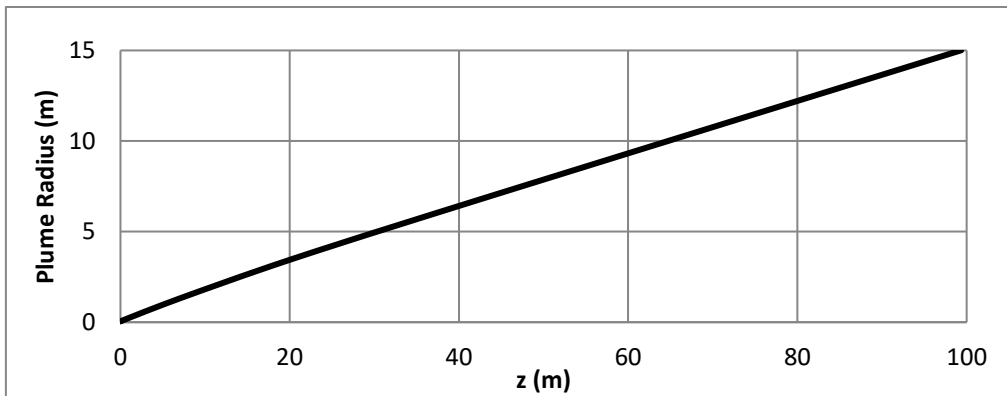
Διάγραμμα Β. 133 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 134 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

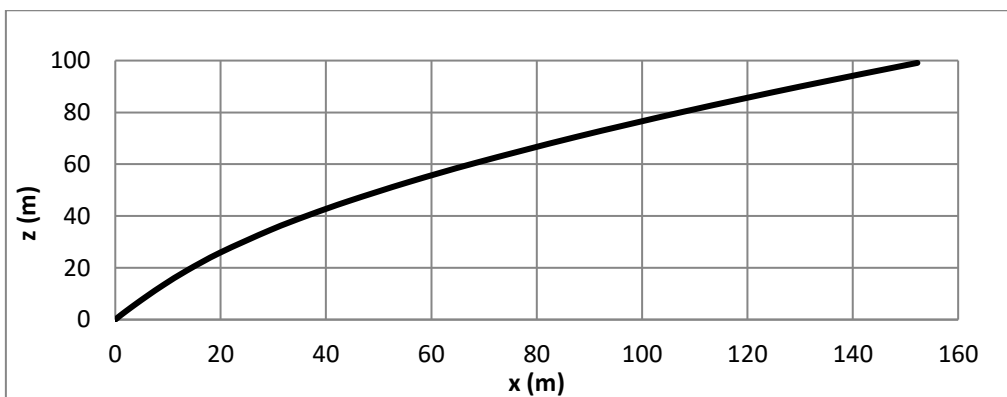


Διάγραμμα Β. 135 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

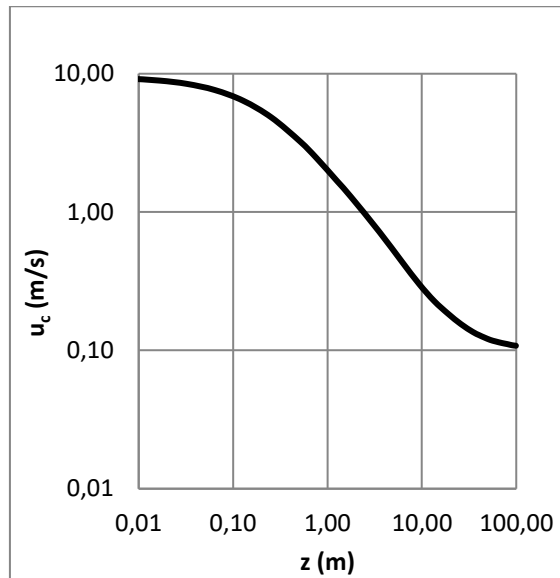


Διάγραμμα Β. 136 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

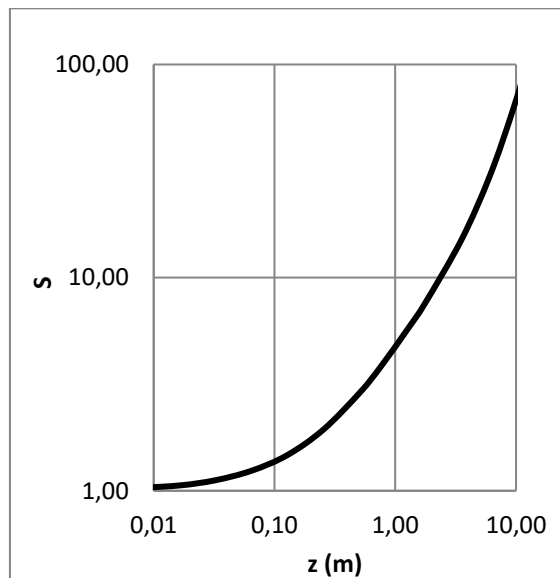
■ Γωνία $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.



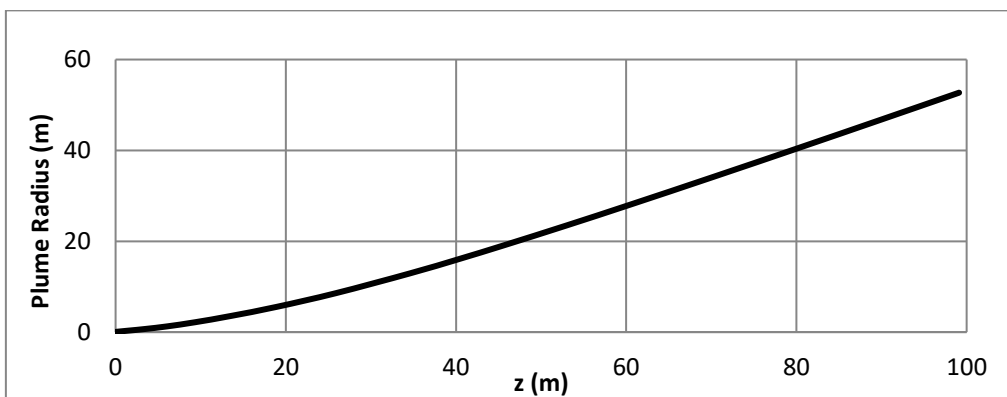
Διάγραμμα Β. 137 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 138 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

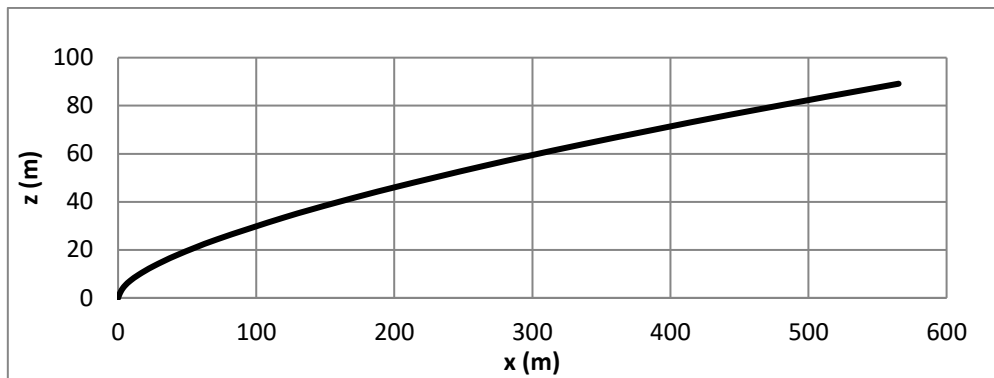


Διάγραμμα Β. 139 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

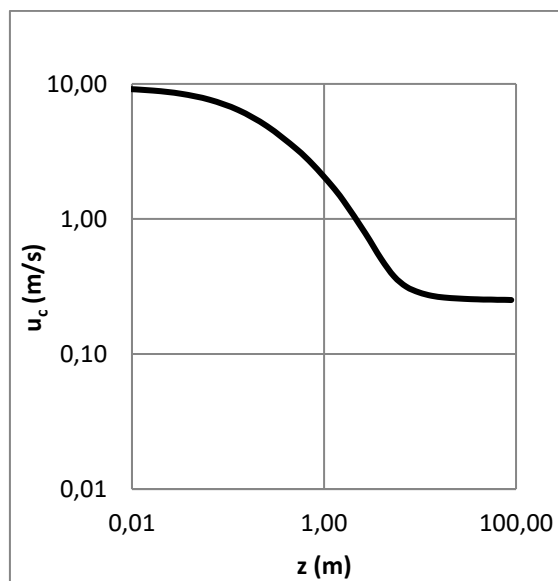


Διάγραμμα Β. 140 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

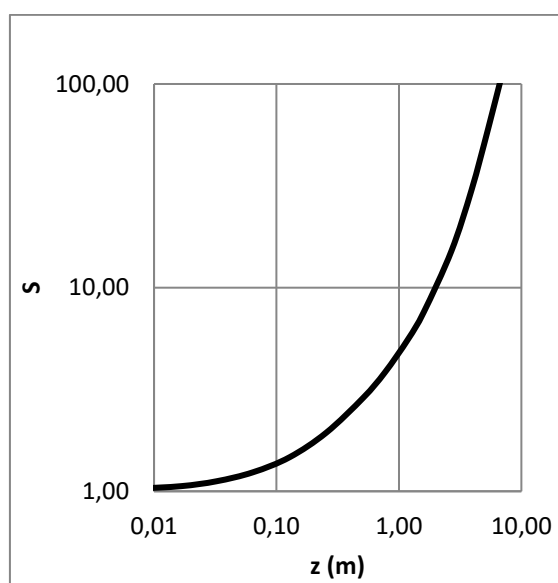
■ Γωνία $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



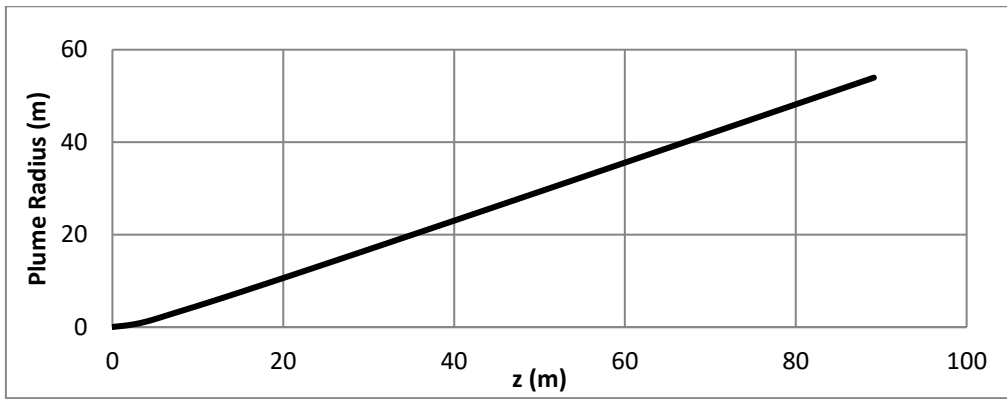
Διάγραμμα B. 141 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα B. 142 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



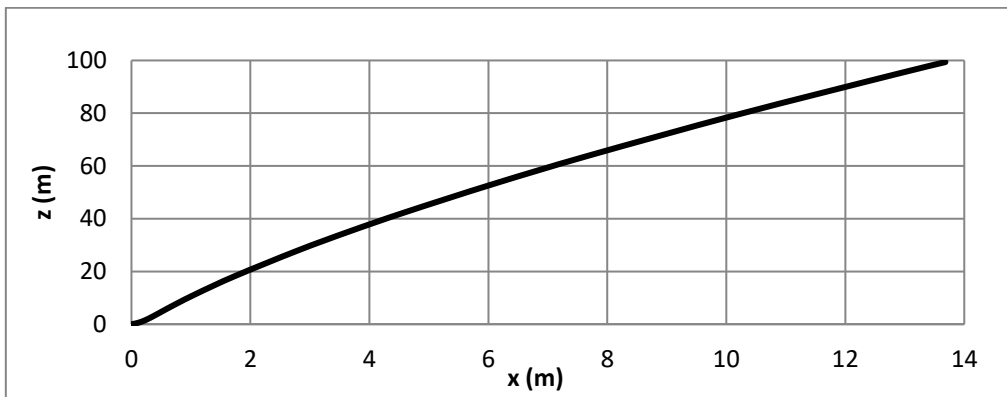
Διάγραμμα B. 143 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



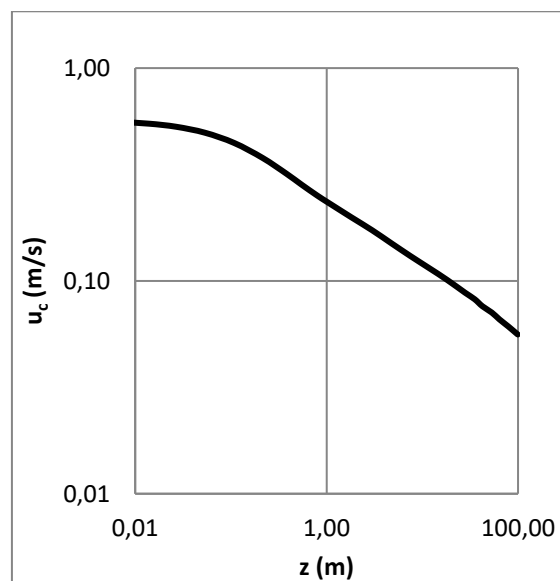
Διάγραμμα Β. 144 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=60^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.

Διαγράμματα για γωνία 75°

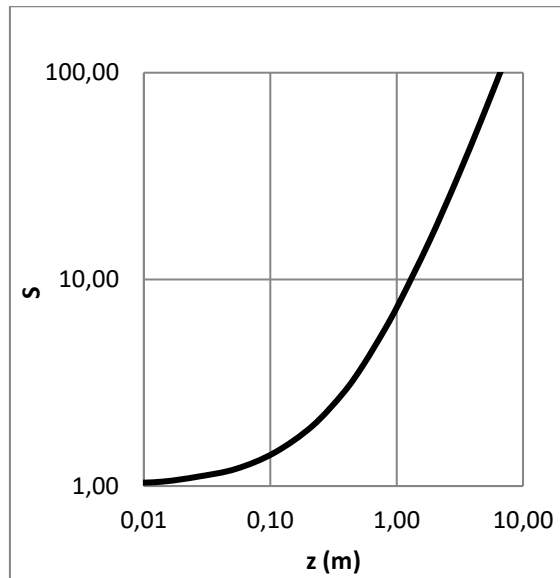
■ Γωνία $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.



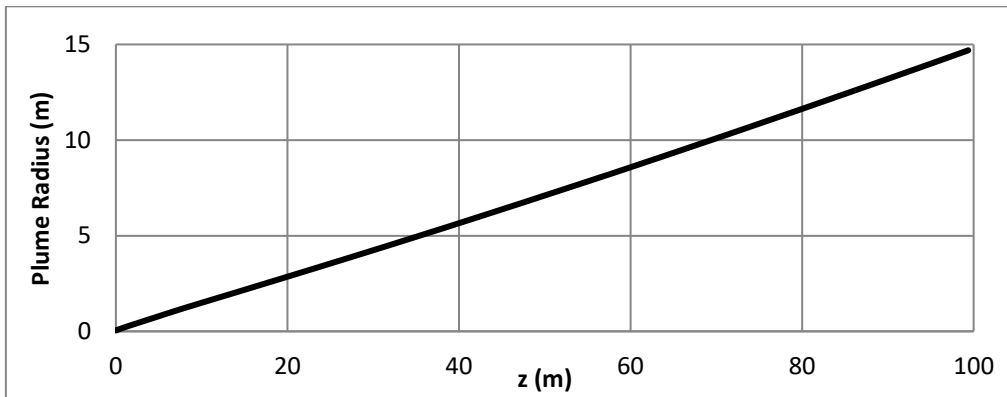
Διάγραμμα Β. 145 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 146 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

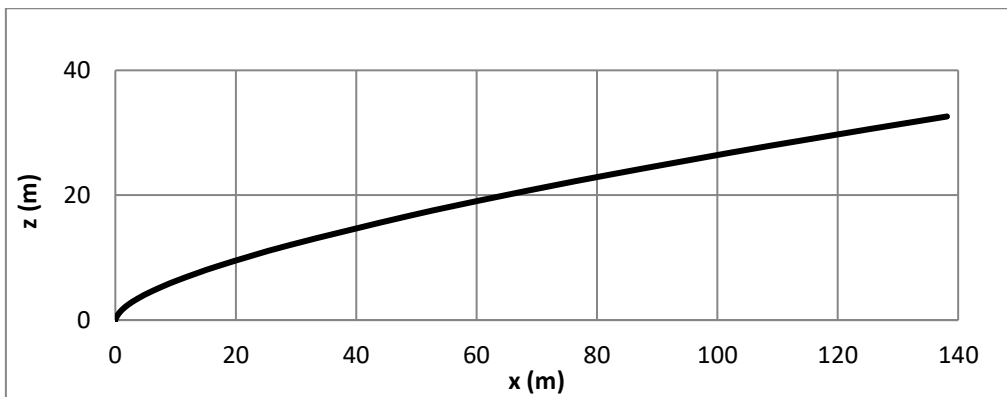


Διάγραμμα Β. 147 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

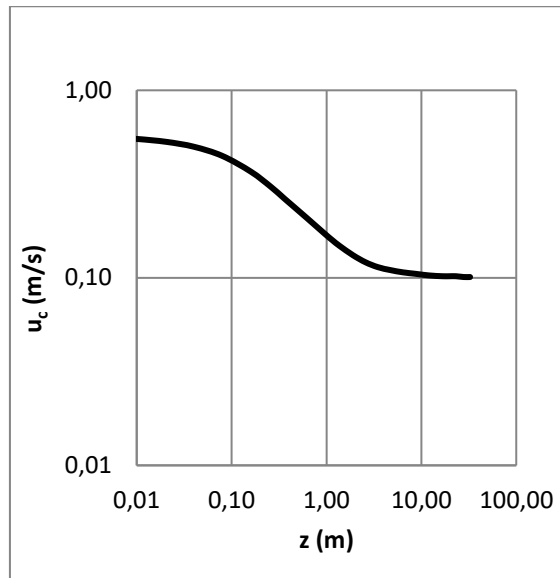


Διάγραμμα Β. 148 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

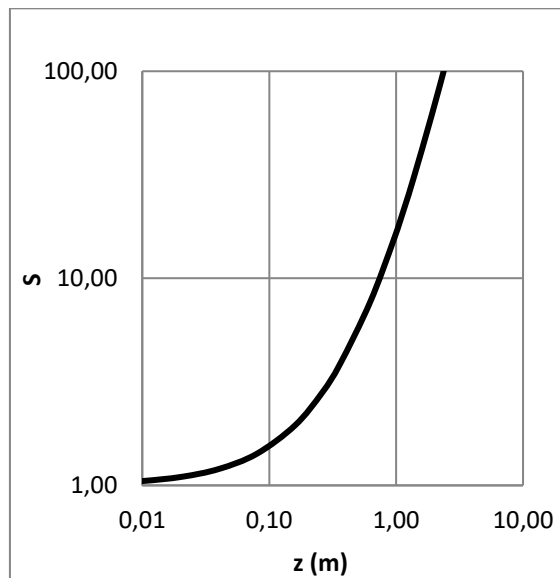
■ Γωνία $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.



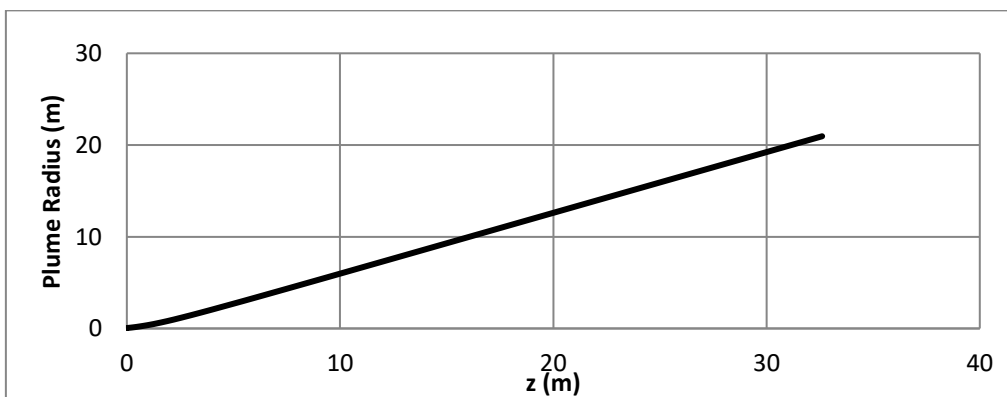
Διάγραμμα Β. 149 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 150 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

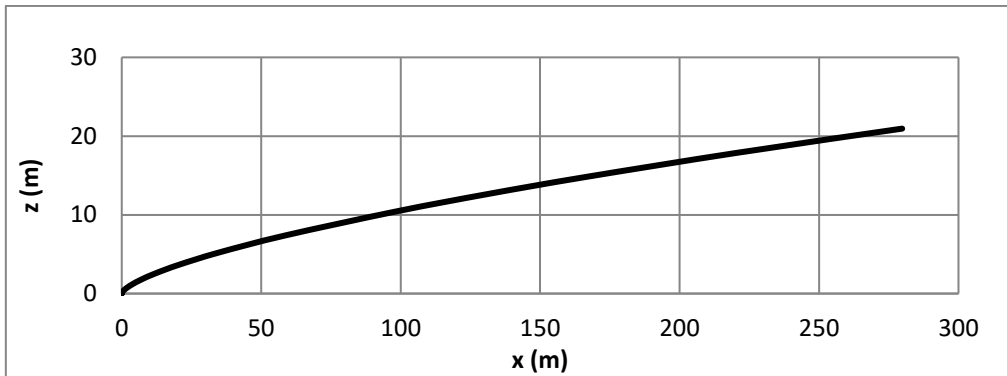


Διάγραμμα Β. 151 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

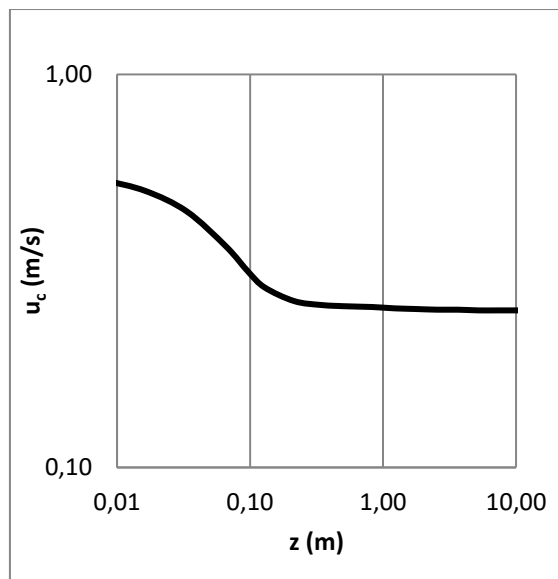


Διάγραμμα Β. 152 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

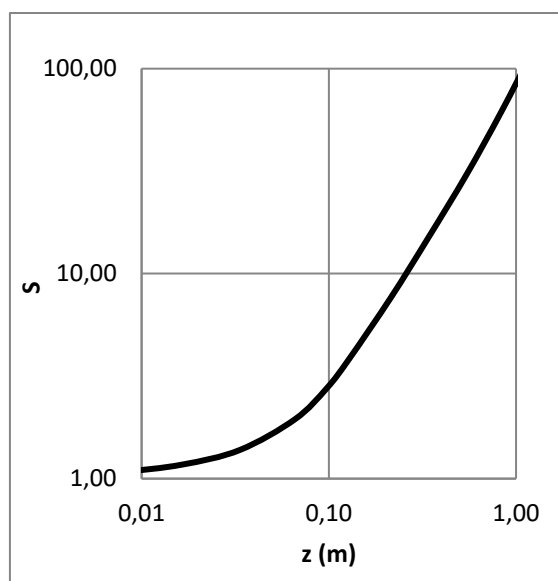
■ Γωνία $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.



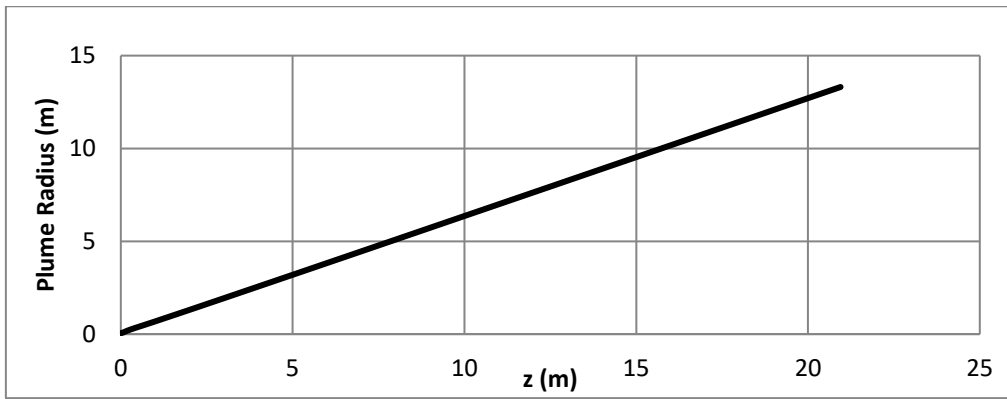
Διάγραμμα B. 153 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=75^\circ$, $F=3$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα B. 154 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

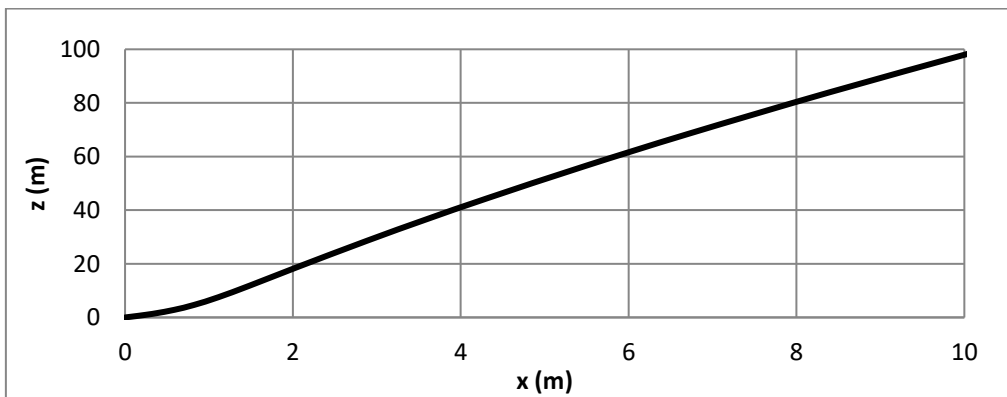


Διάγραμμα B. 155 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

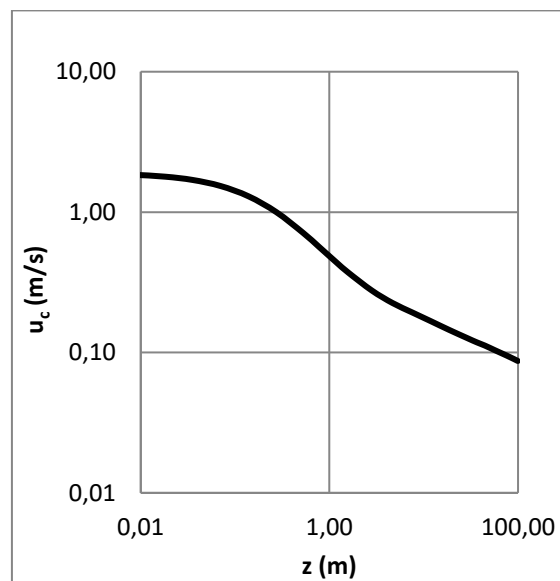


Διάγραμμα Β. 156 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

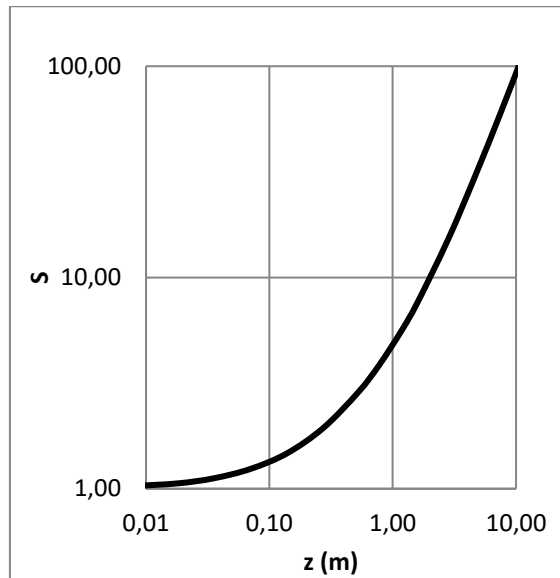
■ Γωνία $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.



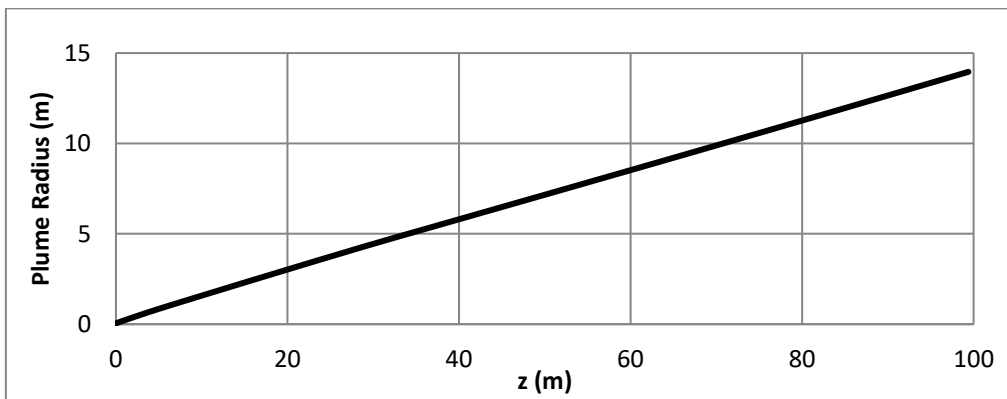
Διάγραμμα Β. 157 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 158 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

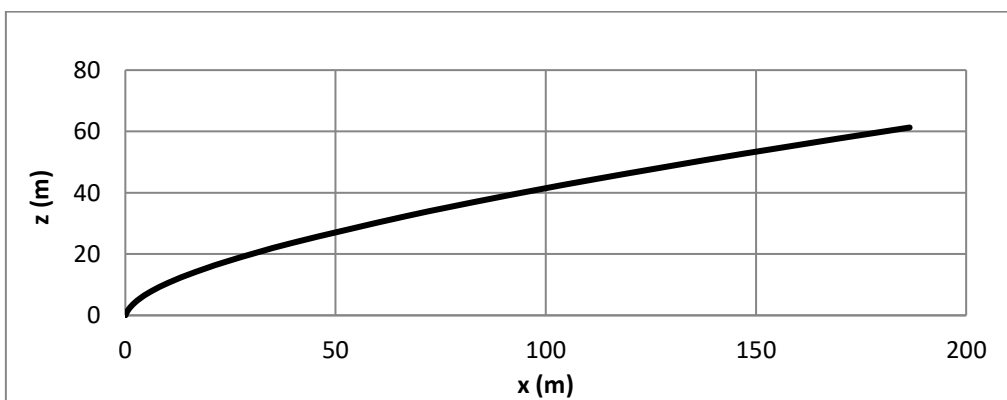


Διάγραμμα Β. 159 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

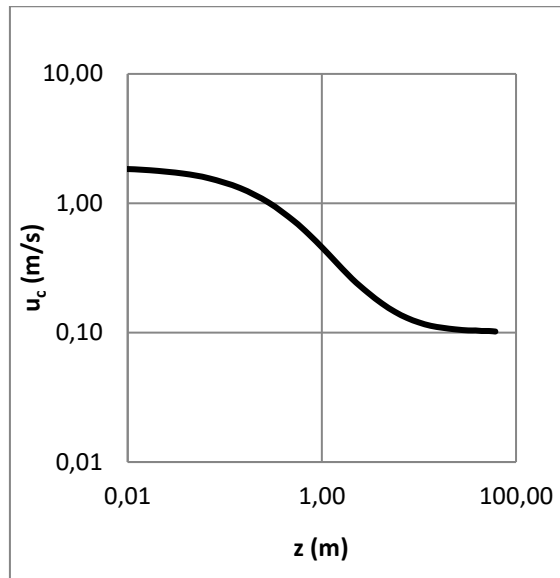


Διάγραμμα Β. 160 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

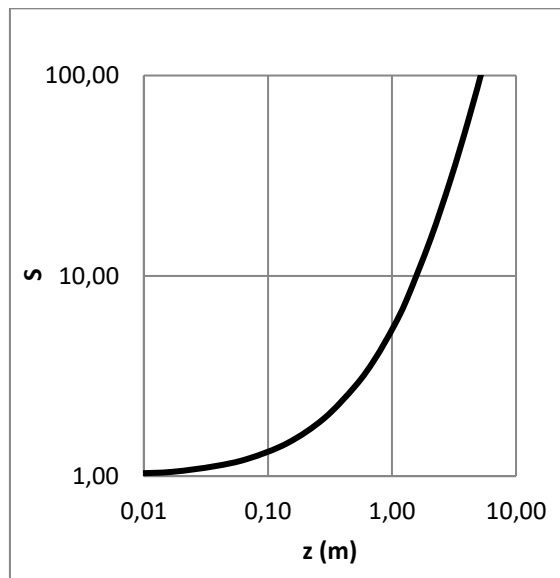
■ Γωνία $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.



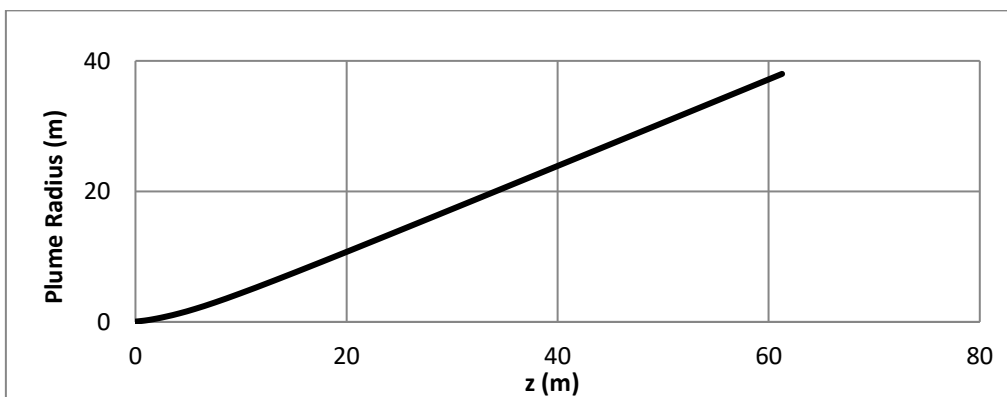
Διάγραμμα Β. 161 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 162 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

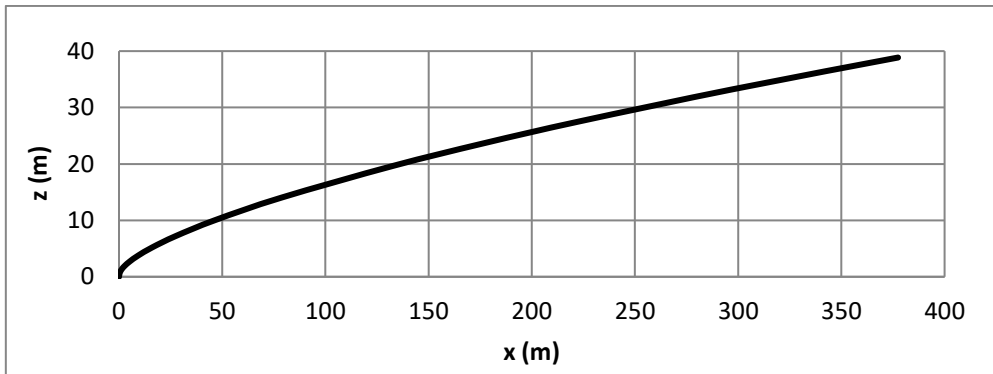


Διάγραμμα Β. 163 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

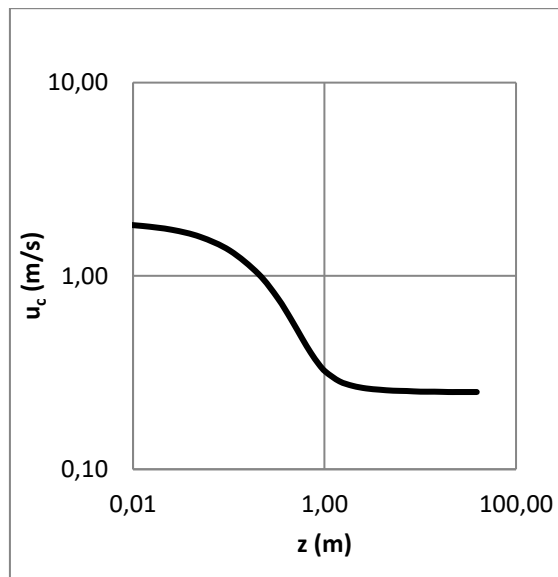


Διάγραμμα Β. 164 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

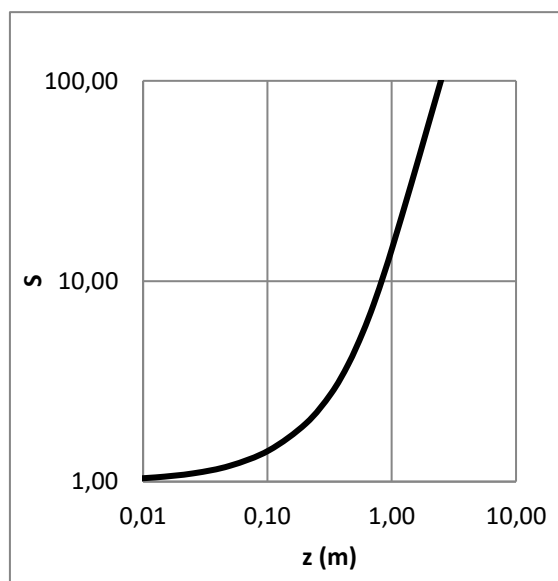
■ Γωνία $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.



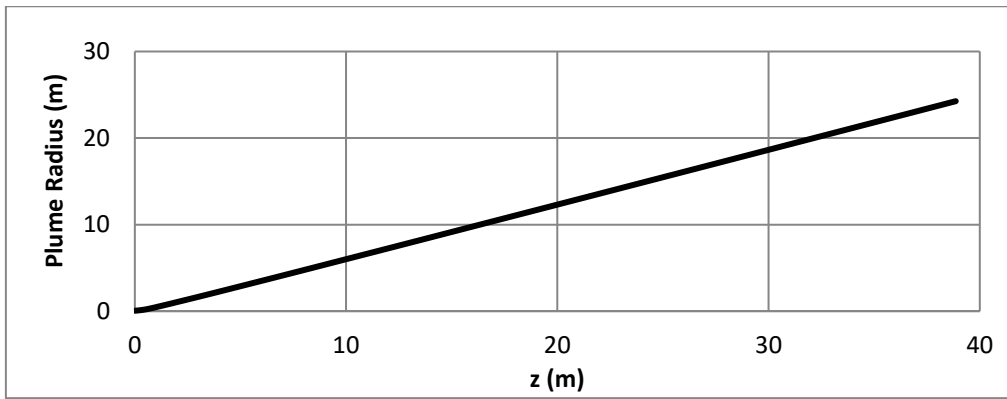
Διάγραμμα B. 165 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα B. 166 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

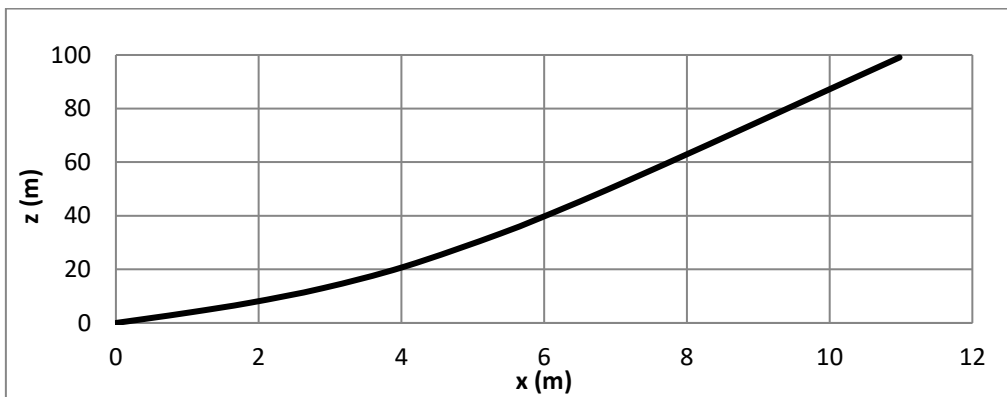


Διάγραμμα B. 167 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

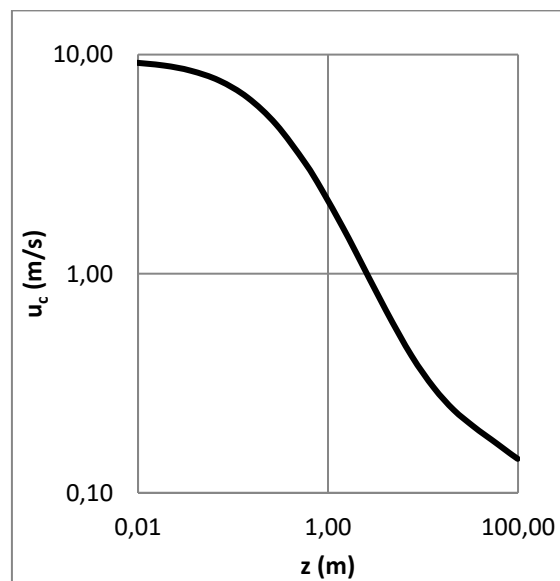


Διάγραμμα Β. 168 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

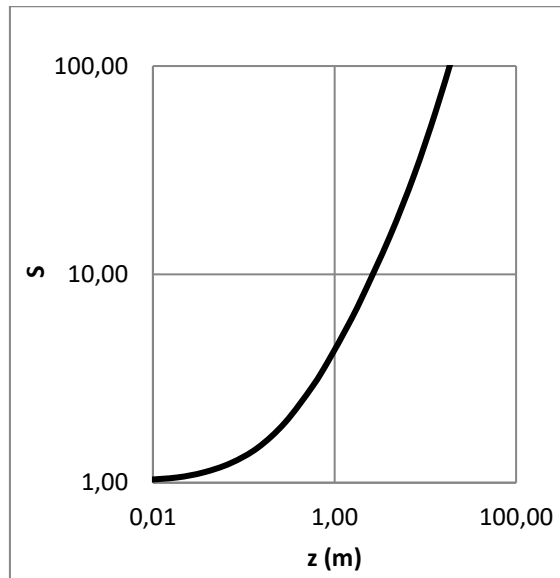
■ Γωνία $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.



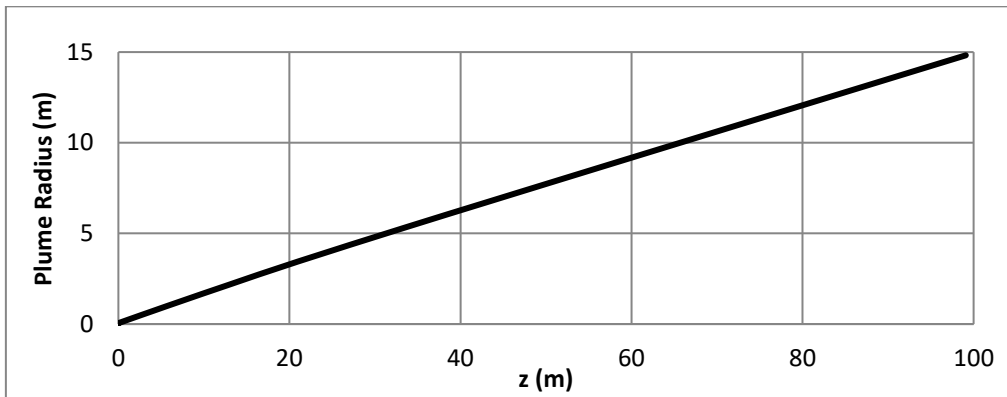
Διάγραμμα Β. 169 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 170 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

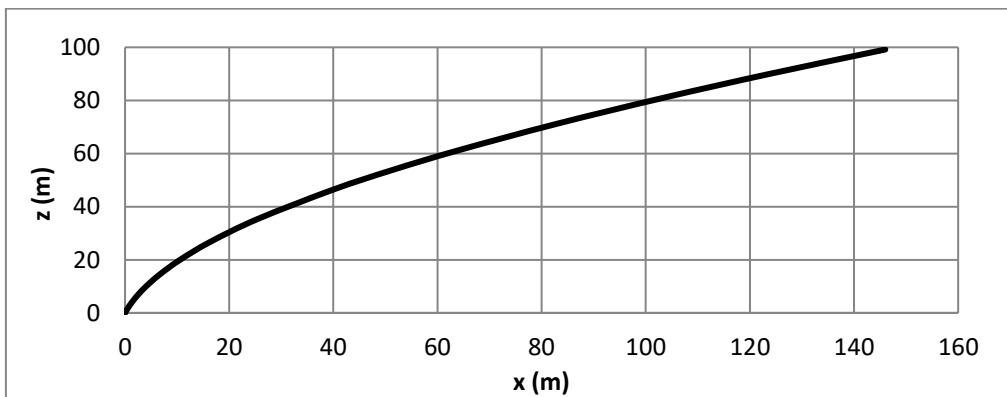


Διάγραμμα Β. 171 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

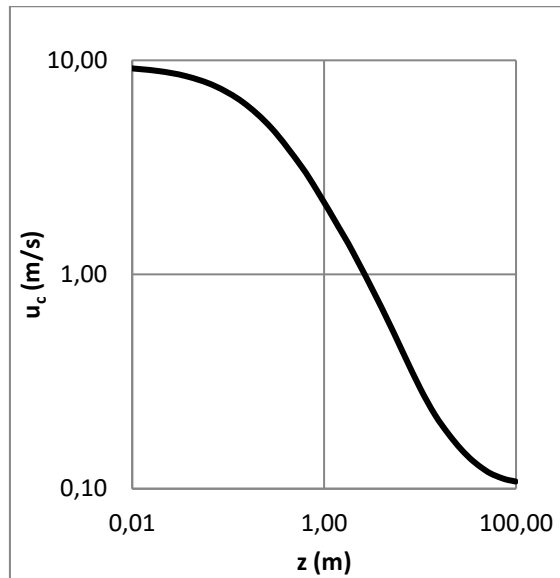


Διάγραμμα Β. 172 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

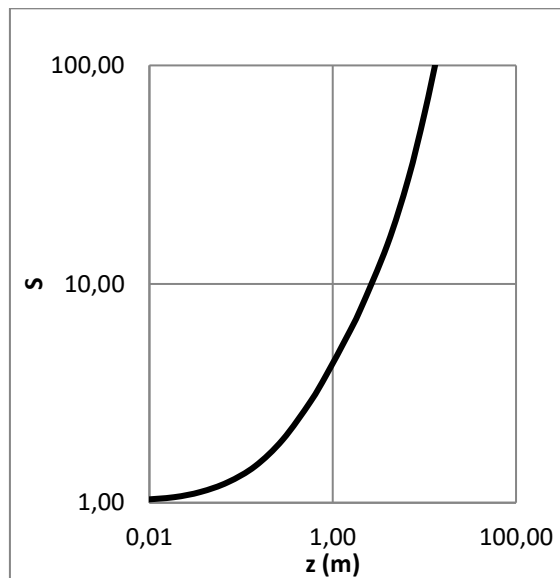
■ Γωνία $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.



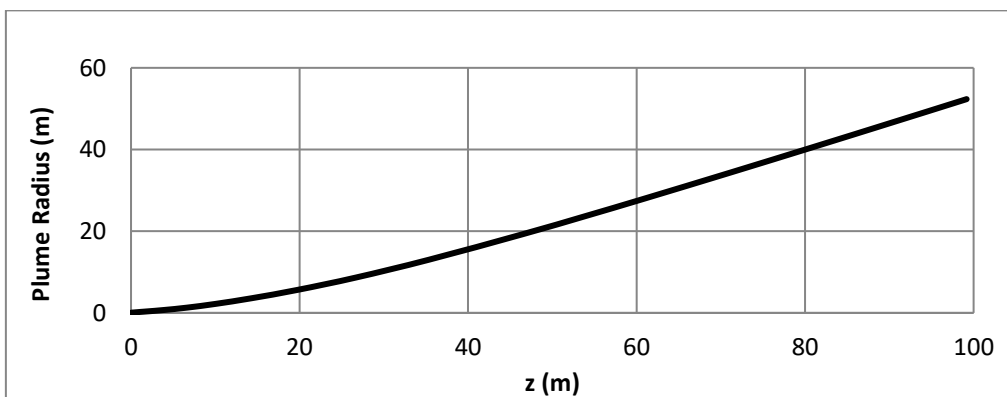
Διάγραμμα Β. 173 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 174 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_o=75^\circ$, $F_o=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

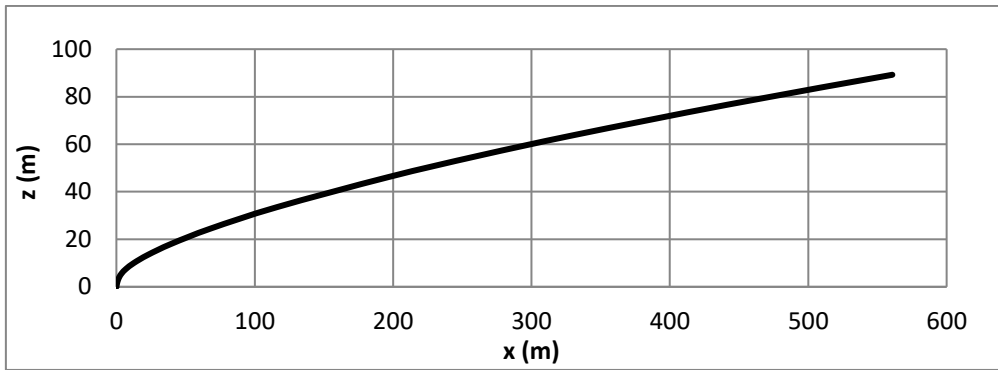


Διάγραμμα Β. 175 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_o=75^\circ$, $F_o=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

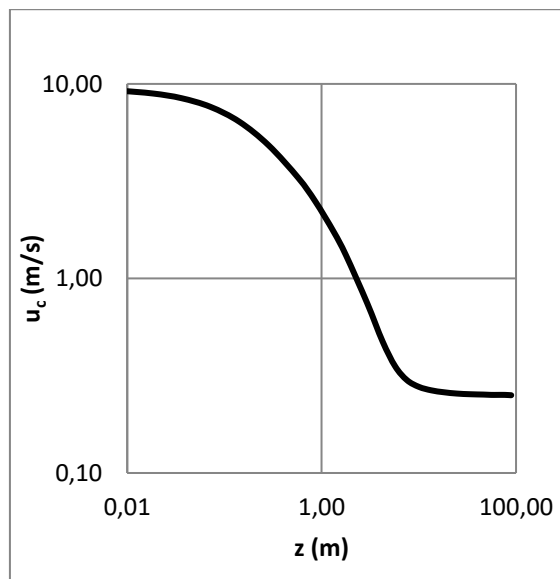


Διάγραμμα Β. 176 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_o=75^\circ$, $F_o=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

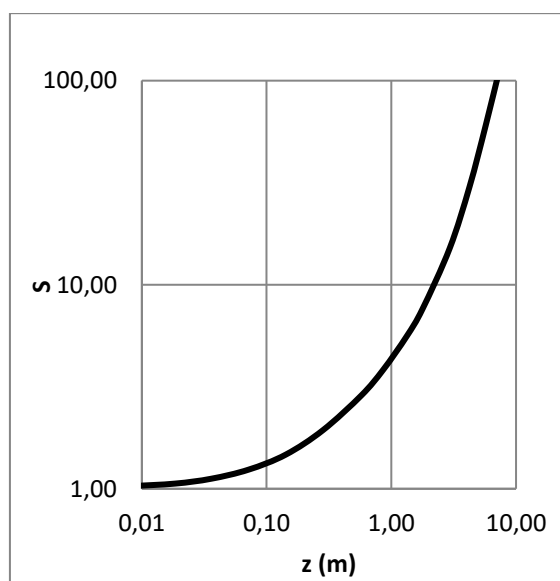
■ Γωνία $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



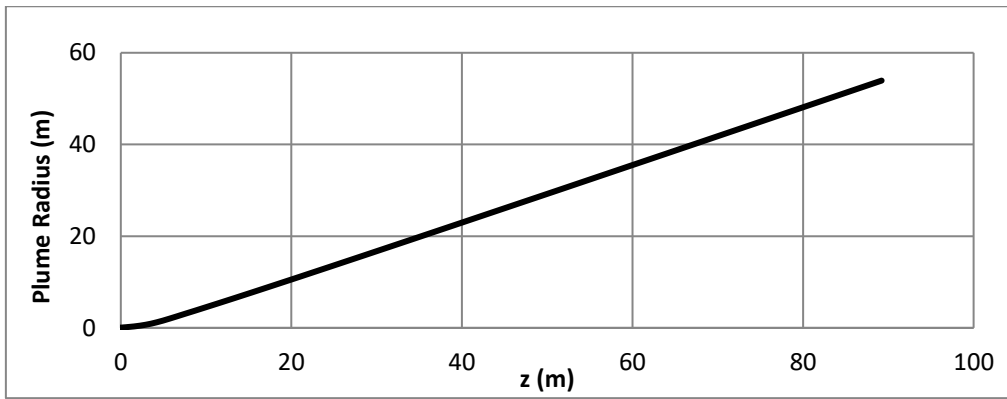
Διάγραμμα Β. 177 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 178 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



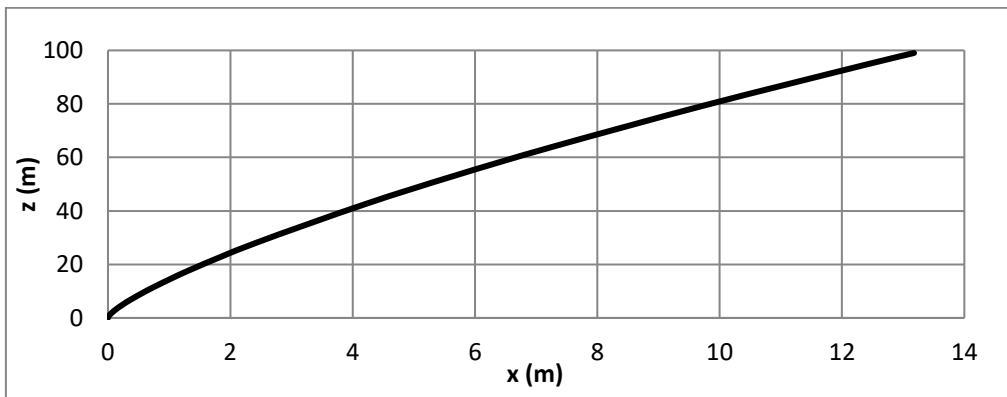
Διάγραμμα Β. 179 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



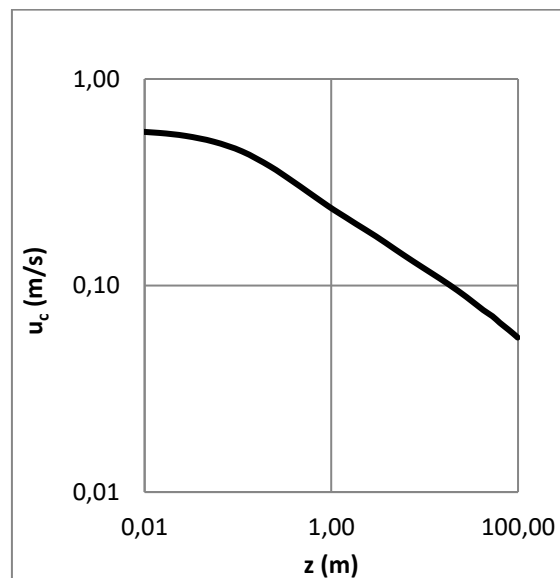
Διάγραμμα Β. 180 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=75^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.

Διαγράμματα για γωνία 90°

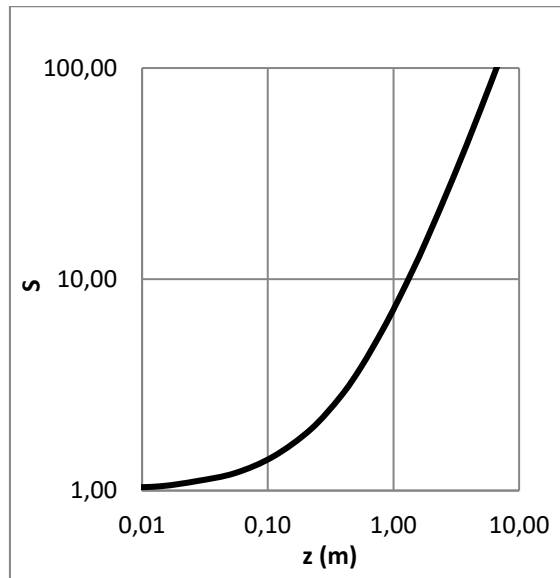
- Γωνία $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.



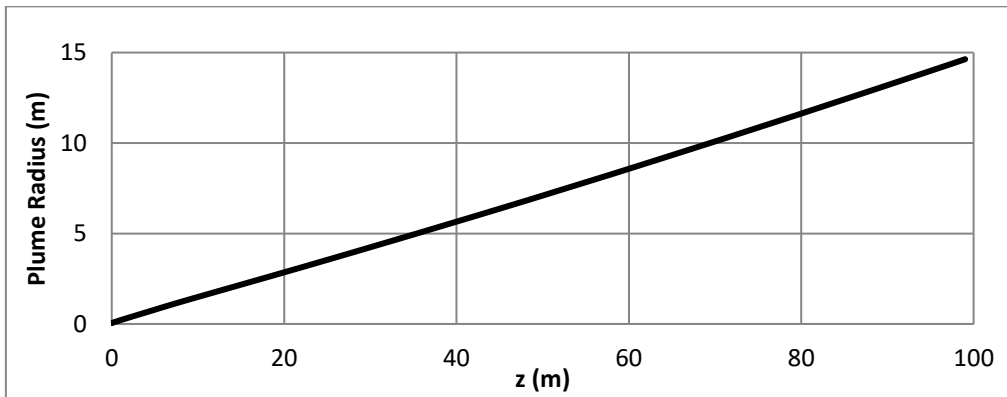
Διάγραμμα Β. 181 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 182 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

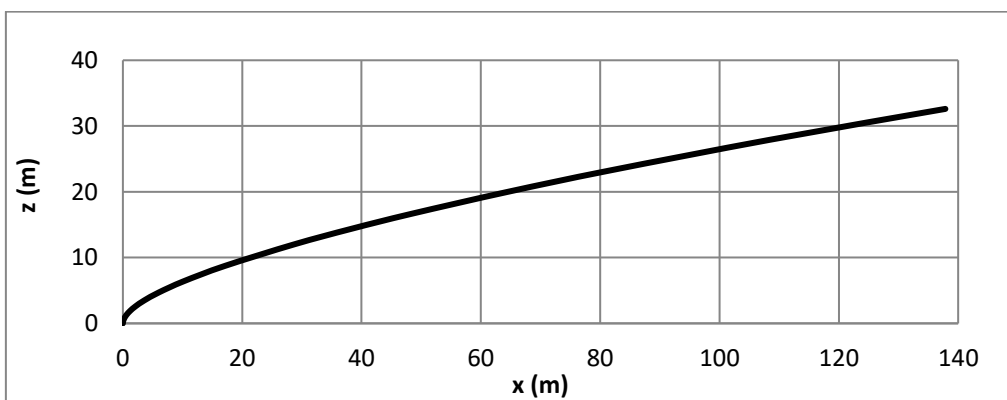


Διάγραμμα Β. 183 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

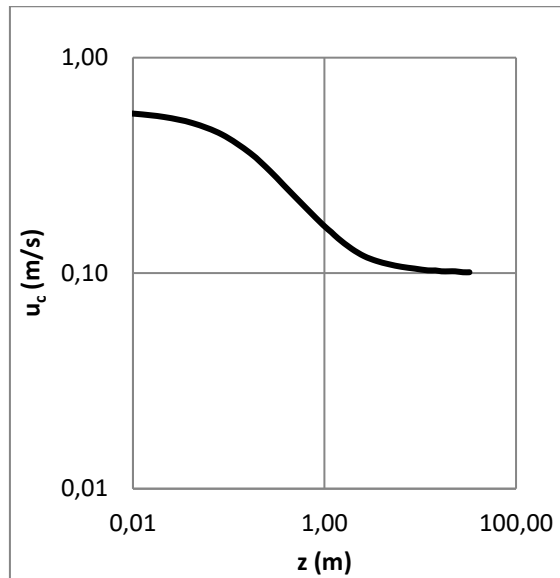


Διάγραμμα Β. 184 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,01$ m/s.

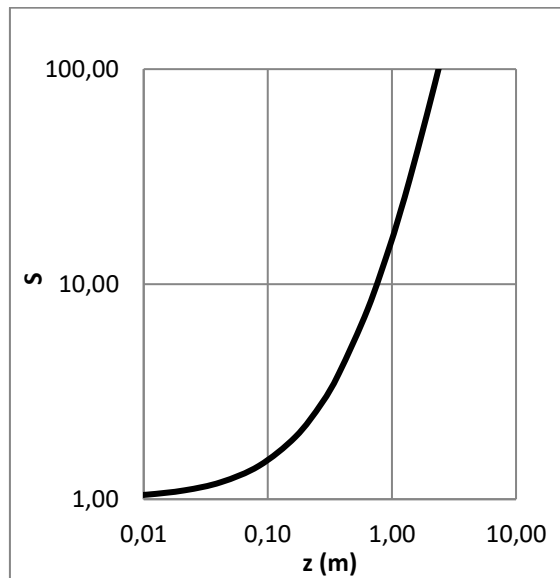
■ Γωνία $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.



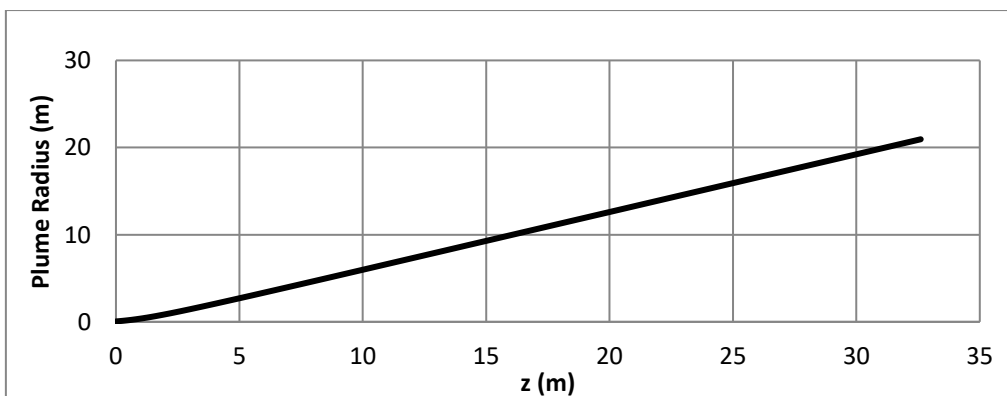
Διάγραμμα Β. 185 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 186 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

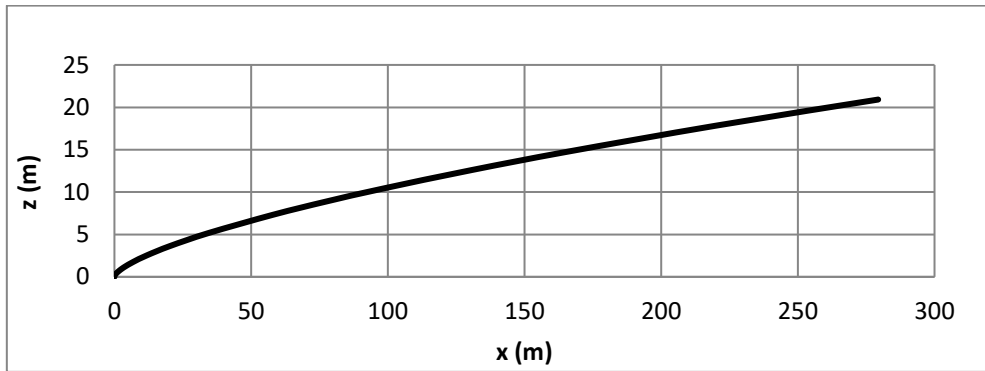


Διάγραμμα Β. 187 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

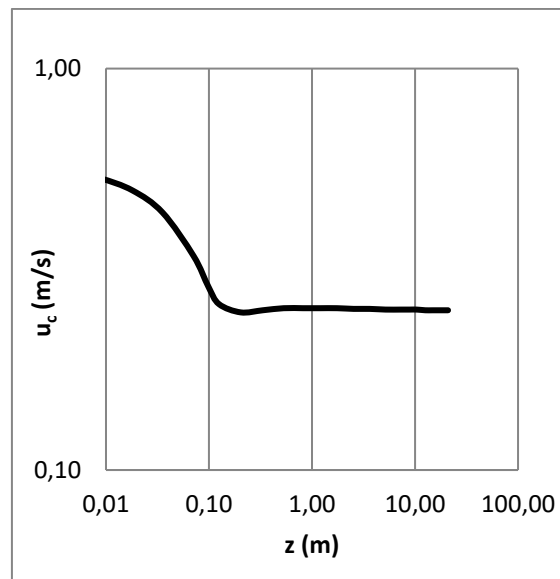


Διάγραμμα Β. 188 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,10$ m/s.

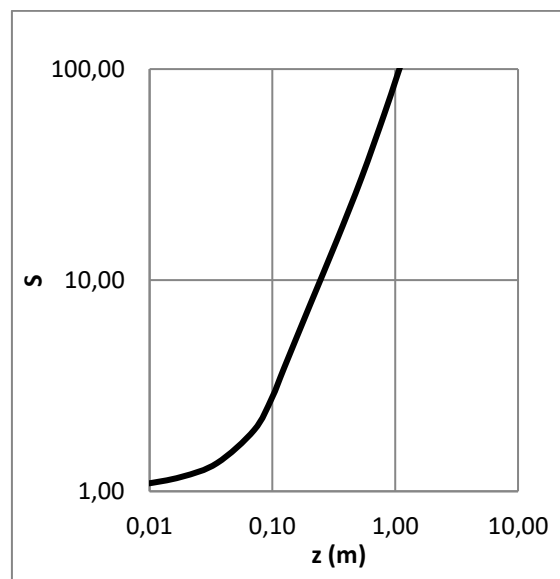
■ Γωνία $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.



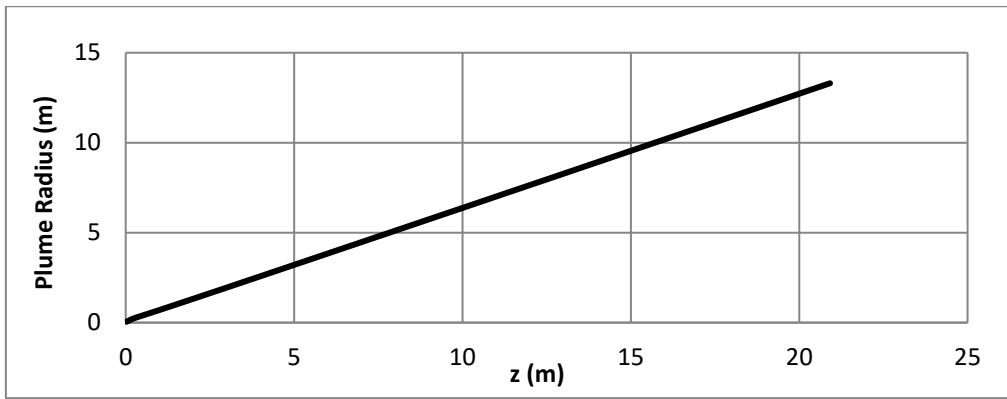
Διάγραμμα Β. 189 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 190 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

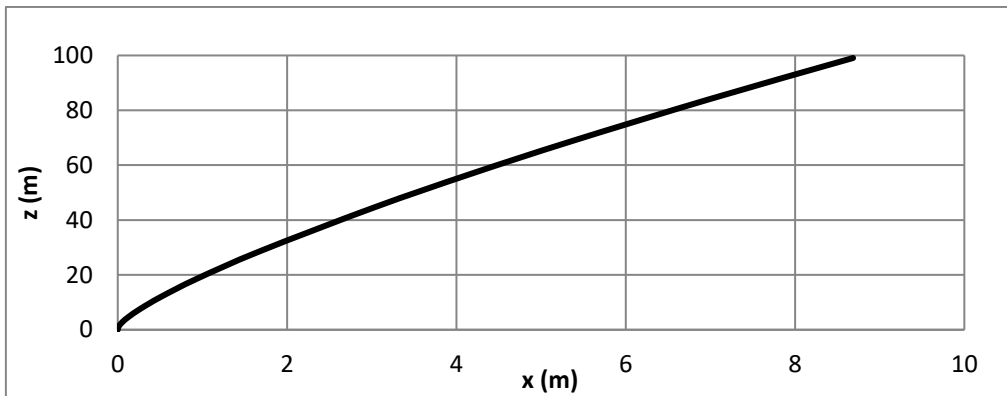


Διάγραμμα Β. 191 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

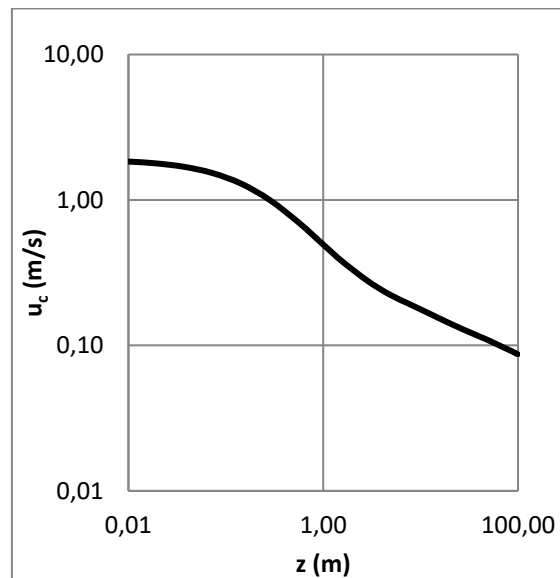


Διάγραμμα Β. 192 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=3$ και $U_a=0,25$ m/s.

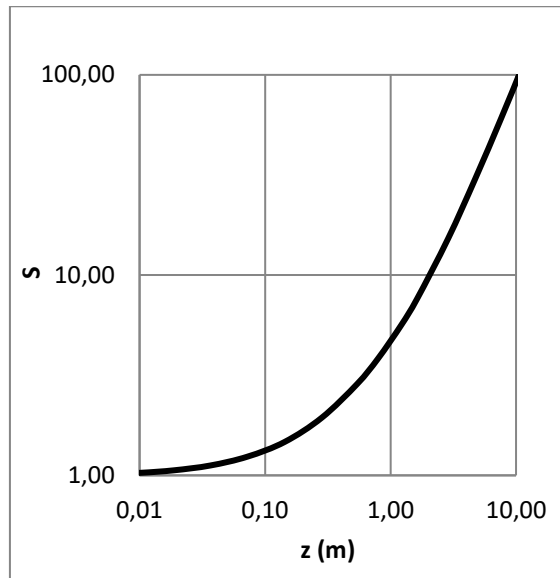
■ Γωνία $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.



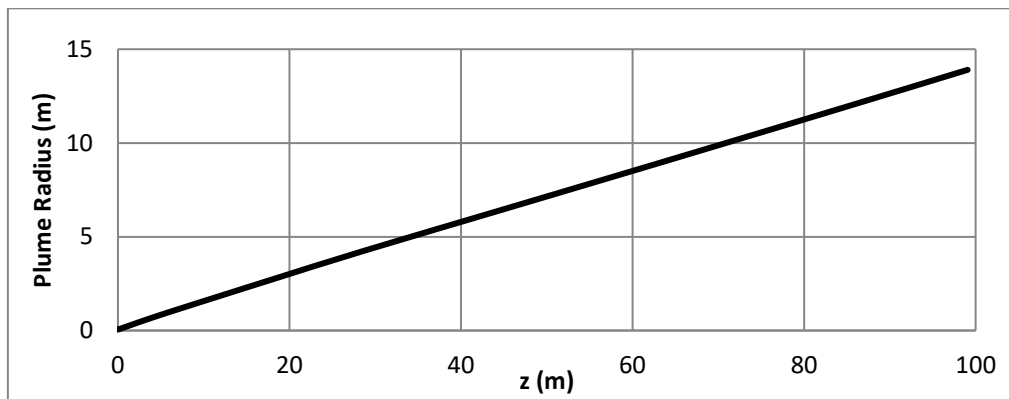
Διάγραμμα Β. 193 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 194 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

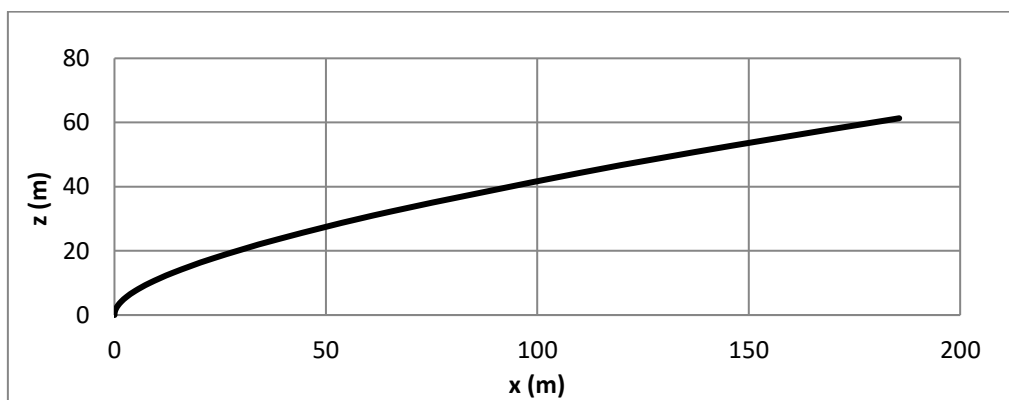


Διάγραμμα Β. 195 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

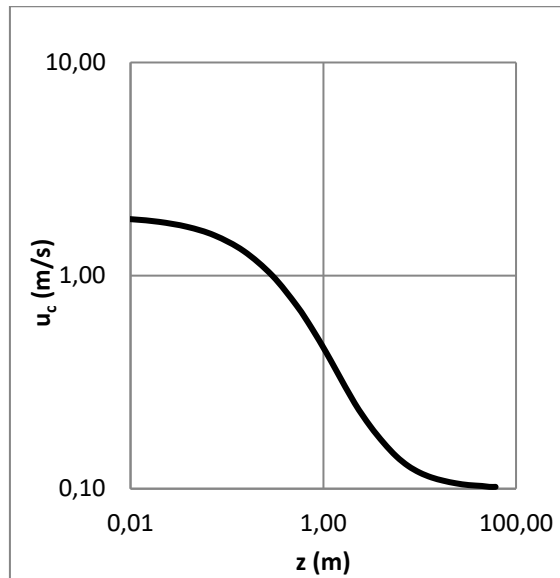


Διάγραμμα Β. 196 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,01$ m/s.

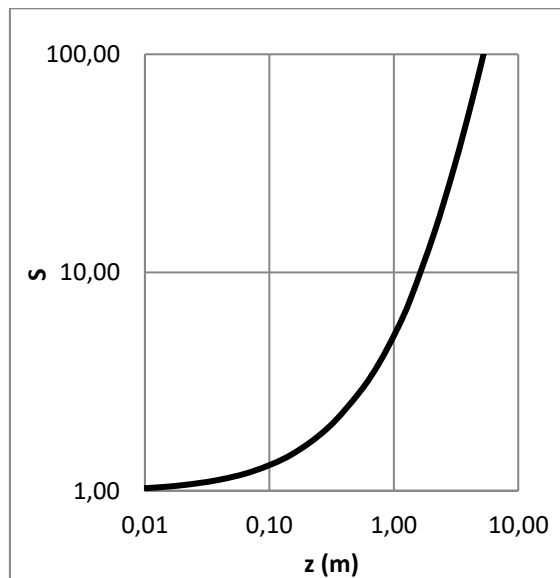
■ Γωνία $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.



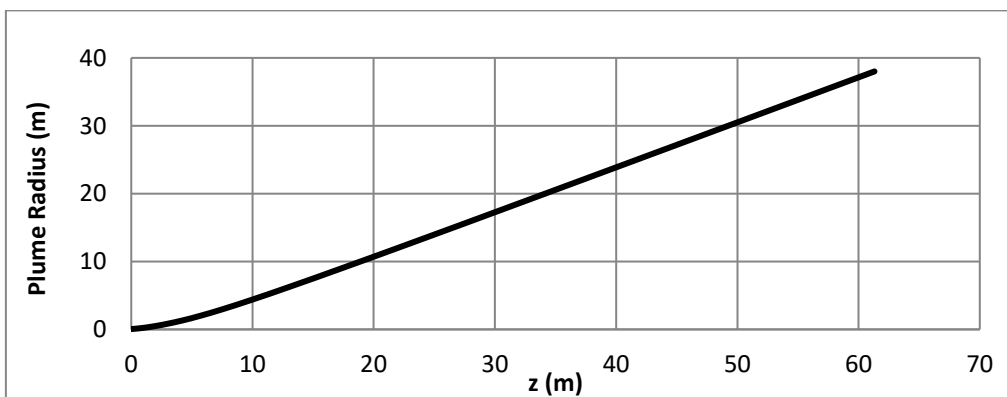
Διάγραμμα Β. 197 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 198 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

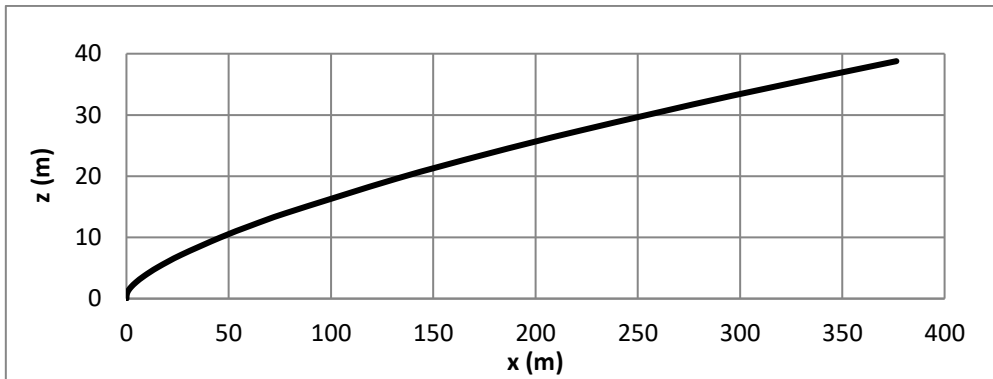


Διάγραμμα Β. 199 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

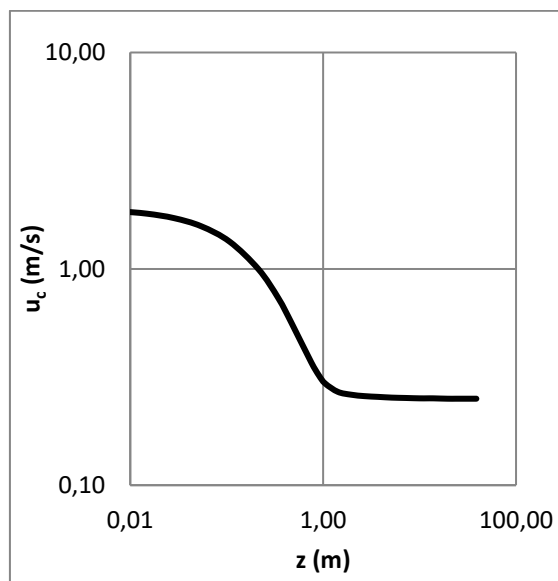


Διάγραμμα Β. 200 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,10$ m/s.

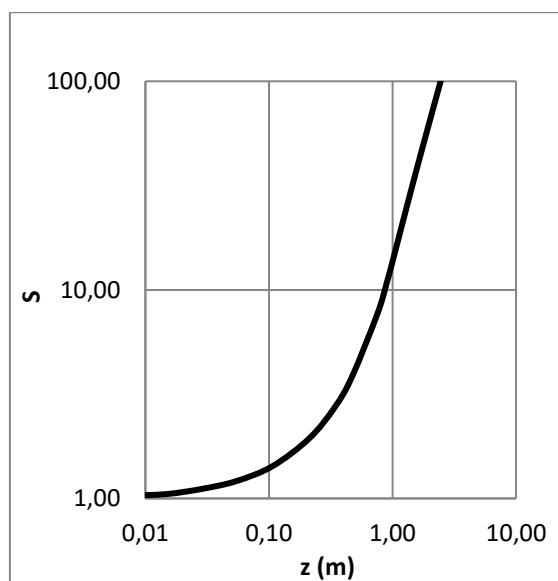
■ Γωνία $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.



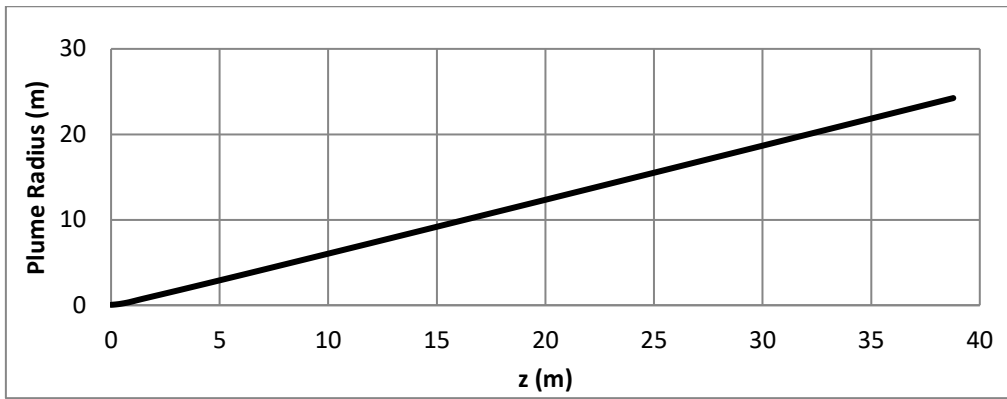
Διάγραμμα Β. 201 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 202 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

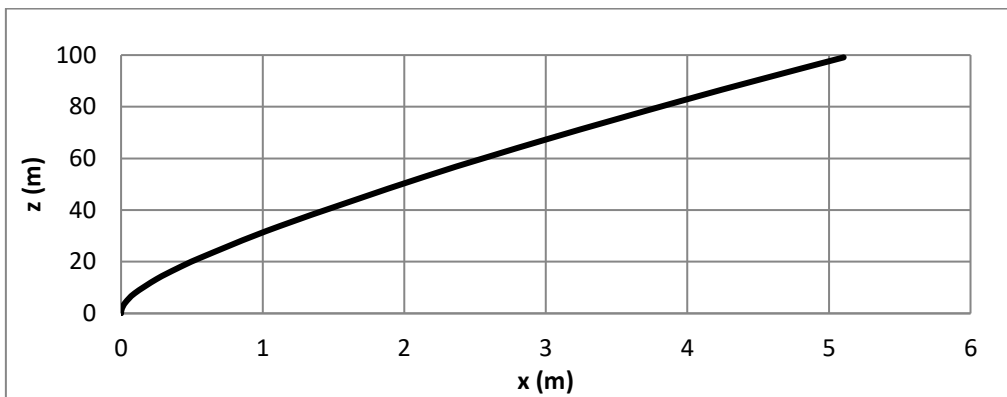


Διάγραμμα Β. 203 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

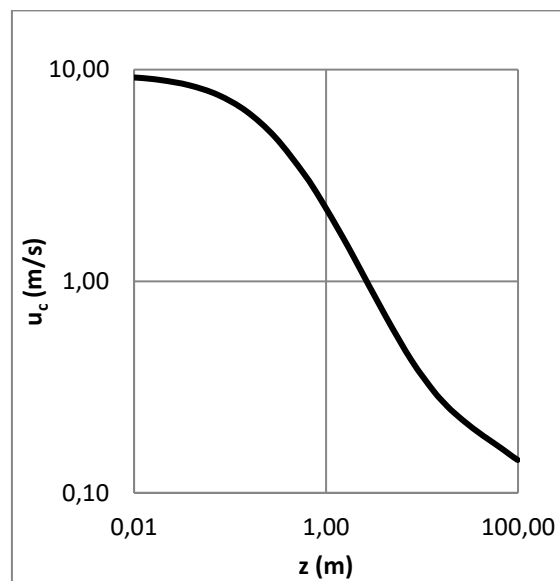


Διάγραμμα Β. 204 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=10$ και $U_a=0,25$ m/s.

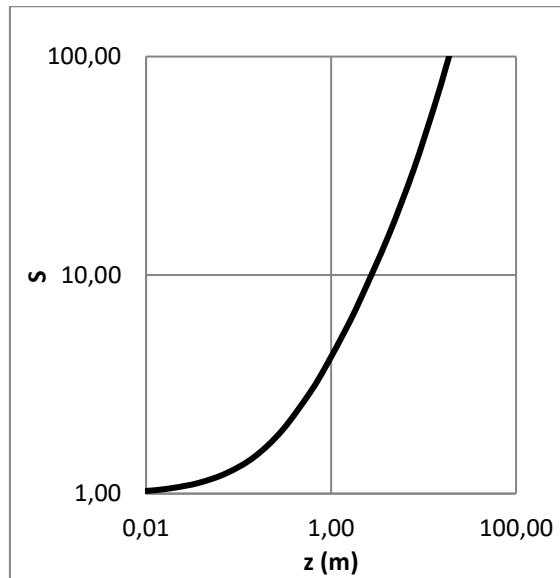
■ Γωνία $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.



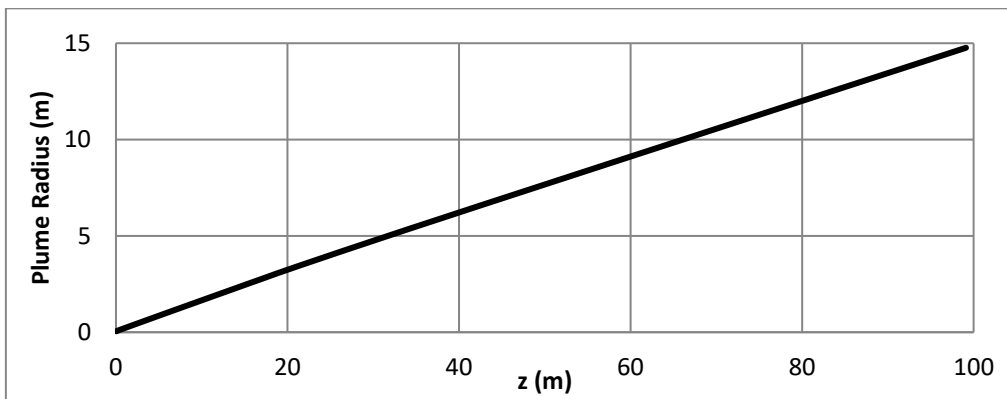
Διάγραμμα Β. 205 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.



Διάγραμμα Β. 206 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

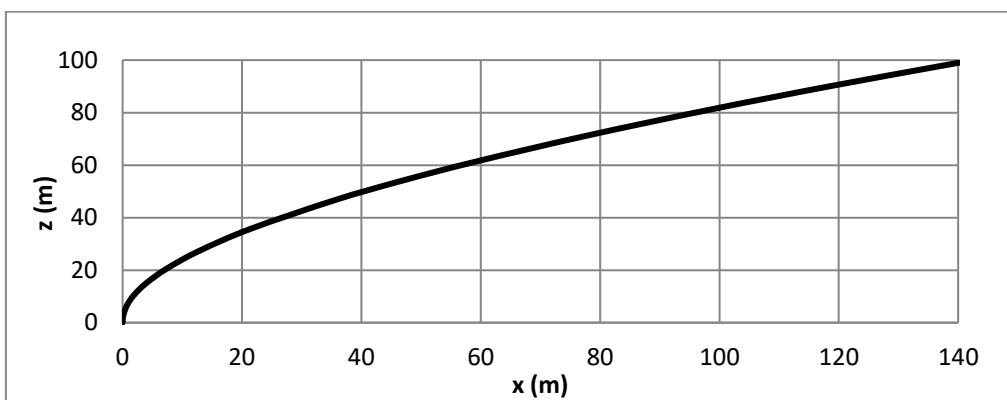


Διάγραμμα Β. 207 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

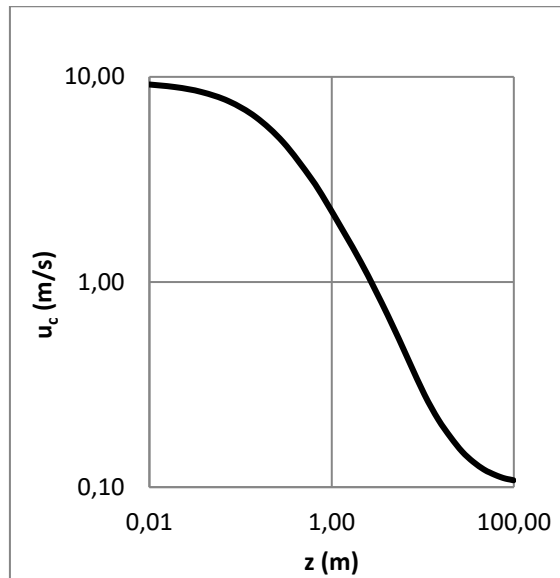


Διάγραμμα Β. 208 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,01$ m/s.

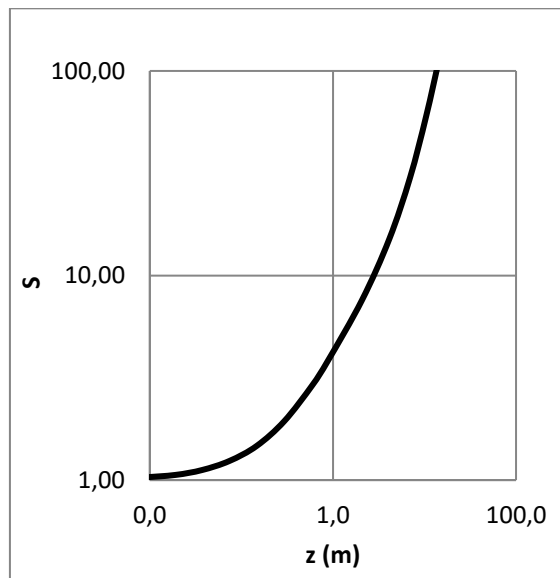
■ Γωνία $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.



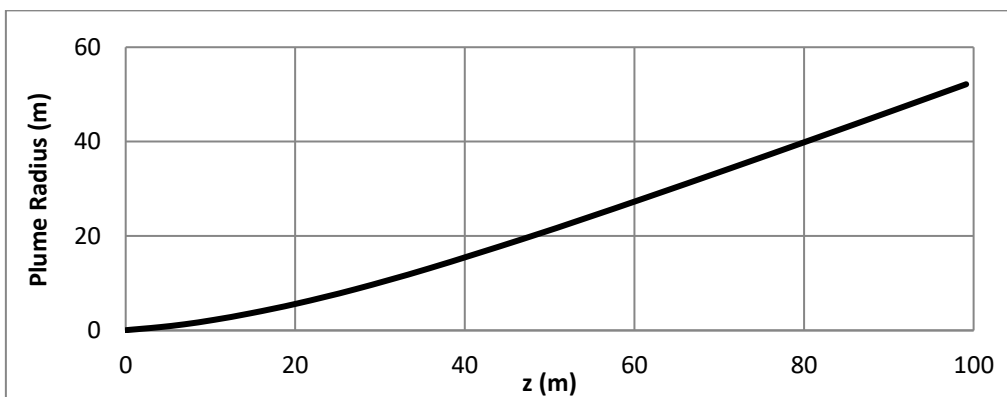
Διάγραμμα Β. 209 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.



Διάγραμμα Β. 210 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

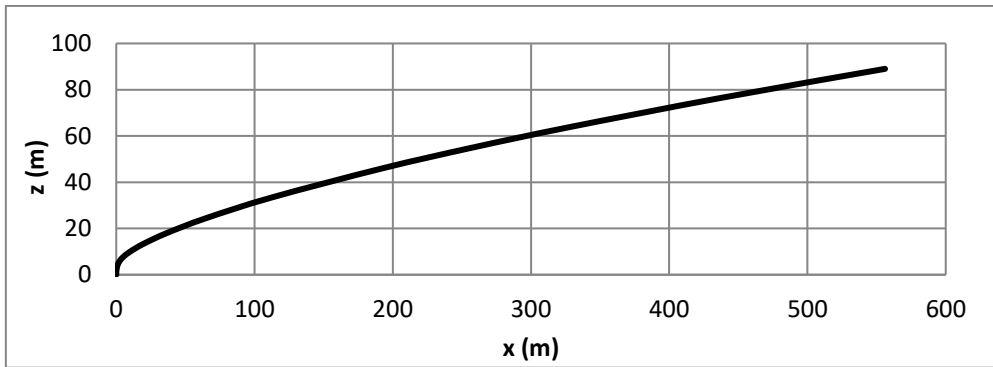


Διάγραμμα Β. 211 Διάγραμμα μέσης αραιώσης για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

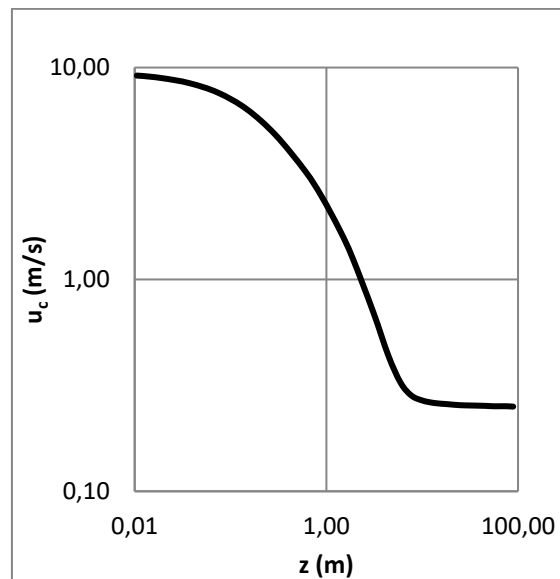


Διάγραμμα Β. 212 Διάγραμμα Plume Radius-Z για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,10$ m/s.

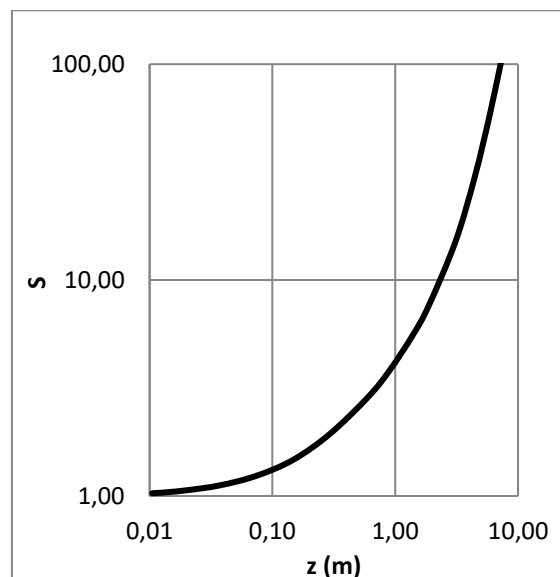
■ Γωνία $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



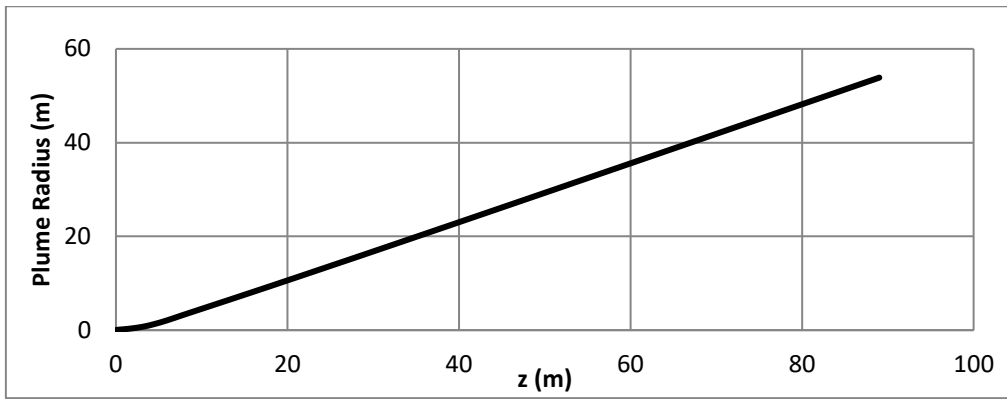
Διάγραμμα Β. 213 Διάγραμμα τροχιών για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 214 Διάγραμμα ταχύτητας για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 215 Διάγραμμα μέσης αραίωσης για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.



Διάγραμμα Β. 216 Διάγραμμα Plume Radius–Z για $\theta_0=90^\circ$, $F_0=50$ και $U_a=0,25$ m/s.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Κουτίτας, Χ. Γ. (1994)**, “Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα”, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Κρεστενίτης, Ι. (2015)**, “Παράκτια μηχανική - Θαλάσσια περιβαλλοντική υδραυλική”, Εκδόσεις Κάλλιπος.
- Συλαίος, Γ. και Μουτσόπουλος, Κ. (2015)**, “Περιβαλλοντική Υπολογιστική Ρευστομηχανική”, Έκδοση ΕΜΠ.
- Abraham, G. (1963)**, “*Jet diffusion in stagnant ambient fluid*”, Delft Hydraulics Laboratory, Publ. 29.
- Ackers, P. (1991)**, Sediment aspects of drainage and outfall design, In: “*Environmental Hydraulics*”, Lee J.H.W. and Cheung, Y.K. (Eds.), AA Balkema, Rotterdam, The Netherlands, Vol. 1, 31-42.
- Anwar, H. O. (1972)**, “*Measurements on horizontal buoyant jets in calm ambient fluid*”, La Houille Blanche, Vol.27, pp. 311–320.
- Ayoub, G. M. (1971)**, “*Dispersion of buoyant jets in a flowing ambient fluid*”, PhD. Imperial College, London, 904pp.
- Baumgartner D. J., Frick W. E. and Roberts, P. J. W. (1994)**, Dilution models for Effluent discharges, *Tech. Rep.EPA/600/R-94/086*.
- Brooks, N. H. (1972)**, “*Dispersion in Hydrologic and Coastal Environments*”, Environmental Protection Agency Rep. 660/3-73-010; also W. M. Keck, Laboratory Rep. KH-R-29, California Institute of Technology, Pasadena, California.
- Cederwall, K. (1968)**, “*Hydraulics of marine wastewater disposal*”, Tech. Rep. 42. Hydraulics Div., Chalmers Institute of Technology.
- Cheung, V. and Lee, J.H.W. (1996)**, Discussion of "Improved prediction of bending plumes", *J. Hydr. Res.*, Vol.34, No.2, pp.260-262.
- Chu, V. H. (1977)**, “*A line-impulse model for buoyant jet in a cross-flow*”, in *Heat Transfer and Turbulent Buoyant Convection*, B. D. Spalding and N. H. Afgan editors, Hemisphere Publishing Co., Washington D.C., pp. 325-337.
- Chu, V.H. and Goldberg, M.B. (1974)**, “*Buoyant forced plumes in crossflow*”, *J. Hydr. Div.*, ASCE, Vol.100, HY9, pp.1203-1214.
- Davidson, M. J. and K. L. Pun (2000)**, “*Locating discharge trajectories in still and moving ambient fluids*”, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 126, No. 7, pp 513–524.

- Fan, L. N. (1967)**, "*Turbulent Buoyant jets into stratified or flowing ambient fluids*" Tech.Rep. KH-R-15. W.M. Keck Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California.
- Fischer, H.B., List, E. J., Koh, R. C. Y, Imberger, J. and Brooks, N. (1979)**, "*Mixing in Inland and Coastal Waters*", Academic Press, New York.
- Frick, W.E. (1984)**, "*Non empirical closure of the plume equations*" ,Atmos. Envir. , Vol. 18, No.4, pp. 653-662.
- Gaskin, S.J. (1995)** , "*Single buoyant jet in a crossflow and the advected line thermal*" ,Ph.D. thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Gaskin, S.J. , Papps, D.A. and Wood, I.R. (1995)** , "*The axisymmetric equations for a buoyant jet in a crossflow*", Proc.12th Australasian Fluid Mech. Conf. , Sydney, Dec. 1995.
- Grace, R.A. (1978)** , "*Marine outfall Systems: Planning, Design and Construction*", Prentice Hall Inc. , New Jersey, USA, p. 600.
- Hansen, J. and H.Schroder (1968)**, "*Horizontal Jet Dilution Studies by Use of Radioactive Isotopes*", Acta Polytechnica Scandinavica, Vol. 49. Danish Academy of Technical Sciences.
- Jirka, G.H. and Lee J.H.W. (1994)** , Waste disposal in the ocean, In: "*Water quality and its control*", Mikio Hino (Ed.), IAHR, 5, AA Balkema.
- Kikkert, G. A. (2006)**, "*Buoyant jets with two and three dimensional trajectories*", PhD thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Lee, J. H. W. and Neville-Jones, P. (1987,1987a)** , "*Initial dilution of horizontal jet in crossflow*" , J. Hydr. Engrg. , ASCE, 113(5), 615-629.
- Lee, J. H.W. and Jirka, G. H. (1981)** , Vertical round buoyant jet in shallow water, "*Journal of the Hydraulics Division*" , Vol. 107, No. 12, pp. 1651-1675.
- Lee, J. H.W. and Chu, V. (2003)** , "*Turbulent Jets and Plumes: A Lagrangian Approach*", Kluwer Academic Publishers.
- Lee, J.H.W. and Cheung, V. (1990)**, "*Generalized Lagrangian model for buoyant jets in current*", J. Envir. Engrg., ASCE, Vol. 116, No.6, pp. 1085-1106.
- Lee, J.H.W. and Cheung, V. (1991)**, "Mixing of buoyancy-dominated jets in a weak current" ,Proc. Inst. of Civil Engineers, Vol. 91, no. 2, pp. 113-129.
- Morton, B. , Taylor, G. I. and Turner, J. S. (1956)**, Turbulent gravitational convection from maintained and instantaneous sources , *Proc. R. Soc. London Ser. A* 234, 1-23.

- Muellenhoff, W. P. , et al. (1985)**, "*Initial mixing characteristics of municipal ocean discharges*" , Report EPA-600/3-85-073, U.S. Envir. Protection Agency, Newport, Oreg.
- Noutsopoulos, G. and Yannopoulos, P. (1987)**, The round vertical turbulent buoyant jet, *Journal of Hydraulic Research*, 25:4, 481-502.
- Papanicolaou, P. and List, E. (1988)**, "Investigations of round vertical turbulent buoyant jets" , *Journal of Fluid Mechanics*, 195, 341-391.
- Roberts, P. J. W. (1979)**, Line plume and ocean outfall dispersion, "*J. Hydr. Div.*", 313–330.
- Rouse, H., Yih, C.S. and Humphreys, H.W. (1952)**, Gravitational convection from a boundary source , *Tellus* 4, pp. 201-210.
- Syrbin, A.N. and D.N. Lyakhovsky (1936)**, "*Aerodynamics of an elementary flame*", Soobshch, Tsenter, Nauchn-Issled, Kotloturoinnyinst.
- Turner, J. (1973)**, "*Buoyancy effects in fluids*", Cambridge Monographs on Mechanics and Applied Mathematics.
- Wang, H., and Wing-Keung Law, A. (2002)**, Second-order integral model for a round turbulent buoyant jet, *Journal of Fluid Mechanics*, 459, 397-428.
- Wilkinson, D.L. (1984)**, Purging of saline wedges from ocean outfalls, "*J. of Hydraulic Engineering*", ASCE, Vol. 110, No. 12, 1815-1828.
- Wood, I.R., Bell, R.G. and Wilkinson, D.L. (1993)**, "*Ocean disposal of wastewaters*", World Scientific.
- Wright, S.J. (1977)**, Effects of Ambient Crossflows and Density Stratification on the Characteristic Behavior of Round, Turbulent Buoyant Jets. Technical Rep. KH-R-36, W.M. Keck, Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, Pasadena, California, pp. 254.